

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**JARDINES DE LLUVIA
UNA ESTRATEGIA PAISAJÍSTICA PARA APROVECHAR EL AGUA PLUVIAL DE LAS CIUDADES
CASO DE ESTUDIO: AZCAPOTZALCO**

Cassandra Patricia Badillo Ornelas

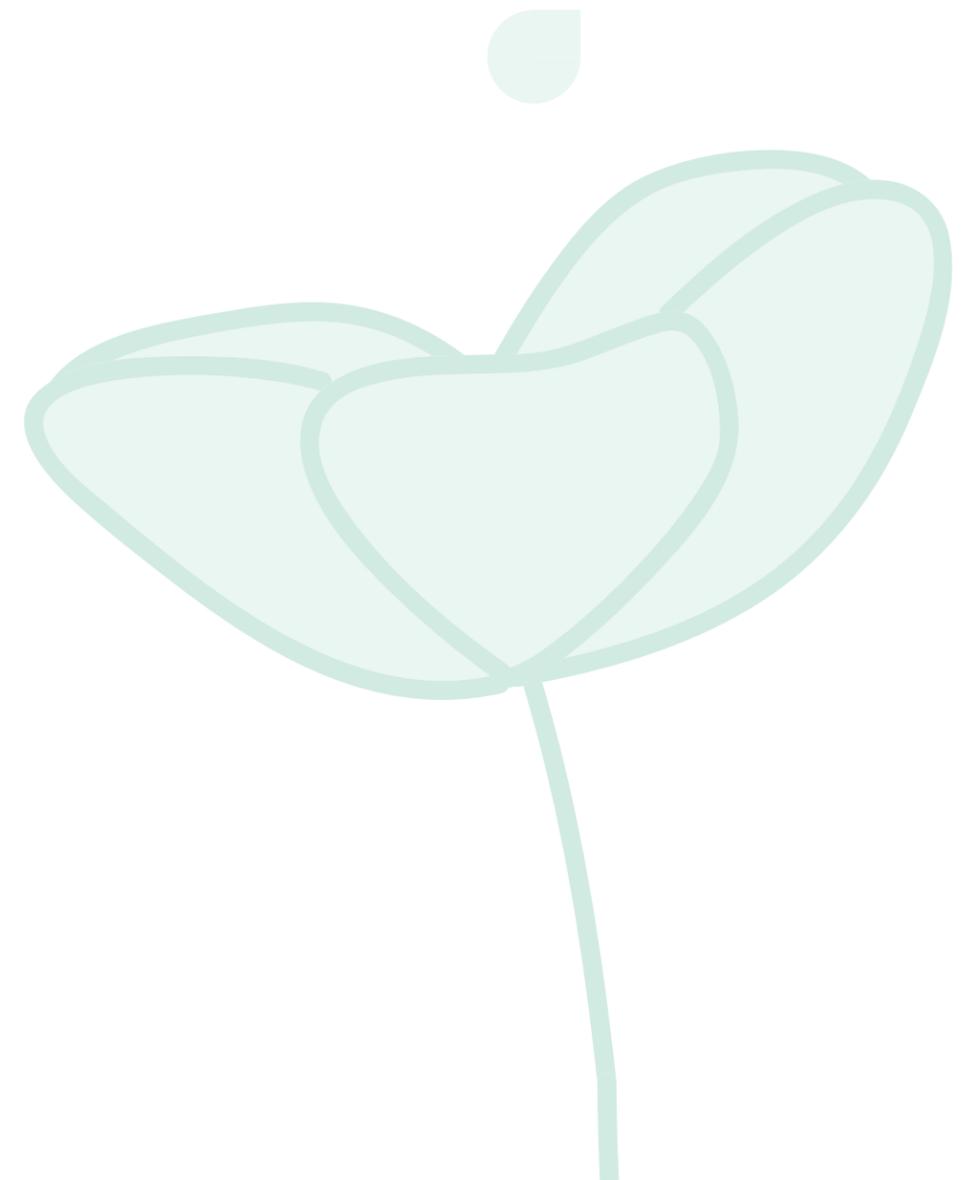
Tesis para optar por el grado de Maestra en Diseño,
Planificación y Conservación de Paisajes y Jardines

Miembros del Jurado:

Dr. Saúl Alcántara Onofre
Director de la tesis

Dr. José Silvestre Revueltas Valle
Mtra. Loreta Castro Reguera Mancera
Mtro. Noé de Jesús Trujillo Hernández
Mtro. Armando Alonso Navarrete
Mtra. Karla María Hinojosa de la Garza

Ciudad de México
diciembre de 2017



*Al milagro de la vida
presente en cada gota de lluvia que cae
y en cada semilla que germina.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la voluntad y fortaleza para concluir esta meta tan importante en mi vida, por no dejarme sola y darme esperanza día con día...Por la lluvia.

A mis padres y hermana, por su apoyo incondicional y cariño, por haberme escuchado con paciencia y estar a mi lado en todo momento, por su ayuda en cada una de las etapas y su comprensión en los momentos más difíciles.

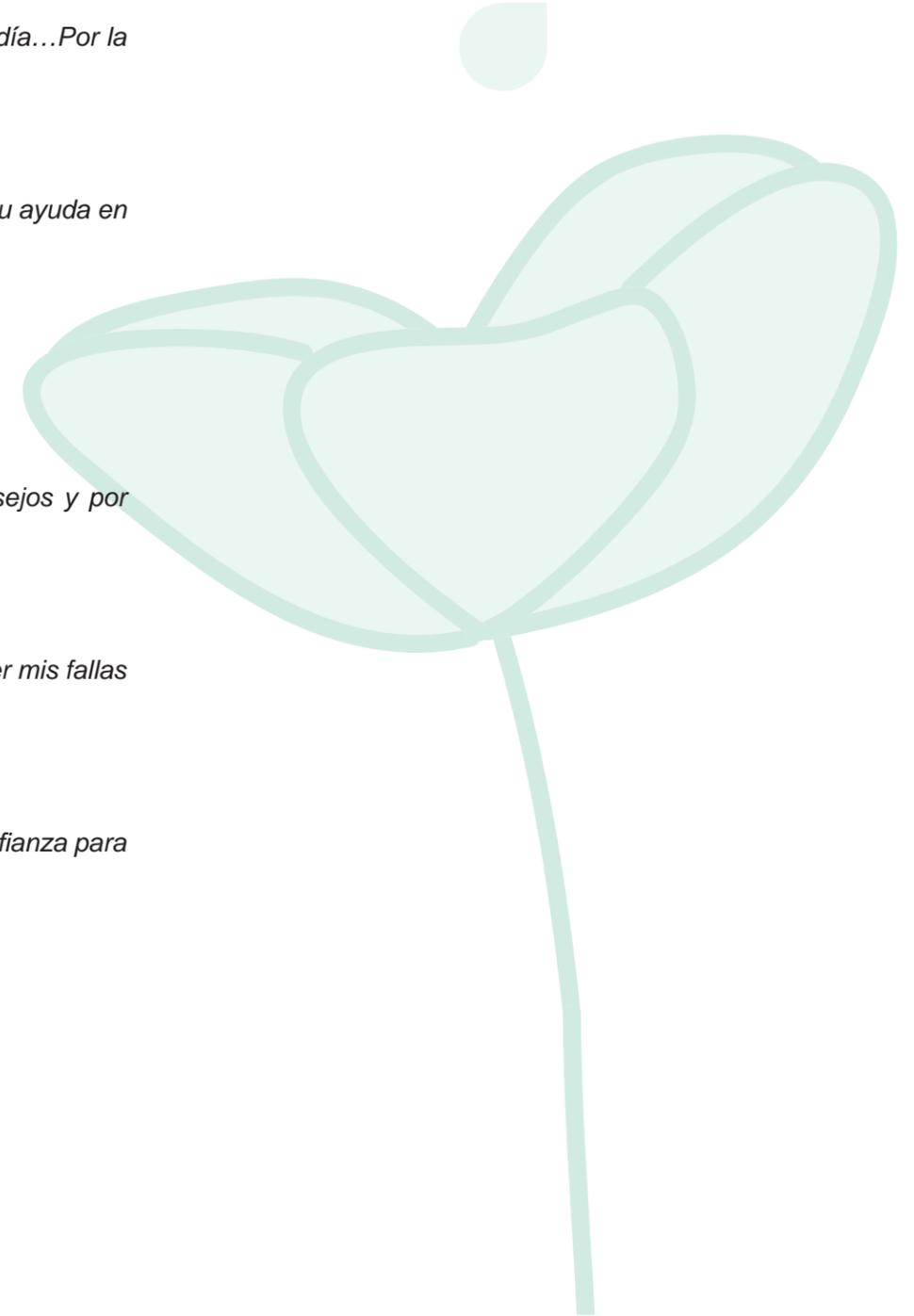
A mi familia, en especial a mi abuela por ser la primera en creer en mi deseo de superación.

A mis amigos y seres queridos, que fueron cómplices en este largo proceso de diseño, por haberme acompañado a través de sus consejos y por comprender mis largas ausencias.

A mi grupo de sinodales y director de tesis, por asesorarme con paciencia y comprensión, por corregirme cuando fue necesario haciéndome ver mis fallas y otorgar su completa confianza para encaminarme sola cuando no.

A Luis Rodríguez, por su ayuda para traducir mis bocetos a modelos computarizados, haciendo que mis ideas cobraran vida y me dieran la confianza para algún día verlas convertidas en realidad.

A mi trabajo, que gracias a todas las facilidades proporcionadas, me permitió cumplir un sueño sin abandonar otro.



AGRADECIMIENTOS

A Jorge Legorreta (in memoriam), por haber plantado hace casi diez años la semilla de curiosidad de llegar a conocer una ciudad diferente a la que habitamos, una ciudad verde, viva y anfibia.

A Yara Álvarez, por haberme apoyado en incontables ocasiones desde el inicio hasta el término de mis estudios de posgrado, por una amistad que trascendió los muros de la universidad.

A la Arq. Ana Claudia Sandoval y al Mtro. Abelardo González, por concederme los permisos para poder realizar mi investigación en la UAM-A, por el apoyo financiero otorgado y por creer en el proyecto cuando era sólo un esbozo.

A la Dra. Alicia Chacalo y a Laura Arriaga, por transmitirme parte de sus conocimientos sobre el manejo del arbolado urbano y mantenimiento de la vegetación, por el préstamo de las herramientas para poder construir y mantener con vida al Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A.

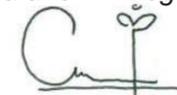
A la familia Guillermo Santiago, por dedicar su tiempo y paciencia en ayudarme a construir el Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A en aquel inolvidable verano 2014.

A Michael Dietz, por sus consejos y asesoramiento a distancia, por creer que los jardines de lluvia pueden y deben existir en la latitud 19° N.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, por ser mi casa de estudios en estos últimos años de vida. Es un gran honor y dicha ser parte de ella.

Al pueblo de Azcapotzalco, por brindarme once años de gratos recuerdos.

A todos y cada uno... Mi logro es suyo.



Casandra Patricia Badillo Ornelas



*Por el agua,
para el agua,
por la ciudad.*

JORGE LEGORRETA

RESUMEN

La cuenca de México sufre año con año severas inundaciones, las cuales son ocasionadas en medida parcial, por la inexistencia de redes independientes de aguas negras y pluviales, confiando la entera responsabilidad de desalojo, a un sistema de drenaje convencional cuyo objetivo recae en separar el drenaje urbano de los procesos ecológicos e hidrológicos naturales, sin llegar a contribuir en la mejora de la calidad ambiental de las urbes.

La tesis examina en carácter experimental el desempeño de un sistema de captación, biorretención y bioinfiltración de agua pluvial en ambientes urbanos a partir de la construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* como estrategia paisajística para el aprovechamiento y manejo de los escurrimientos pluviales urbanos.

El modelo, construido en escala 1:1 e implementado en la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM-A) en la Ciudad de México, está compuesto por una depresión en el terreno que recibe, a través de canaletas adyacentes, la descarga pluvial proveniente de un área pavimentada; utilizando catorce especies nativas vegetales, además de un sustrato mejorado con tres tipos de agregados, el modelo logra infiltrar descargas pluviales equivalentes a 1,517 litros en un tiempo máximo de 120 minutos, demostrando con esto, la eficiencia del sistema de bioinfiltración para los fines estudiados. El experimento fue monitoreado por periodo de un año, entre agosto de 2014 y agosto de 2015, cuando fueron colectados datos referentes a su comportamiento en relación con el régimen pluviométrico registrado, así como su desempeño en tres eventos pluviales torrenciales.

En una segunda etapa, se elaboraron cuatro *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, considerando la escala urbana y arquitectónica de la demarcación Azcapotzalco, destinando dos modelos a cada una de ellas; así mismo, se expone una *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*, que recaba un total de 110 especies arbóreas, arbustivas, herbáceas, gramíneas e inundables, con potencial para implementarse en futuros jardines de lluvia en la demarcación.

La presente investigación busca ofrecer respuestas a las hipótesis con las que trabaja la arquitectura del paisaje, como la restauración del medio ambiente a través de la implementación de áreas que imitan las condiciones preexistentes a la urbanización, a fin de proponer estrategias para el manejo de los escurrimientos pluviales urbanos, a través de prácticas de manejo alternativas listas para ser extrapoladas a la realidad construida, que complementen las técnicas convencionales de drenaje empleadas en las ciudades mexicanas, tomando a la demarcación Azcapotzalco como escenario.

ABSTRACT

The Basin of Mexico suffers year after year from severe flooding, which are caused in partial measure by the absence of independent pipelines of sewage and stormwater, entrusting the entire responsibility for water eviction, to a conventional drainage system whose objective is to separate the urban drainage of ecological and hydrological natural processes, without contributing to improve the environmental quality of cities.

The thesis examines on an experimental character, the performance of an urban stormwater management, bioretention and biofiltration system, based on the construction of the *Experimental model of rain garden UAM-A* as a landscaping strategy for the use and management of urban stormwater runoff.

The model, built on a 1:1 scale and implemented at the Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM-A) in Mexico City, is composed of a depression in the ground that receives, through adjacent gutters, the stormwater runoff coming from an impervious area; using fourteen native plant species, in addition to an improved substrate with three types of aggregates, the model infiltrates stormwater discharges equivalent to 1,517 liters in a maximum period time of 180 minutes, thus demonstrating the efficiency of the biofiltration system for the purposes studied.

The experiment was monitored for a period of one year, between August 2014 and August 2015, when data were collected regarding its behavior in relation to the recorded rainfall regime, as well as its performance in three main storm events.

In a second stage, four *Conceptual models of rain garden* were elaborated, considering the urban and architectural scale of Azcapotzalco demarcation, assigning two models to each one of them; it also, was proposed a *Vegetable palette for rain gardens in Azcapotzalco*, which collects a total of 110 species of trees, shrubs, herbaceous, grasses and flooding plants, with potential to be implemented in future rain gardens in the demarcation.

The present research aims to offer answers to the hypotheses with which the landscape architecture works, such as the restoration of the environment through the implementation of areas that imitate the pre-existing conditions of urbanization, in order to propose strategies for the management of urban stormwater runoff, through alternative management practices ready to be extrapolated to the constructed reality, complementing the conventional techniques of drainage used in the Mexican cities, taking to the Azcapotzalco demarcation as scenario.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

figura		pág.
1.1	Ciudad moderna	6
1.2	Jardín de lluvia	13
1.3	Infraestructura verde	14
1.4	Elementos de la infraestructura verde	14
1.5	Estrategias del Desarrollo de Bajo Impacto	16
1.6	Elementos del Desarrollo de Bajo Impacto	16
1.7	Diagrama de funcionamiento del ciclo del agua	17
1.8	Procesos químicos, biológicos y físicos involucrados en la biorretención	18
1.9	Procesos relacionados en la fitorremediación	19
1.10	Jardín de lluvia en The Southwest 12th Avenue	22
1.11	Mount Tabor Middle School Rain Garden	24
1.12	Edinburgh Gardens Rain Garden	24
1.13	Biozanja en calle Sócrates	26
1.14	Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales	26
1.15	Paseo del río. Parque Lineal- Chimalistac Viveros	27
1.16	Paseo del río. Parque Lineal- Chimalistac Viveros. Uso de jardines de lluvia	27
1.17	Parque Hídrico <i>La Quebradora</i> . Perspectiva general	28
1.18	Parque Hídrico <i>La Quebradora</i>	28
1.19	El acceso al agua potable es un derecho humano básico	29
1.20	La lluvia como recurso universal	31
1.21	<i>Impluvium</i>	31
1.22	Captación pluvial	32
1.23	Cuenca de México	33
1.24	Antiguo sistema lacustre	35
1.25	Chinampa en Xochimilco	36
1.26	Tenochtitlán en 1519	36
1.27	El túnel de Huehuetoca hacia 1760	37
1.28	Gran Canal de Desagüe	38
1.29	Drenaje Profundo	39
1.30	Esquema del Drenaje Profundo	40

CAPÍTULO II

figura		pág.
2.1	Propuestas de caso de estudio	48
2.2	Caso de estudio: Azcapotzalco	49
2.3	Plano topográfico de la Villa de Bustamante y Quintanar	50
2.4	Acercamiento del Plano de la Municipalidad de Azcapotzalco	51
2.5	Acercamiento del Plano de las Municipalidades de Azcapotzalco y Guadalupe	51
2.6	Zona industrial de Azcapotzalco	61
2.7	Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco	62
2.8	Centro Médico Nacional "La Raza"	62
2.9	Metrobús estación Ferrocarriles Nacionales	63
2.10	Alameda Norte	63
2.11	Casa de la Cultura Azcapotzalco	65
2.12	Av. Aquiles Serdán	65
2.13	Pozo de agua	67
2.14	Agua potable	68
2.15	Mapa de zonificación geotécnica	73

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO III

figura		pág.
3.1	Ubicación del Sitio de Estudio	82
3.2	Delimitación del Sitio de Estudio	83
3.3	Sitio de Estudio	83
3.4	Prueba de infiltración básica	84
3.5	Prueba de puño	86
3.6	Localización de los puntos de muestra para prueba de pH de suelo	87
3.7	Delimitación espacial y ejes rectores del Sitio de Estudio	93
3.8	Área de captación	94
3.9	Lámina de retención superficial (LRS) y Volumen de almacenamiento subterráneo (VAS)	94
3.10	Diseño de la forma	96
3.11	Identidad del proyecto. Nahui ollin	97
3.12	Identidad del proyecto. Apantle	97
3.13	Capas de sustratos dispuestas en el <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	109
3.14	Estela informativa del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	110
3.15	Vegetación nativa	111
3.16	Proceso de selección. Criterios de requerimiento hídrico	112
3.17	Proceso de selección. Criterios de requerimiento solar	112
3.18	Proceso de selección. Visuales y ejes de composición	113
3.19	Paleta vegetal del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	115
3.20	Ejemplo de <i>Ficha etnobotánica de la paleta vegetal seleccionada</i>	116
3.21	Fichas etnobotánicas <i>Ageratum houstonianum</i> y <i>Canna indica</i>	117
3.22	Fichas etnobotánicas <i>Cedronella mexicana</i> y <i>Dahlia variabilis</i>	118
3.23	Fichas etnobotánicas <i>Equisetum hyemale</i> e <i>Ipomoea batatas</i> "Black"	119
3.24	Fichas etnobotánicas <i>Ipomoea batatas</i> "Chartreuse" y <i>Ruellia brittoniana</i> "Compacta"	120
3.25	Fichas etnobotánicas <i>Salvia leucantha</i> y <i>Salvia microphylla</i>	121
3.26	Fichas etnobotánicas <i>Sprekelia formosissima</i> y <i>Tigridia pavonia</i>	122
3.27	Fichas etnobotánicas <i>Tradescantia pallida</i> "Purpurea" y <i>Tradescantia zebrina</i>	123

CAPÍTULO IV

figura		pág.
4.1	Formato del reporte semanal	132
4.2	Trampa cromática aplicada en el <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	137

CAPÍTULO V

figura		pág.
5.1	Inundaciones en época de lluvias	151
5.2	Espacio público subutilizado	152
5.3	Uso de vegetación introducida	153
5.4	Ejemplos de Áreas con Potencial de Intervención 1 y 2	155
5.5	Ejemplos de Áreas con Potencial de Intervención 3 y 4	156
5.6	Apoyo para la interpretación de la <i>Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Parte 1</i>	203
5.7	Apoyo para la interpretación de la <i>Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Parte 2</i>	204
5.8	Franja de equipamiento y Franja de circulación en el Modelo A1 y Modelo A2	216
5.9	Modelo A1. Elementos a considerar en los lineamientos para el diseño e implementación	216
5.10	Modelo A2. Elementos a considerar en los lineamientos para el diseño e implementación	217
5.11	Tonalidades turquesa sugeridas para aplicar en la Franja de advertencia	217
5.12	Procedimiento sugerido para conseguir la implementación de los jardines de lluvia en Azcapotzalco	227

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

tabla		pág.
1.1	Infraestructura verde	15
1.2	Ejemplos de construcción masiva de jardines de lluvia alrededor del mundo	23
1.3	Contaminantes removidos a través de los sistemas de biorretención	24
1.4	Resumen de algunos de los experimentos de biorretención realizados	25

CAPÍTULO II

tabla		pág.
2.1	Cuadro comparativo del uso de suelo de Azcapotzalco en relación con el porcentaje destinado a los Espacios Abiertos (EA)	61
2.2	Cuadro comparativo de los principales contaminantes atmosféricos	77
2.3	Principales contaminantes de Azcapotzalco	77

CAPÍTULO III

tabla		pág.
3.1	Prueba de infiltración básica	84
3.2	Prueba de infiltración detallada	85
3.3	Componentes del suelo natural y sus efectos en la textura y plasticidad	86
3.4	Prueba de pH en cinco muestras de suelo natural	87
3.5	Análisis de suelo en laboratorio	88
3.6	Análisis de agua en laboratorio	89
3.7	Estudio de asoleamiento	90
3.8	Proceso de dimensionamiento del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	95
3.9	Cronograma de actividades académicas y de investigación realizadas durante el desarrollo de la tesis	99
3.10	Distribución de los recursos para la implementación y monitoreo del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	100
3.11	Catálogo de conceptos del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	101
3.12	Catálogo de volumetrías del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	104
3.13	Programa de obra del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	105
3.14	Construcción del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	106
3.15	Paleta vegetal del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	114

CAPÍTULO IV

tabla		pág.
4.1	Conclusiones del reporte semanal	133
4.2	Documentación fotográfica del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	134
4.3	Crecimiento horizontal de las especies del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	138
4.4	Crecimiento vertical de las especies del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	139
4.5	Registro del régimen pluviométrico EMA-ENCB II	141
4.6 a	Precipitación registrada el día 20/10/2014	144
4.6 b	Resumen del evento pluvial 1	144
4.7 a	Precipitación registrada el día 04/05/2015	145
4.7 b	Resumen del evento pluvial 2	145
4.8 a	Precipitación registrada el día 11/05/2015	146
4.8 b	Resumen del evento pluvial 3	146
4.9	Volumen pluvial infiltrado total	147
4.10	Riego artificial suministrado	148

CAPÍTULO V

tabla		pág.
5.1	Análisis de sitio	160
5.2	Análisis de vocaciones	161
5.3	Criterios de diseño	162
5.4	<i>Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco</i>	205
5.5	Calendario de mantenimiento sugerido para los <i>Modelos conceptuales de jardín de lluvia</i>	222
5.6	Cosecha de agua de lluvia	226
5.7	Proyección de sistemas alternativos de captación pluvial al 2018	226
5.8	Opinión técnica favorable	227

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO I

gráfica		pág.
1.1	Crecimiento de la población mundial y del número de personas que habitan en urbes	30
1.2	Distribución de la población mexicana en el año 2010	34
1.3	Abastecimiento de agua potable en la ZMVM	41
1.4	Usos del agua potable en la ZMVM	42
1.5	Gasto de agua potable en la ZMVM	43
1.6	Evolución de los bancos de nivel y hundimientos en diferentes puntos de la ZMVM	44

CAPÍTULO II

gráfica		pág.
2.1	Precipitación anual de Azcapotzalco	57
2.2	Uso de suelo de Azcapotzalco	59

CAPÍTULO IV

gráfica		pág.
4.1	Crecimiento horizontal de las especies del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	138
4.2	Crecimiento vertical de las especies del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	139
4.3	Pluviograma trimestral de la precipitación monitoreada en la EMA-ENCB II	142
4.4	Hietograma del día 20/10/2014	144
4.5	Hietograma del día 04/05/2015	145
4.6	Hietograma del día 11/05/2015	146

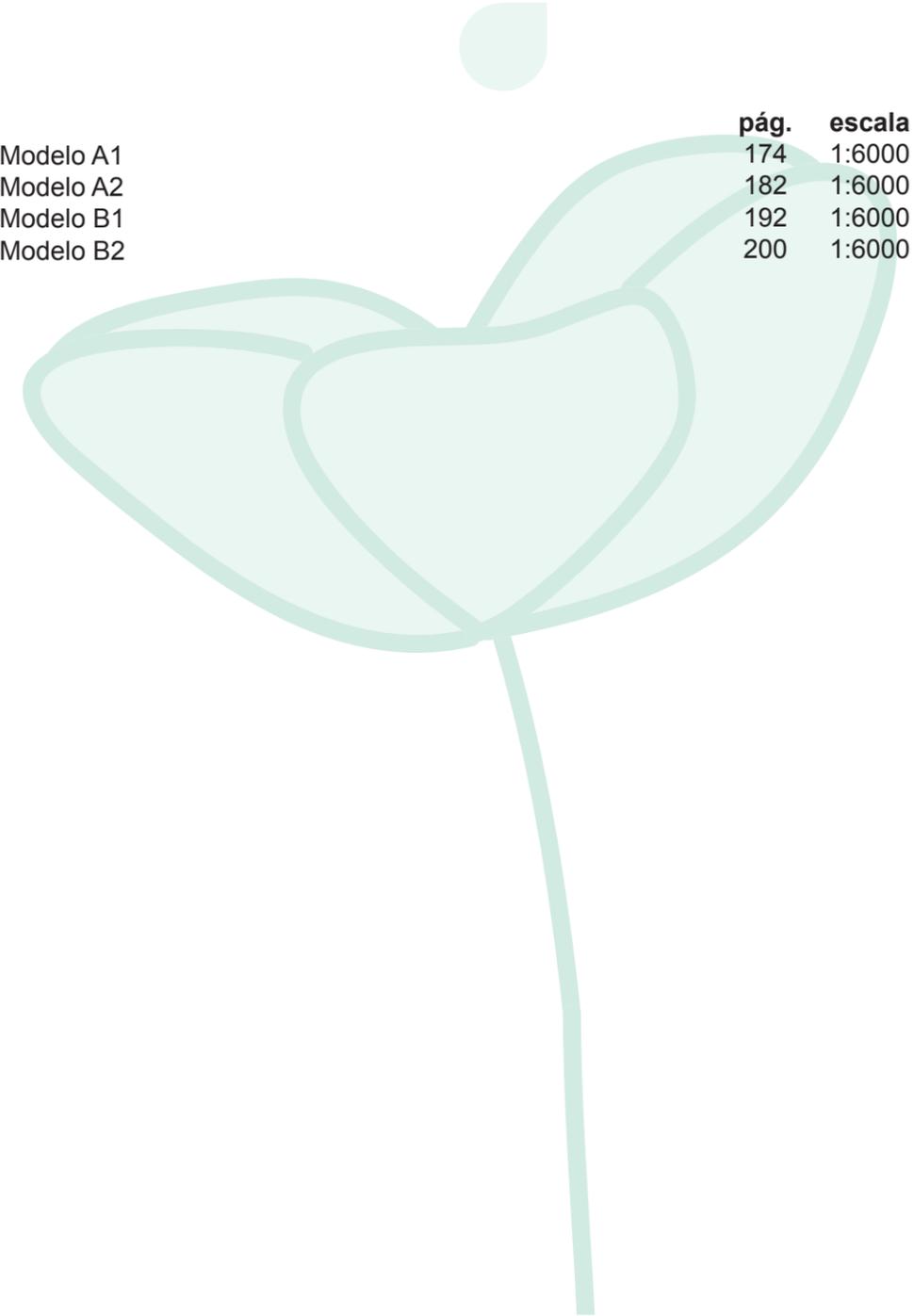
ÍNDICE DE PLANOS

CAPÍTULO II

plano		pág.	escala
2.1	Áreas de conservación patrimonial	53	1:6000
2.2	Usos de suelo	60	1:6000
2.3	Espacios abiertos	64	1:6000
2.4	Principales vialidades y transportes	66	1:6000
2.5	Colonias con falta de agua ocasional	69	1:6000
2.6	Principales inundaciones en Azcapotzalco	75	1:6000
2.7	Principales encharcamientos detectados en el Programa Hidráulico 2000	76	1:6000

CAPÍTULO V

plano		pág.	escala
5.1	Plano de aplicación. Modelo A1	174	1:6000
5.2	Plano de aplicación. Modelo A2	182	1:6000
5.3	Plano de aplicación. Modelo B1	192	1:6000
5.4	Plano de aplicación. Modelo B2	200	1:6000



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A

clave	pág.
ANÁLISIS DEL SITIO DE ESTUDIO	
A-01 Ubicación del jardín de lluvia	2
A-02 Análisis del sitio de estudio	3
A-03 Diagrama de circulaciones	4
A-04 Diagrama de usos	5
A-05 Diagrama de usos por horarios	6
A-06 Diagrama de usuarios	7
LEVANTAMIENTO DEL SITIO DE ESTUDIO	
A-07 Levantamiento del sitio de estudio	8
A-08 Ejes rectores	9
A-09 Trazo general de las canaletas	10
TRAZO Y NIVELACIÓN	
A-10 Geometría	11
A-11 Trazo	12
A-12 Nivelación	13
CORTES Y SECCIONES	
A-13 Corte longitudinal y transversal	14
A-14 Secciones	15
DETALLES CONSTRUCTIVOS	
D-01 Detalle constructivo- Funcionamiento	16
D-02 Detalle constructivo- Talud	17
D-03 Detalle constructivo- Unión canaletas D y E	18
D-04 Detalle constructivo- Rejilla	19
D-05 Detalle constructivo- Asentamientos	20
D-06 Detalle constructivo- Cédula de identificación	21
D-07 Detalle constructivo- Estela informativa 1	22
D-08 Detalle constructivo- Estela informativa 2	23
PLANEACIÓN HÍDRICA	
A-15 Hidrozonas	24

clave	pág.
PLANTACIÓN	
A-16 Plantación- Representativo	25
A-17 Plantación- Esquemático	26
A-18 Ejes de plantación- Hidrozona A	27
A-19 Ejes de plantación- Hidrozona B	28
A-20 Ejes de plantación- Hidrozona C	29
A-21 Ejes de plantación- Hidrozona D	30
A-22 Ejes de plantación- Hidrozona E	31
VEGETACIÓN	
A-23 Vegetación en planta	32
A-24 Vegetación en alzado	33
A-25 Vegetación en cortes por sección	34
ANEXO B	
Análisis de suelo y agua en laboratorio	36
Inscripción del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i> al National Low Impact Development (LID) Atlas	37
ANEXO C	
Glosario de términos	40

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

Al	Aluminio	Na	Sodio
B	Boro	NO₂	Dióxido de nitrógeno
Ca	Calcio	NT	Nitrógeno total
CC	Capacidad de campo	N/A	No aplica
Cd	Cadmio	O	Oeste
CE	Conductividad eléctrica	O₃	Ozono
Cl	Cloro	P	Fósforo
cm	Centímetro	Pb	Plomo
cm/h	Centímetro por hora	pH	Potencial de hidrógeno
cm³/h	Centímetro cúbico por hora	PM_{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros
CO	Monóxido de carbono	PM₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros
Cr	Cromo	PMP	Punto de marchitez permanente
Cu	Cobre	ppm	Partes por millón
dap	Diámetro a la altura del pecho	PST	Partículas suspendidas totales
DNC	Día no contabilizado	PT	Fósforo total
E	Este	r	Radio (geometría)
Fe	Hierro	S	Sur
h	Altura	S/D	Sin dato
h	Hora	SO₂	Dióxido de azufre
ha	Hectárea	SO₄	Sulfato
K	Potasio	SST	Sólidos suspendidos totales
kg	Kilogramo	USD	Dólar estadounidense
km	Kilómetro	Zn	Zinc
km²	Kilómetro cuadrado		
l	Litro	°C	Celsius (grado centígrado)
l/s	Litro por segundo	ζ	Coeficiente de escurrimiento
m	Metro	ø	Diámetro
m²	Metro cuadrado	1:1	Escala
m²/hab	Metro cuadrado por habitante	°	Grado
m³	Metro cúbico	>	Mayor que
m³/s	Metro cúbico por segundo	<	Menor que
Mdh	Millones de habitantes	µg	Microgramo
Mg	Magnesio	µm	Micrómetro
mm	Milímetro	µS	Microsiemens
mm/h	Milímetro por hora	'	Minutos
Mm³/año	Millones de metros cúbicos al año	%	Porcentaje
Mn	Manganeso		
MO	Materia orgánica		
msnm	Metros sobre el nivel del mar		
MXN	Peso mexicano		
N	Nitrógeno		
N	Norte		

ÍNDICE DE SIGLAS

AEP	Autoridad del Espacio Público	NEMO	<i>Nonpoint Education for Municipal Officials</i>
ANDSA	Almacenes Nacionales de Depósito S.A.	NOM	Norma Oficial Mexicana
API	Áreas con Potencial de Intervención	NU	Naciones Unidas, antes ONU (Organización de las Naciones Unidas)
AZMCM	Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México	OMS	Organización Mundial de la Salud
BSJA	Bosque de San Juan de Aragón	PA	Precipitación Anual
CCH-A	Colegio de Ciencias y Humanidades-Azcapotzalco	PACT	Precipitación sobre el Área de Captación Total
CDMX	Ciudad de México	PAOT	Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial
CETRAM	Centro de Transferencia Modal	PD	Precipitación Directa
CMNR	Centro Médico Nacional "La Raza"	PGIRH	Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad	PSI	Precipitación sobre la Superficie Impermeable
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua	RAE	Real Academia Española
CT	Connecticut	RAS	Riego Artificial Suministrado
DBI	Desarrollo de Bajo Impacto	SACMEX	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
DCA	Declaratoria de Cumplimiento Ambiental	SCALL	Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia
DIY	<i>Do It Yourself</i>	S/D	Sin Dato
DreBI	Drenaje de Bajo Impacto	SE	Sitio de Estudio
DUBIH	Desarrollo Urbano de Bajo Impacto Hidrológico	SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente
EA	Espacios Abiertos	SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
EMA	Estación Meteorológica Automática	SEDUVI	Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda
ENCB II	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas II	SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>	SEMOVI	Secretaría de Movilidad, antes SETRAVI (Secretaría de Transportes y Vialidad)
ESIME	Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica	SM1	Sistema de Movilidad 1, antes RTP (Red de Transporte de Pasajeros)
FS	Ferrocarriles Suburbanos	SMN	Servicio Meteorológico Nacional
IEV	Infraestructura Verde	SOBSE	Secretaría de Obras y Servicios
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social	SPI	Sitio con Potencial para Implementación
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	SS	Secretaría de Salud
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia	STCM	Sistema de Transporte Colectivo Metro
INBA	Instituto Nacional de Bellas Artes	STE	Servicio de Transportes Eléctricos
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático	SUDS	<i>Sustainable Urban Drainage System</i>
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía	TAD	Técnicas Alternativas de Drenaje
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>	TDUS	Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible
IPN	Instituto Politécnico Nacional	TOA	Taller de Operaciones Ambientales
IPNI	<i>The International Plant Names Index</i>	UAM-A	Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado	UCONN	<i>University of Connecticut</i>
ITIS	<i>Integrated Taxonomic Information System</i>	UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
JLI	Jardín de Lluvia	UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
LADF	Ley de Aguas del Distrito Federal	UNIBIO	Unidad de Informática para la Biodiversidad
LID	<i>Low Impact Development</i>	UTC	<i>Universal Time Coordinate</i>
LRS	Lámina de Retención Superficial	VAS	Volumen de Almacenamiento Subterráneo
MPC	Mejores Prácticas de Control	VPIT	Volumen Pluvial Infiltrado Total
MPM	<i>Melhores Práticas de Manejo</i>	WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>
MXN	Peso Mexicano	ZMH	Zona de Monumentos Históricos
NADF	Norma Ambiental para el Distrito Federal	ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
1.2 MARCO METODOLÓGICO	9
1.2.1 Objetivo general	9
1.2.2 Objetivos específicos	9
1.2.3 Alcance	9
1.2.3.1 Delimitación espacial	9
1.2.3.2 Delimitación temporal	10
1.2.3.3 Delimitación conceptual	10
1.2.3.4 Limitaciones	10
1.2.4 Hipótesis	11
1.2.4.1 Hipótesis generales	11
1.2.4.2 Hipótesis específicas	11
1.2.5 Método	12
1.3 MARCO TEÓRICO	13
1.3.1 Concepto de jardín de lluvia	13
1.3.1.1 Características de un jardín de lluvia	13
1.3.1.2 Los jardines de lluvia como infraestructura verde	14
1.3.1.3 Los jardines de lluvia como desarrollo de bajo impacto	16
1.3.1.4 Funcionamiento y procesos en un jardín de lluvia	18
1.3.1.5 Beneficios de los jardines de lluvia	20
1.3.2 Estado del arte internacional	22
1.3.3 Estado del arte nacional	26
1.4 ANTECEDENTES	29
1.4.1 Los efectos de la urbanización y el agua	29
1.4.2 Importancia de la captación pluvial	31
1.4.3 Contexto: la cuenca de México	33
1.4.4 La transformación de la cuenca de México	35
1.4.4.1 Época prehispánica	35
1.4.4.2 Siglos XVI al XVIII	37
1.4.4.3 Siglo XIX	38
1.4.4.4 Siglo XX	39
1.4.4.5 Siglo XXI	40
1.4.5 Problemática actual de la cuenca de México	41

CAPÍTULO II

ANÁLISIS URBANO-PAISAJÍSTICO	46
2.1 ELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	48
2.1.1 Justificación de la elección del caso de estudio	49
2.1.2 Antecedentes históricos del caso de estudio	50
2.2 SISTEMA MEDIO FÍSICO-AMBIENTAL	54
2.2.1 Situación geográfica	54
2.2.2 Geología	55
2.2.3 Edafología	55
2.2.4 Topografía	56
2.2.5 Hidrología	57
2.2.6 Clima	57
2.2.7 Vegetación	58
2.3 SISTEMA SOCIO-CULTURAL	59
2.3.1 Población	59
2.3.2 Uso de suelo	59
2.3.3 Equipamiento	61
2.3.3.1 Educación	62
2.3.3.2 Salud	62
2.3.3.3 Transporte	63
2.3.3.4 Espacios abiertos	63
2.3.3.5 Cultura	65
2.3.3.6 Asistencia social	65
2.3.3.7 Servicios urbanos	65
2.3.3.8 Vialidades	65
2.4 PROBLEMÁTICA HÍDRICA Y SU RELACIÓN CON LOS SERVICIOS	67
2.4.1 Extracción	67
2.4.2 Agua potable	68
2.4.3 Contaminación del agua	70
2.4.4 Drenaje	71
2.5 RIESGOS Y VULNERABILIDAD	72
2.5.1 Origen geomorfológico	73
2.5.2 Origen hidrometeorológico	74
2.5.3 Origen sanitario-ecológico	77
2.6 USO POTENCIAL Y SU RELACIÓN CON EL FUTURO	79

ÍNDICE

CAPÍTULO III

PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A	80
3.1 ESTUDIOS PRELIMINARES	82
3.1.1 Elección del sitio de estudio	82
3.1.2 Localización del sitio de estudio	83
3.1.3 Pruebas, análisis y estudios	83
3.1.3.1 Prueba de infiltración básica	84
3.1.3.2 Prueba de infiltración detallada	85
3.1.3.3 Prueba de puño	86
3.1.3.4 Prueba de pH de suelo	87
3.1.3.5 Análisis de suelo en laboratorio	88
3.1.3.6 Análisis de agua en laboratorio	89
3.1.3.7 Estudio de asoleamiento	90
3.2 DISEÑO	93
3.2.1 Delimitación espacial	93
3.2.2 Dimensionamiento	94
3.2.3 Diseño de la forma	96
3.2.4 Identidad del proyecto	97
3.2.5 Diseño del proyecto	97
3.3 PLANEAMIENTO	98
3.3.1 Cronograma de actividades	98
3.3.2 Catálogo de conceptos	100
3.3.3 Catálogo de volumetrías	104
3.3.4 Programa de obra	105
3.4 CONSTRUCCIÓN	106
3.5 PALETA VEGETAL SELECCIONADA	111
3.5.1 Importancia de la vegetación nativa	111
3.5.2 Proceso de selección	112
3.5.3 Fichas etnobotánicas de la paleta vegetal seleccionada	116
3.6 MANTENIMIENTO	124
3.6.1 Programa de mantenimiento	124

CAPÍTULO IV

MONITOREO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A	129
4.1 METODOLOGÍA	131
4.2 EVALUACIÓN	131
4.2.1 Reporte semanal	132
4.2.2 Documentación fotográfica	132
4.2.3 Evaluación fitosanitaria	137
4.2.4 Registro del régimen pluviométrico	140
4.2.5 Evaluación de tres eventos pluviales	143
4.2.5.1 Evento 1	144
4.2.5.2 Evento 2	145
4.2.5.3 Evento 3	146
4.2.6 Volumen pluvial infiltrado total	147
4.2.7 Riego artificial suministrado	148

ÍNDICE

CAPÍTULO V

MODELOS CONCEPTUALES DE JARDÍN DE LLUVIA	149
5.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ACTUAL DE AZCAPOTZALCO	151
5.1.1 Uso de los jardines de lluvia en Azcapotzalco	152
5.1.2 Adaptación al contexto de Azcapotzalco	153
5.2 ÁREAS CON POTENCIAL DE INTERVENCIÓN	155
5.2.1 Áreas 1 y 2	155
5.2.2 Áreas 3 y 4	156
5.3 ANÁLISIS DE SITIO	157
5.3.1 Análisis funcional	157
5.3.2 Análisis formal	158
5.3.3 Análisis socio-cultural	158
5.3.4 Análisis ambiental	159
5.3.5 Análisis polisensorial	159
5.4 PROCESO DE DISEÑO	161
5.4.1 Análisis de vocaciones	161
5.4.2 Criterios de diseño	162
5.5 MODELOS CONCEPTUALES DE JARDÍN DE LLUVIA	163
5.5.1 Modelo A1	166
5.5.2 Modelo A2	175
5.5.3 Modelo B1	183
5.5.4 Modelo B2	193
5.6 PALETA VEGETAL PROPUESTA PARA JARDINES DE LLUVIA EN AZCAPOTZALCO	201
5.7 IMPLEMENTACIÓN	214
5.7.1 Lineamientos para el diseño e implementación	214
5.7.1.1 Generales	214
5.7.1.2 Modelos A1 y A2	215
5.7.1.3 Modelos B1 y B2	218
5.7.2 Plan de conservación y mantenimiento	220
5.7.2.1 Lineamientos de conservación	220
5.7.2.2 Calendario de mantenimiento	222
5.7.3 Metodología para la implementación	224
5.7.3.1 Adaptación al sitio con potencial para implementación	224
5.7.3.2 Cumplimiento de la normativa	224
5.7.3.3 Opinión técnica favorable	227
5.7.3.4 Desarrollo de nuevas tipologías	227

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES	228
6.1 CONCLUSIONES GENERALES	229
6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	231
6.2.1 Capítulo I	231
6.2.2 Capítulo II	232
6.2.3 Capítulo III	233
6.2.4 Capítulo IV	234
6.2.5 Capítulo V	235
6.3 APOORTE AL DISEÑO	237
6.4 RECOMENDACIONES	238
BIBLIOGRAFÍA	241
SITOGRAFÍA	251
ANEXOS	
ANEXO A- PROYECTO EJECUTIVO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A	
ANEXO B- ANEXO TÉCNICO	
ANEXO C- GLOSARIO DE TÉRMINOS	
CURRICULUM VITAE	

INTRODUCCIÓN

Cada año, el periodo de lluvias es esperado con temor por los habitantes de la Ciudad de México, en una metrópoli de ríos contaminados y entubados e inundaciones frecuentes, provocadas en buena medida, por la insuficiencia del sistema de drenaje para canalizar volúmenes de agua superiores a los que su capacidad puede dirigir, y también, por tratarse de un drenaje que no alcanza a distinguir agua servida, de agua con potencial de aprovechamiento, es de esperarse que la ciudad sufra de constantes y severas inundaciones, acrecentadas por la intensificación de las lluvias debido al cambio climático, provocando numerosas afectaciones materiales y económicas a la población, además de daños a la infraestructura de la ciudad, entre muchas otras problemáticas.

La Ciudad de México subsiste con un sistema de drenaje al que se le ha confiado la responsabilidad entera de desalojar las aguas servidas de una población creciente y demandante, sin embargo, hoy en día este sistema resulta insuficiente y obsoleto, y el ampliar o mantener las redes existentes, es cada vez más costoso y con resultados insatisfactorios que transfieren la problemática hacia otras regiones, sin aportar realmente una solución a la problemática inicial.

En ese panorama, tras siglos de haber desarrollado sistemas de drenaje tradicionales, que desalojan millones de litros de agua pluvial que podría ser aprovechada dentro de los límites de la urbe sin necesidad de evacuarla, la Ciudad de México se encuentra en un punto en que no puede depender únicamente de estos sistemas de drenaje como solución al desalojo del agua de lluvia, es necesario incursionar en la utilización de técnicas no convencionales, que asemejen los ciclos y procesos naturales, y que permitan un mejor manejo de los escurrimientos pluviales.

En la actualidad, es indispensable el aprovechamiento del agua pluvial mediante estrategias innovadoras que hagan un mejor uso de ella, se necesita la aplicación de técnicas que den apoyo a la infraestructura de drenaje urbano convencional y que contribuyan además, a la restauración del equilibrio ecológico en el entorno construido, ayudando a la creación de redes interconectadas de espacios abiertos, que logren mejorar las condiciones ambientales de la ciudad.

Parte de la tecnología ambiental urbana que ha surgido en torno al tema, está enfocada en el uso de infraestructura verde como estrategia para el mejoramiento del medio ambiente, a través del uso de los elementos ya existentes en el ecosistema, como vegetación y régimen pluvial. La infraestructura verde engloba numerosos y variados sistemas, la mayoría de ellos basados en la biorretención, para mejorar la disposición del agua pluvial; uno de los sistemas más utilizados debido a los bajos costos que implica, a la simplicidad de sus componentes y la eficacia comprobada, son los jardines de lluvia, los cuales han sido empleados como técnica de apoyo a los sistemas convencionales de drenaje urbano en distintas latitudes.

INTRODUCCIÓN

Un jardín de lluvia funciona como una esponja que recibe, retiene y filtra el escurrimiento pluvial proveniente de superficies impermeables; a través de componentes elementales como piedras y gravas, se aumenta la porosidad del mismo logrando drenar con rapidez la escorrentía pluvial, mientras que los microorganismos en el substrato remueven los contaminantes difusos acarreados por el escurrimiento superficial. La adición de plantas, además de permitir la evapotranspiración, incrementa la remoción de nutrientes y contaminantes. (ANDRADE, 2007).

Al emplearse los jardines de lluvia en las grandes urbes, se mejora notoriamente la calidad y cantidad del agua pluvial infiltrada evitando que sature el sistema de drenaje, ofrecen también una herramienta para la prevención de inundaciones, además de ser una estrategia paisajística para el mejoramiento del espacio público y la naturación de espacios subutilizados, entre muchos otros beneficios ambientales, económicos y sociales.

Es indispensable emplear las técnicas y soluciones con las que trabaja la arquitectura del paisaje, que permitan la recalificación y recuperación del espacio público y privado, ofreciendo ambientes urbanos más saludables, mitigando el impacto de la infraestructura sobre el ambiente y ofreciendo una visión más integrada del medio construido.

Es el alto desempeño de los jardines de lluvia como estrategia paisajística caracterizada por el empleo de sencillos componentes, lo que motivó el desarrollo de la presente tesis: el proponer soluciones ya recomendadas en otros países, que aún no han sido evaluadas en un contexto nacional, considerando a la demarcación Azcapotzalco, como ejemplo de delimitación en desarrollo, con necesidad de incrementar el número de sus áreas verdes y con remanentes urbanos subutilizados en los que podría agregarse una plusvalía con la adición de infraestructura verde, que además, pudieran contribuir notoriamente en la mejoría del medio ambiente.

En ese contexto, se realizó un experimento en escala real que evaluara la eficiencia de un sistema de biorretención y biofiltración de agua pluvial, el modelo implementado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM-A), fue sometido a las condiciones naturales y a situaciones reales de precipitación, de modo que el experimento respetó el régimen pluvial y clima del sitio de estudio, considerando un escenario veraz de metrópoli mexicana en desarrollo.

El modelo recibe la descarga pluvial proveniente de un área pavimentada, que es conducida a través de canaletas adyacentes hacia una depresión central; los procesos biológicos son realizados por catorce especies nativas, arbustivas, herbáceas y cubresuelos, que forman parte a su vez de una *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco* consistente en 110 especies recomendadas para dicho fin.

INTRODUCCIÓN

La tesis está organizada en tres partes y comprende seis capítulos:

La primera, es la parte teórica que abarca los capítulos I y II, los cuales introducen al problema de investigación y a los antecedentes teóricos del caso de estudio. Así, el primer capítulo aborda el planteamiento del problema de investigación y el marco metodológico que incluye el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto, en este capítulo se hace una introducción a los jardines de lluvia a través del marco teórico y los antecedentes y problemática actual de la urbe que alberga el caso de estudio.

En el segundo capítulo se plantea el análisis urbano-paisajístico del entorno; se exponen los motivos por los cuales fue elegida la demarcación Azcapotzalco como caso de estudio y se refieren los antecedentes históricos de la misma; comprende también, un análisis del sistema medio físico-ambiental, el sistema socio-cultural, y, encaminando hacia el problema de estudio, un análisis de la problemática hídrica, así como los riesgos y vulnerabilidad actuales que sufre la demarcación en torno al agua.

La parte práctico-experimental engloba los capítulos III y IV, es la parte donde se incluye el proceso de diseño y monitoreo del denominado *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Así, el tercer capítulo describe el proceso bajo el cual fue diseñado el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, incluyendo los estudios preliminares que se le realizaron, así como el proceso de diseño, planeamiento, construcción y mantenimiento a los que fue sometido; se expone también, la descripción del proceso que se siguió para elegir la paleta vegetal utilizada en el estudio.

El cuarto capítulo comprende el monitoreo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, es una descripción del proceso seguido para tal fin, abarcando la metodología y evaluación.

La tercera parte propone y concluye, está comprendida por los capítulos V y VI. Donde en el quinto capítulo se exponen cuatro propuestas conceptuales de jardín de lluvia para aplicarse en Azcapotzalco, denominadas *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, que consideran la escala urbana y arquitectónica de la demarcación.

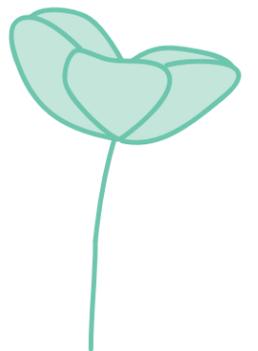
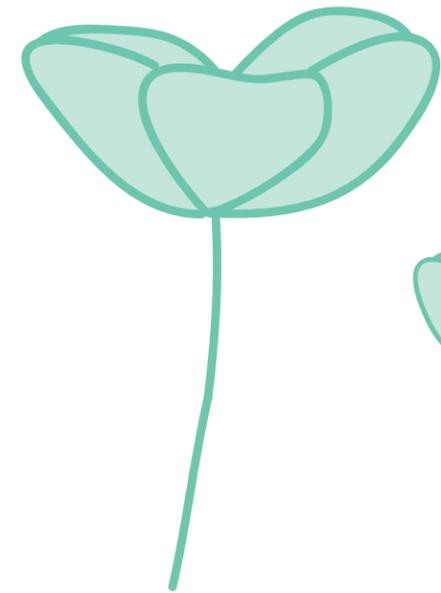
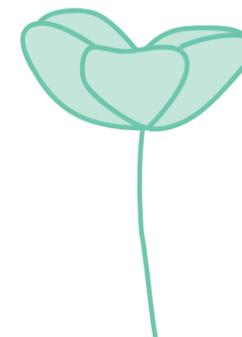
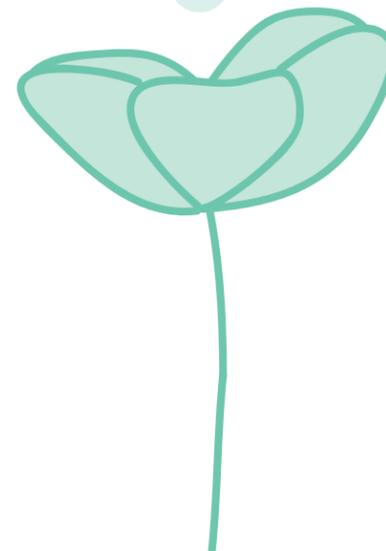
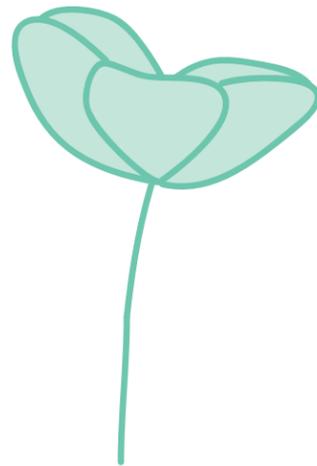
El sexto capítulo engloba las conclusiones generales y específicas de la tesis, además de que se menciona el aporte al diseño y algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES TEÓRICOS

“¿Es ésta la región más transparente del aire? ¿Qué habéis hecho, entonces, de mi alto valle metafísico? ¿Por qué se empaña, por qué se amarillece?”

ALFONSO REYES
VISIÓN DE ANÁHUAC



El primer capítulo es una introducción al problema de investigación: abarca el planteamiento del mismo, así como el marco metodológico propuesto; en una segunda etapa, se expone el marco teórico, dando una introducción al concepto de jardín de lluvia o *rain garden* que ha sido ampliamente utilizado en otras latitudes, y sin embargo, presenta limitados estudios en el contexto nacional.

Se describen también, el funcionamiento, características y procesos que se ven involucrados en un jardín de lluvia, así como los beneficios que proporcionan al medio ambiente, a la economía y a la sociedad.

Posterior, se describen los antecedentes sobre casos de estudio realizados en otros países y de aquellos ejemplos encontrados en un marco teórico nacional.

Así mismo, el capítulo pretende esclarecer la problemática que presenta la cuenca que alberga la demarcación del caso de estudio, de modo sintético, se expone la evolución de la cuenca de México a través de los siglos hasta llegar a la actualidad, exhibiendo las principales complicaciones en torno al recurso hídrico y la enorme paradoja que sufre la ciudad, al presentar la abundancia y escasez de un recurso indispensable para su subsistencia.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La problemática en torno al agua en las ciudades es uno de los principales temas que conciernen a la sociedad contemporánea puesto que es un conflicto creciente que involucra dos de las prioridades antropológicas: el recurso vital para la subsistencia del hombre y de todos los seres vivos, y el modo de habitar tendencial de los últimos siglos.

Sin lugar a dudas, la organización social conocida medio siglo atrás ha evolucionado con rapidez, cada vez son más las personas que deciden migrar a las grandes ciudades dejando atrás su estilo de vida y teniendo que adaptarse a uno nuevo que involucra mudar sus paradigmas y pasar a formar parte de una realidad social en constante cambio.

Así como las personas han tenido que adaptarse a las ciudades, las ciudades se han tenido que adaptar a las nuevas poblaciones que alojan, muchas veces transformándose a velocidades que rebasan su capacidad de crecimiento, generando expansiones territoriales descontroladas y creando equilibrios frágiles.

Como consecuencia del desmesurado crecimiento de las ciudades, se han originado múltiples problemáticas; cada una involucrada diversas variables y teniendo como origen distintas causas, pero todas interrelacionadas entre sí y convergiendo en una sola consecuencia: la insustentabilidad urbana.

Múltiples son los problemas que arremeten a la sociedad actual, pero algunos de los principales que merecen ser mencionados por concernir al tema de investigación de la presente tesis, se relacionan directamente con la ocupación de áreas que, antes de la urbanización, se encontraban libres de construcción, y ahora, tras la ocupación territorial, se han convertido en superficies impermeables que no sólo alteran el ciclo hidrológico, impidiendo el tránsito regular del agua de lluvia hacia el subsuelo, sino que incrementan la cantidad de escurrimientos durante la temporada de lluvias, **extravasando** el sistema de drenaje y aumentando, debido a su paso por las calles y avenidas, las cargas de contaminantes que son transportadas y posteriormente infiltradas al subsuelo. (*Fig. 1.1*)

Ese mismo aumento poblacional ha ocasionado una demanda del recurso hídrico y por consiguiente, un incremento de las aguas servidas, donde problemas como la escasez de agua potable y el saneamiento inadecuado de enormes volúmenes de aguas residuales, son paradojas que se presentan en el día a día de las urbes alrededor de todo el mundo.



Figura 1.1 Ciudad moderna. Las áreas verdes fueron sustituidas por pavimento; el modelo de urbanización obstaculiza el ciclo hidrológico ocasionando ciudades con crisis ambientales. Santa Fe, Ciudad de México. *Fuente: Casandra Badillo, 2015.*

Aunado a lo anterior, las ciudades contemporáneas han sido concebidas bajo un modelo de urbanización que ha privilegiado el entubamiento de ríos y arroyos, ciudades que han sido construidas bajo esquemas que intercambian cualquier rastro de vegetación por pavimento; en las que la existencia de áreas verdes, es vista como un lujo y no como una necesidad biológica y psicológica del ser humano.

También, la falta de un planeamiento urbano adecuado que no considera al *sistema verde viviente* como parte del organismo interdependiente que toda urbe asemeja, y al pensar siempre en las grandes soluciones de infraestructura como única salida, contrario a la concepción de que las pequeñas estrategias aplicadas a escala masiva, pueden resultar más benéficas y eficientes para los ideales perseguidos.

Es así como esta contemporaneidad nos ha conducido a fracturar el delicado equilibrio en el que se encuentran inmersos los asentamientos urbanos, cada vez, las proyecciones sobre el destino de la humanidad resultan menos esperanzadoras y el futuro se asoma más incierto.

La transformación de nuestro medio ambiente está ocasionado fenómenos mundiales como el calentamiento global y el cambio climático, cuyos efectos tienen una relación directa con las alteraciones del ciclo hidrológico en todas sus etapas, teniendo efectos severos principalmente en la fase de precipitación: de acuerdo con el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2007), se prevé que la magnitud y frecuencia de los eventos extremos de lluvia causados por la elevación en las concentraciones de emisiones de gases de efecto invernadero, aumenten y sean resentidos a escala regional y mundial.

Algunas proyecciones estiman que por cada grado centígrado (°C) más de temperatura media en el planeta, habrá un aumento del 7% en la humedad atmosférica, intensificando las precipitaciones en una escala global, (DEL GENIO *et al.*, 1991) la mayor intensidad y frecuencia de lluvias, tendrá un impacto negativo sobre el drenaje urbano.

Actualmente la infraestructura sanitaria en las ciudades, está basada en un análisis estadístico en relación con la intensidad-duración-frecuencia de eventos climáticos ya ocurridos, el dimensionamiento del mismo fue calculado para soportar caudales específicos considerando un retorno de eventos de mayor magnitud en un periodo de 100 años (DENAULT *et al.*, 2006), por lo tanto, el dimensionamiento está calculado para ese periodo de tiempo considerando que no existan grandes variaciones; no obstante, el cambio climático está provocado una alteración en los patrones conocidos de intensidad y frecuencia de las precipitaciones, tornando al modelo de cálculo insuficiente y aumentando la posibilidad de sobrecarga de los sistemas de drenaje urbano, con riesgo a inundaciones y daños severos a la infraestructura urbana, poniendo en peligro la salud pública y repercutiendo directamente en pérdidas económicas.

Los costos de adaptación de la infraestructura de drenaje pluvial, usando tuberías de mayor diámetro para soportar caudales mayores, podría disminuir la velocidad de escurrimiento en los periodos secos, causando problemas de acumulación de sedimentos y nuevamente poniendo en duda si la solución ofertada proporciona un enfoque integral y con resoluciones a largo plazo, o sólo generará más problemas de los que su capacidad le permitirá resolver. Es importante considerar un abanico de soluciones que brinden una visión integral, se deben considerar las soluciones más simples, pues son a veces, las que más se aproximan a una solución sistémica por ser aquellas que están al alcance de la mayoría de los grupos sociales, quienes actuando individualmente y de manera local, pueden generar grandes cambios a escala global.

1.2 MARCO METODOLÓGICO

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar cuatro *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* mediante el comparativo con los resultados y experiencia obtenida a partir de la construcción de un *Modelo experimental de jardín de lluvia* escala 1:1, para desarrollar propuestas que puedan ser aplicadas en una escala urbana y arquitectónica en Azcapotzalco.

1.2.2 Objetivos específicos

- Construir un jardín de lluvia escala 1:1 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- Evaluar el desempeño del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* por periodo de un año, a través del monitoreo del crecimiento y desarrollo de catorce especies vegetales en las condiciones climáticas de Azcapotzalco.
- Calcular el balance hídrico básico de tres eventos pluviales reales en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.
- Definir una *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*.
- Revisar y comparar los manuales internacionales para la construcción de jardines de lluvia, así como la normativa mexicana vigente para poder determinar los aspectos fundamentales de adaptación para implementarse en Azcapotzalco.

1.2.3 Alcance

1.2.3.1 Delimitación espacial

El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se construyó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, en la Ciudad de México, con ubicación geográfica en 19°30'12.09" N y 99°11'22.49" O a una altura de 2,253 msnm.

La delimitación espacial de la presente investigación, fue desarrollar *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* que puedan ser adaptados dentro de los límites de la demarcación territorial Azcapotzalco.

1.2.3.2 Delimitación temporal

Para la construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se requirieron tres semanas del 04/08/2014 al 22/08/2014, mientras que la evaluación y monitoreo se realizó por periodo de un año correspondiente del 22/08/2014 al 22/08/2015.

1.2.3.3 Delimitación conceptual

El estudio está fundamentado en las condiciones climatológicas, hidrológicas y edafológicas que conforman el caso de estudio de Azcapotzalco.

Está basado en la construcción de un *Modelo experimental de jardín de lluvia* cuyo desarrollo, monitoreo y evaluación, junto con la investigación y adaptación de los manuales internacionales de jardín de lluvia, resultara en el desarrollo de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, los cuales, podrían llevarse a la implementación en Azcapotzalco como una estrategia paisajística para aprovechar el agua pluvial urbana.

El estudio aportó un fundamento teórico-práctico de la construcción e implementación de jardines de lluvia en Azcapotzalco.

1.2.3.4 Limitaciones

La construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se vio limitada espacial, económica y temporalmente, por lo tanto su desarrollo se restringió a una propuesta que abarcara los aspectos básicos constructivos y evaluativos de un jardín de lluvia, eliminando aspectos y metodologías que podrían haber arrojado resultados más concisos sobre su funcionamiento en el contexto propuesto.

En la construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* el espacio designado para su ejecución fue preestablecido por las autoridades de la universidad, al ser una de las pocas áreas que concentran las descargas pluviales por gravedad hacia una sola área plana y semilibre de construcción; por lo tanto, sus dimensiones, profundidad y configuración general constructiva, se vieron restringidas y adaptadas al terreno planteado.

La metodología de evaluación propuesta para el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* estuvo en función de las características constructivas del mismo y en base a las herramientas con las que se contó para el estudio.

La falta de recursos económicos no permitió la adquisición de equipos especializados como pluviómetro automático, termómetro, tensiómetro, infiltrómetro, piezómetro, sensores de humedad relativa, anemómetro, entre otros; así como estudios de muestras de agua y suelo, que pudieron haber determinado un balance hídrico más completo y preciso.

La escasez de bibliografía referente a vegetación arbórea, arbustiva y herbácea propuesta para jardines de lluvia mexicanos, orientó la decisión de incluir la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco* como un objetivo específico de la presente investigación. Así mismo, esto obligó a que mucha de la información contenida en la misma, se obtuviera de fuentes extranjeras o se recuperara información obtenida a través del conocimiento empírico.

1.2.4 Hipótesis

1.2.4.1 Hipótesis generales

- El reorientar la infraestructura de las ciudades hacia sistemas que consideren a la arquitectura del paisaje como parte de la misma, permitirá un mejor entendimiento del entorno natural, en el que el paisaje será comprendido como un elemento que puede ayudarnos a mejorar las condiciones ambientales de las grandes urbes.
- Al involucrar a la arquitectura del paisaje en el manejo del agua pluvial urbana, se logra un mejor empleo de la misma al aprovechar los escurrimientos pluviales urbanos como fuente de abastecimiento y subsistencia de sistemas de infraestructura que imitan las condiciones pre-urbanas, evitando que el agua pluvial se desaloje, mitigando con ello las alteraciones al ciclo hidrológico que la urbanización ha traído como consecuencia.
- Si logramos abordar problemas ambientales existentes en las ciudades desde una perspectiva diferente, haciendo uso de técnicas que comprendan al paisaje urbano como un sistema, entonces podremos ofrecer soluciones reales que si bien no acabarán con la problemática, sí sumarán acciones para atacarla puntualmente.

1.2.4.2 Hipótesis específicas

- Los jardines de lluvia son técnicas que pueden ser utilizadas para complementar las redes de infraestructura presentes dentro de las grandes urbes, deben ser entendidos como sistemas que pueden integrarse a las redes de drenaje actuales.
- Los jardines de lluvia son estrategias paisajísticas que de ser replicadas masivamente en espacios urbanos remanentes y subutilizados presentes en todas las urbes, generarían un impacto significativo en la mejora de la calidad ambiental de los ambientes antropizados.
- Los jardines de lluvia representan una alternativa efectiva para el manejo y control del agua de lluvia de las ciudades, pues son sistemas que resultan asequibles y con posibilidad de construcción y replicación por la mayoría de la población.

1.2.5 Método

Para llevar a cabo el desarrollo de la presente investigación, se emplearon tres metodologías que coinciden con las tres etapas de investigación:

La primera etapa comprendió la recopilación de documentación relativa a manuales, metodologías y normativa internacional y nacional, concernientes a jardines de lluvia; así también, se buscó información relacionada con el pasado y presente de la demarcación Azcapotzalco como caso de estudio, empleando para lo anterior una *metodología de investigación aplicada*.

La segunda etapa abarcó el proceso de diseño, planeación, construcción, mantenimiento y evaluación de un *Modelo experimental de jardín de lluvia* utilizando para ello la información previa y logrando así, una *metodología experimental*.

La tercera etapa contempla un *proyecto de desarrollo*, pues a través de cuatro *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, se proponen tipologías que puedan ser adaptadas a las condiciones de la demarcación.

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 Concepto de jardín de lluvia

Los jardines de lluvia son depresiones en el terreno con una cubierta vegetal que captan y canalizan el agua de lluvia proveniente de escurrimientos superficiales de zonas impermeables como techos, calzadas, banquetas y estacionamientos, hacia el subsuelo permitiendo que esta se infiltre.

Están basados en sistemas de retención e infiltración y son considerados dispositivos de control pasivo pues logran un tratamiento y control del agua de lluvia en el sitio, mediante el uso de vegetación y de capas de material poroso de los que están compuestos. (**Fig. 1.2**)

Son utilizados para mejorar la calidad del agua de lluvia infiltrada, para mejorar aquella que es canalizada hacia los cuerpos de agua, para evitar que el agua de lluvia urbana se canalice hacia los sistemas convencionales de drenaje o para ayudar al control del volumen de agua de lluvia durante grandes eventos pluviales.

1.3.1.1 Características de un jardín de lluvia

- Utilizan vegetación nativa pues estas plantas logran adaptarse a las condiciones pluviales del sitio, además de que son más tolerantes a periodos con suelo saturado o suelo seco y requieren menos riego artificial.
- Poseen varias capas de sustratos porosos que agilizan el tránsito del agua hacia el subsuelo o hacia tuberías de drenaje pluvial o residual o para disponer del agua en contenedores o cisternas, según sea el caso.
- Están ubicados cerca de techos o escorrentías pluviales para captar el agua proveniente de éstos; son diseñados para recibir la descarga pluvial y poder retenerla.
- Logran retener la escorrentía de agua pluvial durante grandes eventos de precipitación.
- Atraen aves e insectos benéficos creando pequeños hábitats.
- Los sistemas radiculares de las plantas mejoran la infiltración y permeabilidad del suelo, redistribuyendo la humedad y manteniendo las diversas poblaciones microbianas que intervienen en la bioinfiltración.
- Son sistemas que dependiendo de sus dimensiones y materiales, varían en costos constructivos, pero en general, son económicos y de una composición sencilla.



Figura 1.2 Jardín de lluvia. Consiste en una depresión en el terreno que utiliza vegetación y sustratos para limpiar y filtrar el agua de escorrentía pluvial antes de que se infiltre al suelo. Fuente: Disponible en: <<http://plantnj.com/blog/2013/03/19/rain-gardens-nj-creative-rain-garden-design-for-small-yards/>> Acceso en mayo, 2015.

1.3.1.2 Los jardines de lluvia como infraestructura verde

Los jardines de lluvia han sido considerados parte de la denominada infraestructura verde (IEV), puesto que consideran a la infraestructura urbana y a los organismos que integran a las ciudades, como parte de una visión sistémica que considera a su entorno natural y al paisaje como infraestructura.

Existen múltiples y muy variadas definiciones de infraestructura verde, una de las principales la describe como una red de espacios verdes interconectados que conserva los valores y funciones naturales del ecosistema a la vez que provee de beneficios a las poblaciones humanas. (BENEDICT & MACMAHON, 2006). (**Fig. 1.3**)

El objetivo de la IEV es minimizar los efectos de la urbanización, ofreciendo soluciones preventivas con compromiso a largo plazo, que buscan entender las funciones ecológicas, sociales y económicas que brindan los sistemas naturales, con la finalidad de lograr un uso más eficiente y sustentable del territorio en la escala local, urbana y regional. (SUÁREZ, 2011)

La IEV constituye una poderosa herramienta de planeamiento interdisciplinar, pues convierte a profesionistas de las ramas afines, propietarios, poder público, comunidad e inversión privada, en partícipes de todo el proceso, logrando proyectos sistémicos con beneficios de carácter común.

La IEV es una estrategia para aproximarse a la sustentabilidad de los ambientes urbanos, pues contrarresta la fragmentación de los hábitats a través de la preservación de la diversidad biológica, conservando, restaurando y conectando el ambiente construido con los espacios naturales. (**Fig. 1.4**)

Los jardines de lluvia son considerados IEV pues plantean un manejo integral e inmediato del agua de lluvia urbana, consideran un aprovechamiento en el sitio impidiendo que se generen grandes gastos por traslado, a través de materiales y procesos similares a los que tendrían en la naturaleza, y empleando la vegetación nativa como agente de transformación.

Los jardines de lluvia son estrategias empleadas por la IEV para crear zonas interconectadas que generan ecosistemas dentro de las urbes, además de originar espacios de integración social. Son utilizados para mejorar la calidad de los hábitats en las ciudades, así también, para ofrecer un acercamiento de la población urbana al entorno natural.

Es importante destacar que los jardines de lluvia representan apenas una tipología de IEV, pues existen otras que emplean la escala urbana o regional, para hacer uso del espacio público o privado y proveer áreas vegetadas que además utilizan la biorretención y el aprovechamiento del agua pluvial como estrategia para reducir los efectos de la urbanización y contemplan al paisaje y a los elementos que lo conforman como infraestructura. (**Tabla 1.1**)



Figura 1.3 Infraestructura verde. Propone el uso de vegetación como eje rector para mejorar la calidad ambiental y de las personas. Fuente: Disponible en: <<http://greenarea.me>> Acceso en mayo, 2015.



Figura 1.4 Elementos de la infraestructura verde. Plantea la integración del medio construido con los ciclos naturales a través del uso de vegetación nativa y del aprovechamiento de aguas pluviales. Fuente: Disponible en: <<http://drenajeurbanosostenible.org>> Acceso en mayo, 2015.

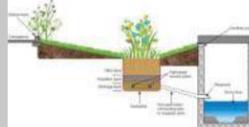
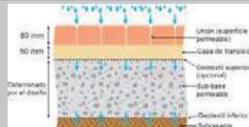
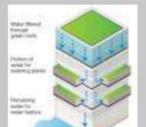
TIPOLOGÍA	ESCALA	DESCRIPCIÓN	FUNCIONES HÍDRICAS	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO	EJEMPLO
Laguna pluvial	Regional	Funcionan como cuencas de retención vegetadas que reciben los escurrimientos superficiales pluviales. Están destinadas a recibir el exceso de agua de lluvia y evitar inundaciones. Generalmente son de poca profundidad, tienen la característica de que una parte del agua pluvial captada permanece retenida entre los eventos de precipitación.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (sedimentación, filtración y absorción biológica) retención e infiltración. 		
Corredor verde		Son corredores cuya principal característica es la arborización intensa. En general tienen una circulación más restringida de autos. La vegetación utilizada es preferentemente nativa para promover la biodiversidad urbana. Incluyen pavimentos permeables, accesibilidad universal, <i>traffic-calming</i> ¹ , y tienen circuitos preferenciales para peatones y ciclistas.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (sedimentación, filtración y absorción biológica) detención, conducción e infiltración. 		
Biovaleta (Zanja de bioretención) (Biozanja)	Urbana	Son depresiones lineales con vegetación, suelo y otros elementos filtrantes, que procesan una limpieza del agua de lluvia a la vez que dirigen el escurrimiento pluvial hacia la misma. Se utilizan generalmente para el tratamiento de escurrimientos procedentes de estacionamientos o calles. Son similares a los jardines de lluvia pero se diferencian por su característica lineal predominante.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la detención, purificación (sedimentación, filtración, absorción biológica) y conducción. 		
Pavimento permeable		Son una solución para reducir la impermeabilidad de las superficies urbanas, a la vez que permiten la infiltración del agua de lluvia. Reducen la escorrentía y por lo tanto, mitigan el riesgo a inundaciones. Pueden ser utilizados en calles, avenidas, estacionamientos, parques, plazas, patios y otros.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (sedimentación, filtración, absorción biológica) detención e infiltración. 		
Cuneta pluvial	Arquitectónica	Son básicamente jardines de lluvia que fueron compactados en pequeños espacios urbanos. Pueden ser proyectados en calles o edificios para recibir las aguas provenientes de escurrimientos superficiales de áreas impermeables. Dependiendo de sus dimensiones y objetivos, pueden contar con un extravasador para recibir el excedente del escurrimiento pluvial.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (sedimentación, filtración y absorción biológica) detención e infiltración. 		
Jardín de lluvia		Son depresiones topográficas que reciben el escurrimiento del agua pluvial; el suelo (tratado con agregados como gravas y arena que aumentan su porosidad) actúa como esponja para absorber el agua, mientras que microorganismos y bacterias remueven los contaminantes difusos arreados por el escurrimiento superficial. La adición de plantas aumenta la evapotranspiración y la remoción de nutrientes.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (sedimentación, filtración, absorción biológica) detención e infiltración. 		
Techo verde	Puntual	Son coberturas vegetales en los techos de las edificaciones. Retardan la entrada de agua de lluvia en el sistema de drenaje, filtran el agua de lluvia, proporcionan microhábitats para fauna y flora, reducen la temperatura interna de las edificaciones, moderan las islas de calor, capturan carbono, entre otras características.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (filtración y absorción biológica) y detención. 		
Muro verde		Son muros vegetados que proporcionan beneficios como: confort térmico en el interior de las edificaciones, disminución de las islas de calor, aumento de la biodiversidad urbana, retención de las aguas de lluvia, purificación del aire, entre otros.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (absorción biológica) y detención. 		
Huerto urbano		Son áreas verdes productivas dentro de las ciudades que además de producir alimentos para la población, proporcionan beneficios ambientales. Pueden ser construidas en espacios residuales, de diversos tamaños y de carácter comunitario o particular.	<ul style="list-style-type: none"> Promueven la purificación (sedimentación, filtración y absorción biológica) retención e infiltración. 		

Tabla 1.1 Infraestructura verde. Las tipologías de infraestructura verde pueden ser aplicadas a diversas escalas en las ciudades, cada una promueve distintas funciones hídricas y son construidas con múltiples fines. Fuente: Adaptado de: *Tipologías de Infraestructura Verde para a escala social.* <http://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0913870_2011_cap.4.pdf> Acceso en mayo, 2015.

1.3.1.3 Los jardines de lluvia como desarrollo de bajo impacto

Los jardines de lluvia son estrategias de *Desarrollo de Bajo Impacto* (DBI) pues mitigan los efectos de la urbanización en el medio ambiente, a través de un manejo integral del agua pluvial en las ciudades, con sistemas pasivos y naturales que asemejan las condiciones pre-urbanas.

En diferentes partes del mundo, han surgido enfoques que abordan la problemática de la urbanización desde muy variadas perspectivas, de acuerdo a la región geográfica donde se desarrollen, las estrategias han sido nombradas de diferentes maneras, siendo el término *Low Impact Development* (LID) o *Desarrollo de Bajo Impacto* (DBI), el más popularizado. (Fig. 1.5) Este término es empleado en los EE. UU. y Canadá para definir las estrategias que hacen uso de los escurrimientos pluviales urbanos desde un enfoque integral para colectarlos, conducirlos y tratarlos, mitigando el impacto que la urbanización ha traído como consecuencia. (Fig. 1.6)

Las prácticas de DBI han sido definidas como:

Elementos integrantes de la infraestructura urbano-hidráulico-paisajística cuya misión es captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar al terreno el agua de lluvia, de forma que ésta no sufra ningún deterioro e incluso permita la eliminación, de forma natural, de al menos parte de la carga contaminante que haya podido adquirir por procesos de escorrentía urbana previa. Todo ello tratando de reproducir, de la manera más fielmente posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación del hombre. (PERALES, 2010)

Los mismos sistemas son conocidos en Europa, principalmente en Inglaterra, como *Sustainable Urban Drainage System* (SUDS) o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible; en Australia el término ha sido definido como *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) o Diseño Urbano Sensible al Agua; mientras que en España son definidas como *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible* (TDUS).

En el contexto latinoamericano, encabeza Brasil desde un abordaje de *Melhores Práticas de Manejo* (MPM) o Mejores Prácticas de Manejo; en Chile el término ha sido definido como *Técnicas Alternativas de Drenaje* (TAD); se conoce como *Desarrollo Urbano de Bajo Impacto Hidrológico* (DUBIH) en Argentina, y en otros países hispanohablantes como *Mejores Prácticas de Control* (MPC).

En México, el término aún se encuentra en desarrollo, en uno de los primeros intentos de abordaje ha sido definido como *Drenaje de Bajo Impacto* (DreBI)² unificando su objetivo con los términos ya mencionados.

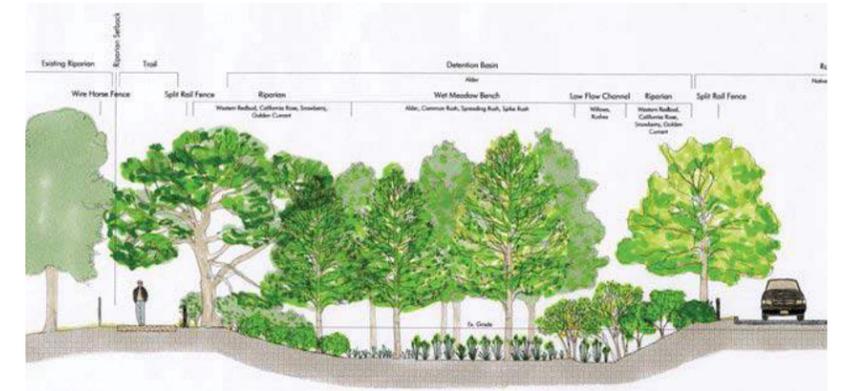


Figura 1.5 Estrategias del Desarrollo de Bajo Impacto. Proponen el uso inmediato de los escurrimientos pluviales mediante técnicas y materiales que imitan las condiciones pre-urbanas para disminuir los efectos de la urbanización. Fuente: Disponible en: <<http://www.wra-ca.com>> Acceso en mayo, 2015.

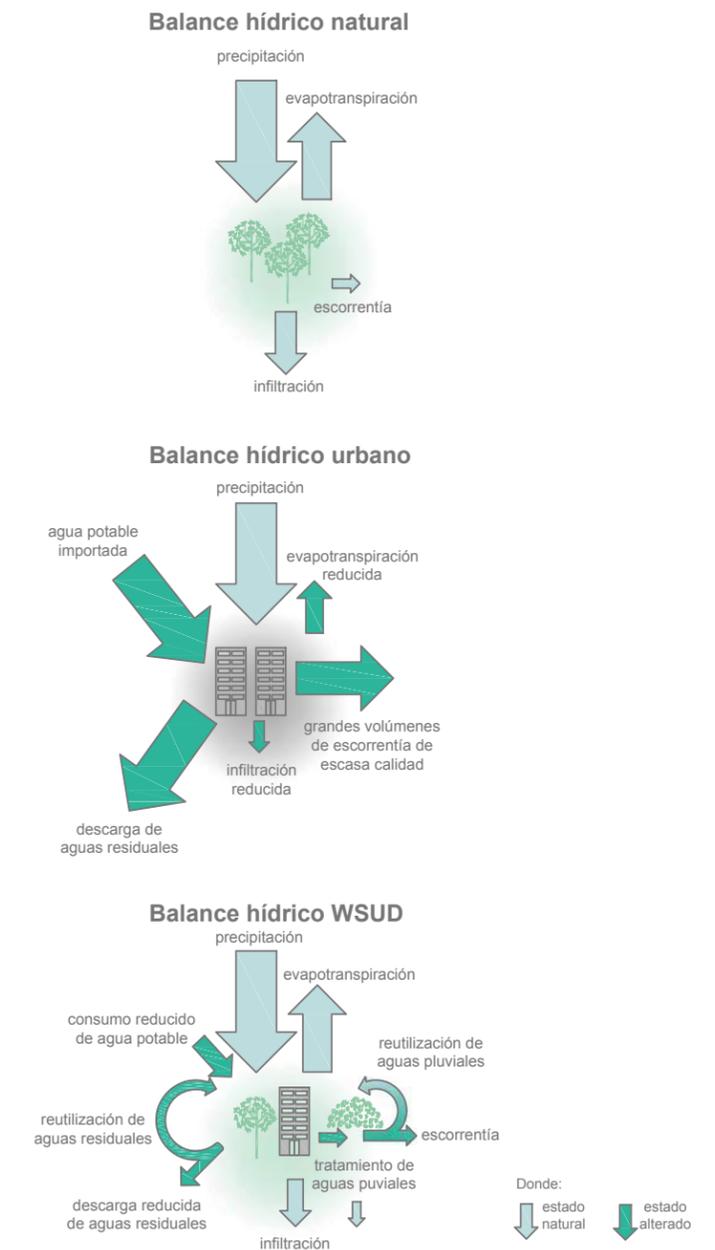


Figura 1.6 Elementos del Desarrollo de Bajo Impacto. Incorporan a la infraestructura urbana, a la gestión integral de las aguas pluviales y al paisaje, como elementos de transformación. Fuente: Disponible en: <<http://www.outlinesla.com.au>> Acceso en mayo, 2015.

Las técnicas de DBI convergen en gestionar las aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, haciendo frente a las escorrentías desde el momento que llegan al suelo y reproduciendo mediante técnicas y materiales, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización. (**Fig. 1.7**)

El DBI aumenta las superficies permeables y, a través de dispositivos de retención e infiltración, los volúmenes pluviales generados son controlados en el propio espacio, evitando que se transfieran al drenaje convencional, contaminándose y desaprovechándose.

En términos paisajísticos, el objetivo de las estrategias de DBI es maximizar la integración paisajística del entorno construido con el medio natural, utilizando técnicas que imitan los procesos naturales para proteger la calidad del agua pluvial, logrando así, la creación de redes interconectadas que consideran al paisaje como parte de la infraestructura de las ciudades, desde una visión sistémica en escala regional.



¹ *Traffic-calming* son los elementos que logran reducir la velocidad de los vehículos, mejorando la seguridad y la calidad de vida; son las medidas y/o barreras físicas que cambian en comportamiento del conductor logrando reducir la velocidad del tráfico. Información disponible en: <<http://trafficalming.org/definition>> Acceso en julio, 2015.

² Información disponible en: <<http://www.agua.org.mx>> Acceso en julio, 2015.

Figura 1.7 Diagrama de funcionamiento del ciclo del agua. Relación del Balance hídrico natural-Balance hídrico urbano-Balance hídrico con sistemas WSUD. Fuente: Adaptado de: <<http://www.engineeringnaturesway.co.uk>> Acceso en mayo, 2015.

1.3.1.4 Funcionamiento y procesos en un jardín de lluvia

De acuerdo con el *Bioretention Manual* elaborado por el *Environmental Services Division* (División de Servicios Ambientales), *Department of Environmental Resources* (Departamento de Recursos Ambientales), The Prince George's County, Maryland, 2007; los procesos químicos, biológicos y físicos que ocurren en un jardín de lluvia, son los que a continuación se muestran: (**Fig. 1.8**) (**Fig. 1.9**)

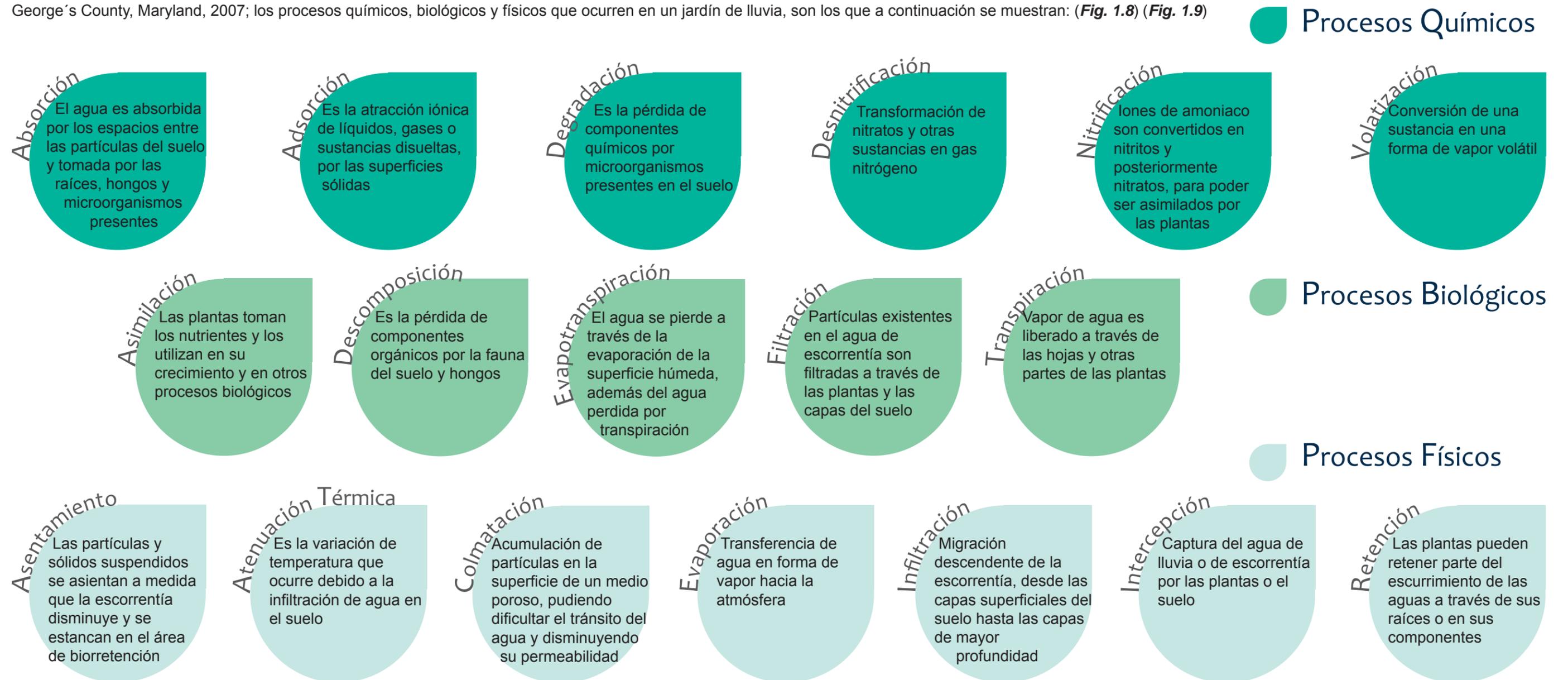


Figura 1.8 Procesos químicos, biológicos y físicos involucrados en la biorretención.

Fuente: Adaptado de: *Bioretention Manual* de *The Prince George's County, Maryland, 2007* Disponible en: < http://www.ct.gov/deep/lib/deep/p2/raingardens/bioretention_manual_2009_version.pdf >. Acceso en mayo, 2015.

Así también, los jardines de lluvia son considerados parte de las llamadas técnicas de fitorremediación, las cuales, utilizan a las plantas para reducir los contaminantes en agua y suelo, a niveles seguros para la salud humana. La fitorremediación impide la diseminación de sustancias nocivas al ambiente o las reduce significativamente (ANDRADE, 2007). Según el mismo autor envuelve los siguientes mecanismos:



Figura 1.9 Procesos relacionados en la fitorremediación. Fuente: Adaptado de: ANDRADE, 2007.

1.3.1.5 Beneficios de los jardines de lluvia

Los jardines de lluvia ofrecen múltiples beneficios, entre los principales se encuentran el aporte que pueden lograr al ambiente y a la economía (NOVOTNY *et al.*, 2010), por mencionar algunos de los más relevantes:

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Proveen un hábitat para aves e insectos benéficos, los cuales son indispensables en las cadenas tróficas y en los procesos de polinización de los ecosistemas saludables.
- Infiltran grandes cantidades de agua pluvial al subsuelo.
- Actúan como filtro biológico a nivel radicular, deteniendo gran parte de los contaminantes evitando que lleguen a las aguas subterráneas.
- Proporcionan áreas vegetadas que brindan mejorías al microclima urbano y disminuyen las **islas de calor**.
- Remueven parte de los contaminantes, materia orgánica y sólidos suspendidos totales disueltos en el agua de lluvia, antes de infiltrarla al subsuelo, mejorando así la calidad de la misma.
- Debido a que el agua logra infiltrarse en un periodo máximo de 24 a 48 horas, no permiten la reproducción de mosquitos, por lo que son jardines altamente saludables.
- Disminuyen los efectos erosivos ocasionados por la escorrentía superficial.
- Protegen a los ríos y arroyos de las ciudades de contaminantes y de la erosión causada por el paso de agua.
- Recargan las aguas subterráneas y/o **mantos freáticos**.

BENEFICIOS SOCIALES

- Aproximan a la población urbana a los procesos cíclicos naturales.
- Crean espacios para el encuentro en los que se fomenta la interacción social.
- Tienen mayor aceptación por parte de la población, por los beneficios paisajísticos y ambientales que ofrecen, en comparación con el sistema de drenaje convencional.

BENEFICIOS ECONÓMICOS

- Reducen la inversión pública en infraestructura de drenaje pluvial al resultar altamente rentables.
- Son una estrategia de prevención contra las inundaciones urbanas, lo que puede representar una reducción de los costos de mantenimiento de la infraestructura de drenaje.
- Proponen materiales alternativos y menos costosos en comparación con los sistemas convencionales de drenaje, reduciendo la inversión y brindando efectos a largo plazo.

BENEFICIOS A LA INFRAESTRUCTURA URBANA

- Complementan la red de drenaje convencional.
- Adaptan el drenaje urbano al ciclo hidrológico natural.
- Mimetizan las estructuras de manejo pluvial.
- Disminuyen el volumen y la velocidad de la escorrentía de agua pluvial en los sistemas de drenaje convencionales, protegiendo dichas estructuras y prolongando su vida útil.
- Retardan los picos de escorrentía que saturan al sistema de drenaje, retienen el agua hasta que éste tiene la capacidad de recibirla.
- Aumentan la cantidad de áreas verdes permeables presentes en las ciudades.

BENEFICIOS AL PAISAJE URBANO

- Entienden al paisaje como parte de la infraestructura de las ciudades, logrando una visión sistémica del entorno natural.
- Al involucrar a la arquitectura del paisaje en el manejo del agua pluvial urbana, se logran aprovechar los escurrimientos pluviales en pequeños sistemas que los utilizan como fuente de subsistencia, haciendo un mejor uso del recurso.
- Crean un paisajismo integral que entiende y respeta el ciclo hidrológico dentro de las urbes.
- Mejoran el paisaje urbano y recuperan entornos naturales dentro de las ciudades, aumentando la calidad de vida de los habitantes.
- Son una estrategia paisajística para ser aplicada en remanentes urbanos o áreas subutilizadas, añadiendo valores estéticos y ecológicos al medio antropizado.

1.3.2 Estado del arte internacional

El término jardín de lluvia (*rain garden*) fue empleado por primera vez en el condado de Prince George's County, Maryland en EE. UU. en el año de 1990, cuando Dick Brinker un desarrollador de la construcción, se unió con Larry Coffman, director asociado de *Maryland Department of Environmental Resources* (Departamento de Recursos Ambientales de Maryland) y juntos instalaron jardines de lluvia en cada propiedad residencial, presentando un sistema alternativo, que de haber instalado sistemas convencionales de drenaje compuestos por tuberías, canaletas, banquetas tradicionales y bordillos, habría costado \$400,000 USD en comparación con los jardines de lluvia que tuvieron un costo de \$100, 000 USD y resultaron además altamente eficientes y rentables.

A partir de entonces, los jardines de lluvia han sido empleados alrededor de todo el mundo como estrategias paisajísticas para controlar los escurrimientos pluviales urbanos, ofreciendo una solución práctica a través del uso de sistemas no convencionales de drenaje pluvial.

Los jardines de lluvia han sido construidos en todo el mundo, encabezando ciudades norteamericanas como Nueva Jersey, Kansas, Wisconsin, Portland (**Fig. 1.10**) (**Fig. 1.11**) y Connecticut y las ciudades australianas de Kingston y Melbourne (**Fig. 1.12**), como algunas en las que se han instalado un mayor número de éstos, (**Tabla 1.2**) para ser empleados como sistemas de biorretención e infiltración, que imitan las condiciones pre-urbanas para promover el incremento de áreas naturalizadas, al mismo tiempo que remueven nutrientes, metales y patógenos (BECKER, 2013).



Figura 1.10 Jardín de lluvia en The Southwest 12th Avenue, Portland, Oregon, EE. UU., Fuente: Disponible en: <<http://landperspectives.com>> Acceso en junio, 2015.

AÑO	LOCALIDAD	CANTIDAD	DESARROLLO	OBJETIVOS	PARTICIPANTES	STATUS
1990	Prince George's County, Maryland, EE.UU.	S/D	Conjunto con el <i>Department of Environmental Resources</i> , un desarrollador de la construcción instaló jardines de lluvia como sistemas alternativos para el control de aguas pluviales.	Instalar jardines de lluvia residenciales reduciendo significativamente los costos en comparación con los sistemas tradicionales de drenaje.	Desarrolladores, particulares	Concluido
1996	Maplewood, Minnesota, EE. UU.	Más de 700 jardines de lluvia en hogares. Más de 60 jardines de lluvia públicos.	El gobierno de la ciudad incentiva a propietarios, desarrolladores y contratistas a construir jardines de lluvia en sus predios para coleccionar el agua de lluvia.	Incentivar el uso de los jardines de lluvia como práctica alternativa para el tratamiento de la escorrentía pluvial en propiedades.	Gobierno, propietarios, desarrolladores	En marcha
2001	Kingston, Australia	200	El Consejo de la Ciudad de Kingston ha diseñado y construido jardines de lluvia como parte de las estrategias <i>Water Sensitive Urban Design (WSUD)</i> .	Mejorar la calidad del agua de lluvia colectada a través de los sistemas convencionales de drenaje, antes de enviarla hacia la bahía.	Gobierno	En marcha
2005	Queensland, Australia	N/A	<i>Water by Design</i> es un programa que apoya el <i>Water Sensitive Urban Design (WSUD)</i> en el sureste de Queensland.	Incentivar el uso de los jardines de lluvia como estrategia para disminuir el impacto de las urbanizaciones sobre los cauces de agua.	Gobierno y particulares	N/A
2007	Kansas City, Missouri, EE. UU.	10,000	Minimizar la problemática ambiental en cuestión de la infraestructura de drenaje, que debido a la antigüedad, resulta obsoleta y no logra canalizar las aguas pluviales de la creciente población, causando inundaciones y daños materiales.	Compensar el aumento en la demanda de la infraestructura pluvial de la ciudad. Mejorar la calidad del agua. Educar a propietarios, desarrolladores y estudiantes acerca de la calidad del agua, plantas nativas, y soluciones verdes.	Gobierno, particulares, propietarios	En marcha
2008	Melbourne, Australia	10,000	El <i>Melbourne Water's 10,000 Rain Garden Program</i> tuvo como objetivo animar a las personas a construir jardines de lluvia en sus casas, mediante programas <i>DIY</i> , con el objetivo de mejorar la gestión de las aguas pluviales y contribuir a tener cuerpos hídricos saludables.	Proteger los ríos locales e incrementar la calidad de vida de los habitantes.	Propietarios, escuelas y gobierno local	Concluido
2010	Londres, Inglaterra	N/A	El jardín de lluvia del <i>Royal Bank of Canada Rain Garden</i> instalado en el <i>London Wetland Centre Rain Garden</i> es uno de los jardines de lluvia más reconocidos internacionalmente, es ejemplo del ahorro de agua y de la utilización de vegetación silvestre para la creación de microhábitats saludables.	Colecta el agua de lluvia del techo del pabellón y la conduce a través de una serie de terrazas ajardinadas para después poder aprovechar el excedente. Es un modelo demostrativo que ejemplifica el uso de los jardines de lluvia como estrategia paisajística.	Instituciones no lucrativas e inversión privada	Concluido
2016	Washington D.C., EE. UU.	12,000	<i>The Washington State University</i> junto con la asociación no lucrativa <i>Stewardship Partners</i> y la comunidad, incentivan la construcción de jardines de lluvia para infiltrar millones de litros de agua de lluvia y proteger los cauces de agua, contribuyendo significativamente para aminorar la crisis de aguas pluviales que amenaza las vías fluviales.	Campaña para instalar 12,000 jardines de lluvia en Seattle/Puget Sound Region, planeada para ser concluida en el 2016.	Universidades, instituciones no lucrativas y comunidad	En marcha

Tabla 1.2 Ejemplos de construcción masiva de jardines de lluvia alrededor del mundo. Fuente: Casandra Badillo, 2016.

Para la presente tesis, se tomaron como referencia diversas investigaciones realizadas, cuyos resultados ofrecen un punto de comparación sobre el uso de los jardines de lluvia.

Las universidades de Ohio y Maryland en EE. UU., la Universidad de Monash y Melbourne en Australia, la Universidad de Cartagena en Colombia, la Universidad de São Paulo y la Universidad Federal de Pernambuco en Brasil, fueron los principales referentes.

En lo relativo a los jardines de lluvia como estrategia de retención, se han realizado diversos estudios procedentes de distintos puntos geográficos, obteniendo resultados positivos que califican a los jardines de lluvia como sistemas capaces de disminuir los SST (sólidos suspendidos totales), nutrientes como P (fósforo) y N (nitrógeno), metales pesados como Cu (cobre), Pb (plomo) y Zn (zinc) y bacterias fecales (*E. coli*) como se ha demostrado en estudios (DEBUSK *et al.*, 2011).

En un estudio realizado en el que se investigaron diversos modelos de biorretención, se obtuvieron reducciones del 85% de los sólidos suspendidos totales y 72% del fósforo total (PT) en jardines de lluvia (WEISS, 2007).

Así también, se comprobaron reducciones en las concentraciones de los metales pesados (Cu, Pb y Zn) mayores al 90% tanto en modelos de laboratorio como en modelos de campo (DIETZ, 2007).

Lo anterior demuestra de forma consistente, que los jardines de lluvia son estrategias que no sólo logran un manejo integral de las aguas pluviales, sino que son sistemas capaces de reducir notoriamente los contaminantes presentes en la lluvia para mejorar la calidad de la misma y ofrecer los beneficios de la fitorremediación (**Tabla 1.3**) (**Tabla 1.4**).

PARÁMETROS	% DE REMOCIÓN	FUENTES
SST	97	HSIEH & DAVIS, 2005; UNHSC, 2006; ERMILLIO & TRAVER, 2006.
PT	35-65	DAVIS <i>et al.</i> , 2006; HUNT <i>et al.</i> , 2006; ERMILLIO, 2005.
NT	33-66	NHSC, 2006; HUNT <i>et al.</i> , 2006; SHARKEY, 2006; DAVIS <i>et al.</i> , 2006.
Cu	36-93	ERMILLIO, 2005; DAVIS <i>et al.</i> , 2006.
Pb	24-99	ERMILLIO, 2005; DAVIS <i>et al.</i> , 2006.
Zn	31-99	UNHSC, 2006; ERMILLIO, 2005.
Grasas	99	UNHSC, 2006; HONG <i>et al.</i> , 2006.
Bacterias	70	HUNT <i>et al.</i> , 2007.

Tabla 1.3 Contaminantes removidos a través de los sistemas de biorretención. Fuente: Adaptado de: *Bioretention Manual, The Prince George's County, Maryland, 2007.*



Figura 1.11 Mount Tabor Middle School Rain Garden. Portland, Oregon, EE. UU. Fuente: Disponible en: <<http://www.asla.org>> Acceso en junio, 2015.



Figura 1.12 Edinburgh Gardens Rain Garden, Melbourne, Australia. Fuente: Disponible en: <<http://www.landezine.com>> Acceso en junio, 2015.

AÑO	AUTORES	LOCALIZACIÓN	MÉTODO	RESULTADOS	ANÁLISIS CRÍTICO
2001	DAVIS, Allen P.; SHOKOUHIAN, Mohammad; SHARMA, Himanshu & MINAMI, Christie.	Prince George's County, Maryland, EE. UU.	Aguas sintéticas con contenido específico de concentraciones de contaminantes, asemejando muestras de escurrimientos de áreas urbanas cercanas al local del experimento, fueron administradas en dos cunetas pluviales vegetadas construidas y monitoreadas en laboratorio. Se utilizó una salida de 4.1 cm ³ /h por 6 horas ininterrumpidas. Las muestras colectadas, en diferentes niveles de las cunetas, fueron analizadas y comparadas con el escurrimiento inicial.	Excelentes reducciones en las concentraciones de metales (90%) y reducciones moderadas de amonio, fósforo y nitrógeno total (Kjeldah). Poca remoción de nitrato, teniendo producción en varios momentos.	<ul style="list-style-type: none"> Experimento completamente controlado en laboratorio, simulando situaciones reales. Uso de agua de grifo para producir los escurrimientos sintéticos, con remoción de cloro. Muestras colectadas en diferentes niveles de las cunetas, posibilitando verificar que los metales son removidos en el suelo superficial.
2003	DAVIS, Allen P.; SHOKOUHIAN, Mohammad; SHARMA, Himanshu; MINAMI, Christie & WINOGRADOFF, Derek.	Greenbelt y Largo, Maryland, EE. UU.	El trabajo realizó pruebas que evaluaron la eficiencia de elementos de bioretención en la remoción de metales de los efluentes de cunetas vegetadas monitoreadas en laboratorio y en experimentos de campo (cunetas pluviales vegetadas en estacionamientos). Los jardines fueron sometidos a escurrimientos sintéticos con concentraciones específicas de plomo, cobre y zinc, y a variaciones afluentes de 4.1 cm/h por 6 horas.	Las tasas de remoción de los metales analizados (plomo, cobre y zinc) en los escurrimientos sintéticos fueron excelentes y alcanzaron casi 100% de la concentración de la masa total acumulada.	<ul style="list-style-type: none"> Experimento completamente controlado aun siendo en campo. Comparación entre la eficiencia de las cunetas pluviales en laboratorio con las cunetas pluviales en campo, verificando que las tasas de remoción de metales pesados de estas últimas fueron mejores.
2006	DAVIS, Allen P.; SHOKOUHIAN, Mohammad; SHARMA, Himanshu & MINAMI, Christie.	Prince George's County, Maryland, EE. UU.	Utilizando el mismo método del experimento de laboratorio del 2001, las cunetas pluviales vegetadas fueron sometidas a escurrimientos sintéticos con concentraciones específicas de nutrientes (fósforo y nitrógeno). Los caudales afluentes fueron diversificados para la evaluación de los elementos de bioretención en simulaciones con diferentes condiciones de lluvia.	Reducciones de 70 a 85 % en las concentraciones de fósforo, 55 a 65% para el nitrógeno total (Kjeldah). Poca reducción de nitrato (<20%), registrando producción en algunos casos.	<ul style="list-style-type: none"> Experimento completamente controlado en laboratorio, simulando situaciones reales. Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de forma segregada. Simulaciones de diferentes intensidades de precipitación con caudales afluentes distintos.
2007	DIETZ, M.E. & CLAUSEN, J.C.	Haddam, Connecticut EE. UU.	Dos jardines de lluvia instalados para captar los escurrimientos de una cubierta de 106.8 m ² , fueron analizados para medir la capacidad de retención y de mejoría de la calidad del agua. Ambos recibieron la misma composición de suelo, (vegetación y 5 cm de cobertura muerta- <i>mulch</i>). La evaluación de las concentraciones de metales (Pb, Cu y Zn) y nutrientes (nitrógeno y fósforo) fue realizada en condiciones de saturación (con encharcamiento) en uno de los jardines.	En cuanto a la retención, hubo extravasamiento de los jardines en apenas 0.8% de los eventos. En general, las concentraciones de nitrato, nitrato, amoníaco y nitrógeno total, disminuyeron significativamente, sin grandes diferencias entre la cuneta pluvial saturada y la insaturada. En el fósforo tuvo un aumento de concentración.	<ul style="list-style-type: none"> Muchas muestras del tejado presentaron concentraciones por debajo de lo detectable, anulando la posibilidad de evaluación de los jardines en varios eventos. Evaluación de la capacidad de remoción de contaminantes por los componentes del jardín (suelo, <i>mulch</i> y plantas) y por el sistema completo. El <i>mulch</i> presentó mayor capacidad de remoción.
2007	SUN, Xueli & DAVIS, Allen P.	Prince George's County, Maryland, EE. UU.	Escurremientos sintéticos con concentraciones graduales de metales (Zn>Cu>Pb>Cd) fueron administrados a células vegetadas en laboratorio. Después de 230 días de crecimiento de la vegetación, los padrones de acumulación de metales fueron analizados en el suelo y en las gramíneas utilizadas.	Las tasas de acumulación de metales siguieron el mismo patrón de escurrimientos (Zn>Cu>Pb>Cd), con un 88 a 97% fijado en el suelo, 2 a 11.6% no retenidos y 0.5 a 3.3% acumulados en las plantas.	<ul style="list-style-type: none"> Experimento completamente controlado en laboratorio, simulando situaciones reales. Análisis de tejidos vegetales después del periodo de monitoreo para la verificación de las tasas acumuladas de metales.
2007	HENDERSON, C.; GREENWAY M. & PHILLIPS, I.	Griffith University, Brisbane, Australia	Seis tipologías de células de bioretención fueron construidas y monitoreadas en laboratorio utilizando diferentes composiciones de suelo (grava, arena y medio-arenoso) y 5 especies vegetales. Los escurrimientos sintéticos fueron insertados en las células de forma controlada y comparados con las muestras recogidas después del paso e infiltración por las cunetas pluviales.	Las células vegetadas fueron bastante eficientes en la remoción de nitrógeno (63-77%) y de (85-94%) de los escurrimientos sintéticos. Todas las opciones de composición y tratamiento, removieron porciones substanciales de carbono (28-66%).	<ul style="list-style-type: none"> Experimento completamente controlado en laboratorio, simulando situaciones reales. Comparaciones de las tasas de eficiencia entre diferentes tipologías de células de bioretención, verificando que las vegetadas consiguen mayores reducciones de nutrientes.
2008	READA, Jennifer; WEVILLA, Tricia; FLETCHER, Tim & DELETIC, Ana.	Monash University, Victoria, Australia	Veinte especies nativas, entre herbáceas y arbustivas, fueron plantadas en tuberías de PVC (ø de 15 cm y 50 cm de largo) y fueron sometidas a mezclas de agua con concentraciones de metales (Mn, Fe, Pb, Cr, Zn, Al y Cu), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno y fósforo. (También hubo tubos solamente con suelo que recibieron las mismas soluciones). Controlados en laboratorio, los escurrimientos de los tubos fueron colectados 2 veces, con una semana de intervalo.	Los SST y los metales fueron reducidos en hasta un 12% en los efluentes, tanto en los tubos con plantas como en aquellos con únicamente suelo. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo fueron menores en las células vegetadas pero con aumento en relación a los caudales efluentes.	<ul style="list-style-type: none"> Especies analizadas de forma aislada. Experimento completamente controlado en laboratorio. Poco énfasis en el comportamiento de la vegetación. Relación de la eficiencia de cada especie estudiada, aun considerando que el uso de variedades aisladas no es recomendado en la bioretención.
2008	LI, Houng & DAVIS, Allen P.	Distrito de Columbia, Washington D.C., EE. UU.	Columnas constituidas de agregado fino (50%), sustrato para el plantío (30%) y <i>mulch</i> (20%), con 10 cm de altura en total, fueron sometidas a escurrimientos sintéticos con sólidos en suspensión. Una célula de bioretención en un estacionamiento fue monitoreada en relación a la filtración de sólidos suspendidos totales (SST) en 7 eventos de lluvia entre el 2005 y 2006. Por las pruebas de laboratorio, se estimó la vida útil de la composición del suelo utilizado en la colmatación.	Las partículas en suspensión fueron retenidas en las capas superficiales del suelo, se verificó la poca infiltración de las mismas. Los SST redujeron significativamente la capacidad de percolación de las columnas del suelo analizadas en el laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de vegetación en los experimentos de laboratorio. Monitoreamientos realizados en campo y en laboratorio. Formulación de recomendaciones para el mantenimiento y eficiencia de los elementos de bioretención en la captura de SST en base a los resultados que evidencian la retención de esas partículas en capas superficiales.
2009	HATT, Belinda; FLETCHER, Tim D. & DELETIC, Ana.	Melbourne y Brisbane, Australia	Tres jardines de lluvia en situaciones climáticas distintas fueron evaluados en relación a las reducciones de los caudales de salida y las cargas contaminantes de metales pesados (Zn, Cu, Pb, Cd y Mn), nutrientes (nitrógeno y fósforo) y sólidos suspendidos totales (SST). Los elementos de bioretención (2 a lo largo de vías y 1 en un estacionamiento) fueron evaluados por aproximadamente 1 año, en 4 eventos de lluvia. Sensores de ultrasonido en la entrada y salida midieron los caudales y colectores automáticos recolectaron los escurrimientos.	En todos los modelos, los escurrimientos fueron reducidos cerca del 33% por infiltración y evapotranspiración. Las cargas de metales y SST fueron reducidas en aproximadamente 90%. La remoción de nutrientes fue variable, se verificaron reducciones y aumentos en eventos distintos.	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo de situaciones reales con escurrimientos no sintéticos, sin manipulación de concentraciones. Evaluación simultánea de la capacidad de amortiguamiento y de mejoría de la calidad de los escurrimientos. Evaluación de la eficiencia de los jardines de lluvia por las concentraciones y cargas de contaminantes.
2011	TROWSDALE, Sam A., & SIMCOCK, Robyn.	Auckland, Nueva Zelanda	Evaluación de la eficiencia de un sistema de bioretención de 200 m ³ instalado en el 2006 en las proximidades de una autopista de tráfico intenso donde se originan los escurrimientos. El sistema fue monitoreado en 12 eventos de lluvia, cuando fueron calculados los volúmenes retenidos e infiltrados, considerando la porosidad del suelo y las reducciones en las concentraciones de metales (Zn, Pb, y Cu) y sólidos suspendidos totales (SST).	El extravasamiento del sistema en 10 de los 12 eventos evaluados evidenció el subdimensionamiento de los mismos. La mayor parte del Zn y de los SST de los escurrimientos fueron removidos. Las reducciones de Pb fueron menores y se verificó la liberación de Cu.	<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de criterio para el dimensionamiento del sistema de bioretención en relación con el caudal afluente. Caracterización del tipo de tráfico de la vía adyacente al modelo. Monitoreo de situaciones reales con escurrimientos no sintéticos sin la manipulación de las concentraciones.

Tabla 1.4 Resumen de algunos de los experimentos de bioretención realizados, con breve descripción de los procedimientos, resultados y análisis de factores positivos y negativos.
Fuente: Adaptado de: BECKER, 2013.

1.3.3 Estado del arte nacional

En el marco teórico nacional no existen ejemplos de jardines de lluvia construidos con fines de investigación o académicos; los ejemplos más representativos se basan en propuestas conceptuales que hacen uso de los jardines de lluvia y de la infraestructura verde para aminorar los efectos de las inundaciones, restaurar los ecosistemas antropizados y mejorar el espacio público.

Hasta la fecha de revisión de tesis (octubre de 2017) se encontraron cuatro casos de estudio en el marco teórico nacional, relativos al uso de sistemas de biorretención: el primero corresponde a un ejemplo construido de biozanja en Polanco; el segundo es un libro de estrategia de infraestructura verde y corredores ecológicos para la zona del Pedregal de San Ángel; el tercero es una propuesta de intervención de parque lineal en la zona de Chimalistac-Viveros en Coyoacán, y el cuarto caso es una propuesta actualmente en construcción de Parque Hídrico *La Quebradora*, en la demarcación Iztapalapa.

El caso de estudio construido, es un ejemplo de infraestructura verde al tratarse de una biozanja construida en la calle de Sócrates, en la colonia Polanco, en la Ciudad de México, cuya finalidad es captar, aprovechar y direccionar el agua de lluvia al subsuelo, generando un alto impacto visual paisajístico mediante un sistema de bajo mantenimiento. (**Fig. 1.13**)

El proyecto fue realizado por el despacho *Nosotros Tierra* cuyo trabajo está enfocado en el desarrollo de proyectos que incorporan la utilización de la *Infraestructura Viva* como eje rector para lograr espacios multifuncionales que mejoran la calidad del ambiente.

El libro *Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: Ecología urbana del sur de la Ciudad de México*, es una propuesta de aplicación de infraestructura verde en colonias de la zona del Pedregal, realizada por arquitectos de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, con iniciativa presentada por el Instituto de Biología y la Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de la UNAM y financiado por el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal³ en el año 2009 y publicado en el 2011.⁴

El libro ofrece una perspectiva sobre la problemática de la falta de aplicación de vegetación nativa xerófila en la zona del Pedregal, para mejorar la calidad de los ecosistemas, conservar y proteger la vegetación nativa y proporcionar a la ciudadanía espacios de recreación y esparcimiento a través de prototipos que respondan a las necesidades de los espacios y conforme a tipologías de colonias estudiadas. (**Fig. 1.14**)

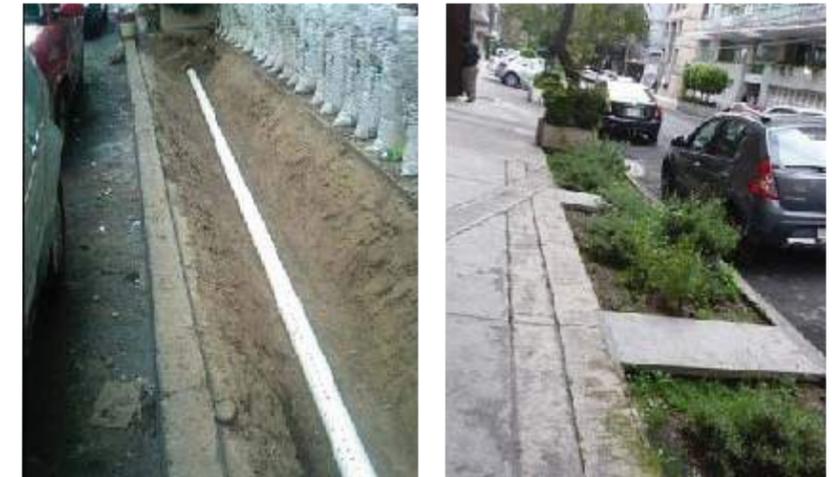


Figura 1.13 Biozanja en calle Sócrates, Polanco, Ciudad de México, México. Fuente: Disponible en: <<http://www.nosotrosierra.com>> Acceso en junio, 2015.

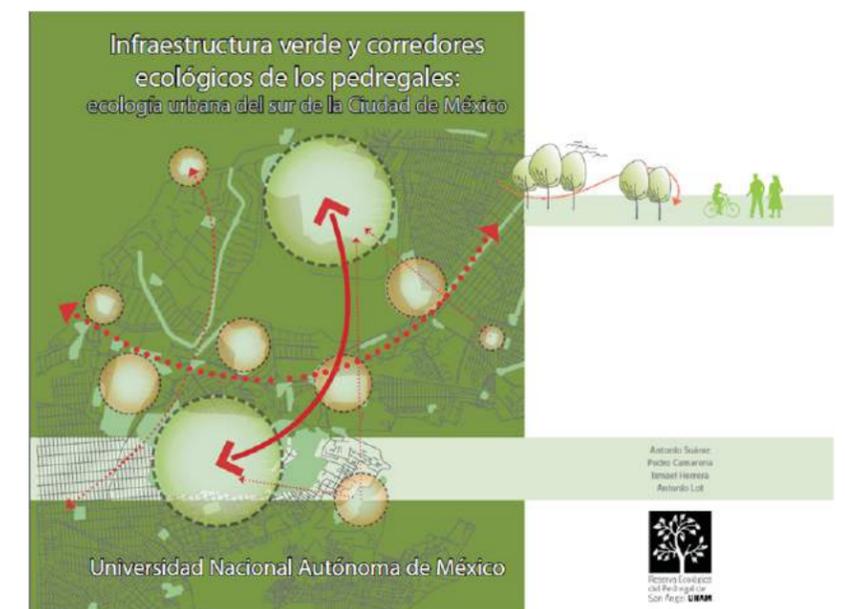


Figura 1.14 Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: ecología urbana del sur de la Ciudad de México. Fuente: Disponible en: <<http://centro.paot.org.mx>> Acceso en junio, 2015.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El tercer caso de estudio es el proyecto realizado por el Taller de Operaciones Ambientales (TOA) denominado Paseo del Río: Parque Lineal - Chimalistac Viveros, cuya etapa de desarrollo abarcó del 2009-2011, dando como resultado un proyecto terminado, que debido a problemas con los vecinos de la zona, se vio suspendido en el 2011 y hasta la fecha no ha logrado construirse.

La propuesta considera un parque lineal de 3 km sobre el cauce del río Magdalena en lo que actualmente es un río oculto y contaminado, transformándolo en un elemento rector del paisaje urbano, restaurando los servicios del ecosistema, reconstruyendo un espacio urbano deteriorado y revalorizando el espacio público (**Fig. 1.15**); el proyecto contempla la creación de jardines de lluvia (**Fig. 1.16**) que capturan y almacenan temporalmente el agua de tormenta, retardando los picos de escorrentía que saturan el sistema de drenaje y causan inundaciones.⁵

El Plan Maestro fue desarrollado en colaboración con Benlliure Betancourt Arquitectos y Tatiana Bilbao; contempla la construcción de una ciclopista, una planta de tratamiento de aguas residuales con tanques cubiertos, la recuperación de 11 monumentos protegidos y el saneamiento de la vegetación en torno al río, tomando al río Magdalena como detonante y eje rector del proyecto.

A pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno por ejecutar la propuesta, ésta se vio rechazada debido a las protestas por parte de los vecinos que argumentaron que en el proyecto inicial que les presentaron en el año 2009, no se contemplaba la construcción de una planta de tratamiento, ni ciclopista y que tampoco se les mencionó que se pretendía recorrer la barda que actualmente cerca los viveros, para crear así, un parque lineal integrado, cuyos efectos serían la atracción de automóviles, bicicletas y ambulantes para convertirse en un polo turístico que generaría una problemática con el transporte público en torno al Metro Viveros.⁶

El cuarto caso de estudio es el Parque Hídrico *La Quebradora*, situado en la demarcación Iztapalapa en un predio que anteriormente se encontraba abandonado de una extensión territorial de cuatro hectáreas, localizado en el cruce de la Calzada Ermita Iztapalapa y Av. de las Minas. (**Fig. 1.17**)

La propuesta está siendo coordinada por el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM, con la intervención de múltiples especialistas de disciplinas como arquitectura, paisaje, urbanismo, biología, sociología, ingenierías, entre otros.

Con una inversión de 250 millones de pesos, traerá un beneficio directo a 28 mil personas, al aumentar las áreas verdes por habitante de 0.25 m² a 1.38 m² en la demarcación, además de triplicar el arbolado actual con vegetación endémica.

El parque fue diseñado con la intención de recibir el agua pluvial del área de la sierra de Santa Catarina que normalmente se conduce hacia la Calzada Ermita Iztapalapa y zonas aledañas, ocasionando inundaciones en el periodo de lluvias; logrando con la creación del proyecto, canalizar dichas aguas



Figura 1.15 Paseo del río. Parque Lineal- Chimalistac Viveros, Coyoacán, Ciudad de México, México (Proyecto). Fuente: Disponible en: <<http://www.tallertoa.com>> Acceso en julio, 2015.

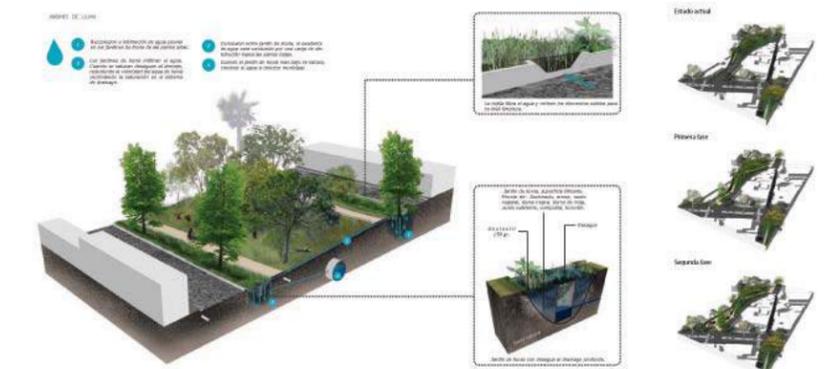


Figura 1.16 Paseo del río. Parque Lineal- Chimalistac Viveros, Coyoacán, Ciudad de México, México (Proyecto). Uso de jardines de lluvia. Fuente: Disponible en: <<http://www.tallertoa.com>> Acceso en julio, 2015.

hacia un parque hídrico que logre retener e infiltrar la escorrentía pluvial al subsuelo.

El parque se desarrollará como un espacio público, recreativo, de convivencia y paisaje, donde al mismo tiempo, ayudará a resolver algunos de los problemas de agua en la zona, la cual se caracteriza por la carencia de este recurso y, paradójicamente, por inundaciones en época de lluvias.

El parque hídrico contará con un centro cultural, teatro al aire libre, museo del agua, librería con cafetería, juegos infantiles, áreas para adultos mayores, aulas públicas e instalaciones deportivas.⁷

Así mismo, mejorará la circulación en la parte sur de la sierra de Santa Catarina hacia la avenida y generará una serie de espacios para fomentar la cultura del agua, indispensable en la Ciudad de México.⁸

Pretende también, formalizar el comercio instalado en el espacio público y mejorar la comunicación entre las diferentes zonas de la sierra de Santa Catarina, promoviendo con ello, la creación de sitios más seguros.

De cumplirse en tiempo y forma la propuesta, el Parque Hídrico *La Quebradora* podría inaugurarse a mediados del 2018. (**Fig. 1.18**)

Si bien en los casos de estudio expuestos a nivel nacional, no se proponen jardines de lluvia construidos o estudiados como tal, sí se exponen sistemas de biorretención y bioinfiltración, que aún en calidad de esbozo, pretenden marcar las pautas de una nueva infraestructura que considera al entorno natural como eje rector para el mejoramiento de la calidad de vida en los ecosistemas urbanos, y a la aplicación de sistemas de biorretención, como estrategias que contemplan al paisaje como infraestructura con potencial para mitigar los efectos de la urbanización sobre el medio ambiente.



Figura 1.17 Parque Hídrico *La Quebradora*. Perspectiva General. Fuente: Disponible en: <<http://www.tallercapital.mx>> Acceso en marzo, 2017.



Figura 1.18 Parque Hídrico *La Quebradora*. Fuente: Disponible en: <<https://revistacitymanager.com>> Acceso en marzo, 2017.

³ El término D.F. es empleado puesto que se trata de una publicación correspondiente al año 2011 cuando la expresión aún estaba vigente y las instancias gubernamentales conservaban su nombre, en lo correspondiente al resto de la tesis, el vocablo fue modificado a Ciudad de México conforme a lo establecido en la Reforma Política promulgada el 29 de enero de 2016.

⁴ SUÁREZ, A. *et al.*, (2011), *Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: Ecología urbana del sur de la Ciudad de México*, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

⁵ Información disponible en: <www.tallertoa.com> Acceso agosto, 2015.

⁶ Información disponible en: <<http://ciudadanosenred.com.mx/noticia/acotan-vecinos-plan-chimalistac>> Acceso agosto, 2015.

⁷ Información disponible en: <http://www.agua.unam.mx/viencuentro/assets/pdf/ponencias/castro_loreta.pdf> Acceso en marzo, 2017.

⁸ Información disponible en: <http://www.agua.unam.mx/noticias/2017/unam/not_unam_febrero13_2.html> Acceso en marzo, 2017.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Los efectos de la urbanización y el agua

El acelerado crecimiento poblacional, aunado a una inadecuada planeación de los centros urbanos, ha ocasionado el incremento desproporcionado de las ciudades que, junto a factores como la pobreza, la falta de una cultura del agua y la contaminación, han ocasionado un fenómeno conocido como *estrés hídrico*⁹ al no poder dar abasto a la creciente demanda del recurso agua.

La falta de un planeamiento urbano apropiado, asociado a la ausencia de una correcta gestión del agua, ha dado como resultado ciudades incapaces de lidiar con su problemática; las cuales, se han convertido en metrópolis en las que la inestabilidad, la falta de rentabilidad y de sustentabilidad, forman parte de su día a día.

La urbanización ha ocasionado también, que suelo que antes en su estado natural, se encontraba libre y permeable, ahora sea propenso a la erosión debido a la compactación, la cual ocasiona interferencias en el ciclo hidrológico y agrava problemas ya existentes.

El que exista inequidad en la repartición del vital líquido, ha originado y originará constantes luchas con resultados cada vez más fatídicos por un problema que sí bien tiene un gran trasfondo y que no puede ser resultado desde una sola perspectiva, sí puede ser abordado desde nuevos panoramas. (**Fig. 1.19**)

La escasez de agua en un futuro cercano, junto con la creciente urbanización y el incremento demográfico, son caminos que inevitablemente serán la ruta a seguir en las próximas décadas en una proyección global, sin embargo, debe ser compromiso del gobierno, aunado a la iniciativa y participación de la población, el proponer alternativas que aporten soluciones creativas para mitigar la carencia del recurso, es importante hacer frente al dilema con abordajes diversos que involucren a la población como agentes de cambio y mediante propuestas sencillas y de aplicación mundial, incluyendo técnicas y estrategias que puedan ser replicadas en escalas locales, pero que utilizadas masiva y globalmente, puedan generar un futuro alternativo.

Se estima que en el año 2014 el 54% de la población mundial vivía en zonas urbanas y se prevé que para el año 2050 llegue a 66%¹⁰, lo cual, además de suponer innumerables desafíos en materia de alimentación, vivienda, infraestructura, transporte, educación, contaminación y otros; supondrá también una demanda creciente de agua en las ciudades para realizar las actividades humanas diarias.



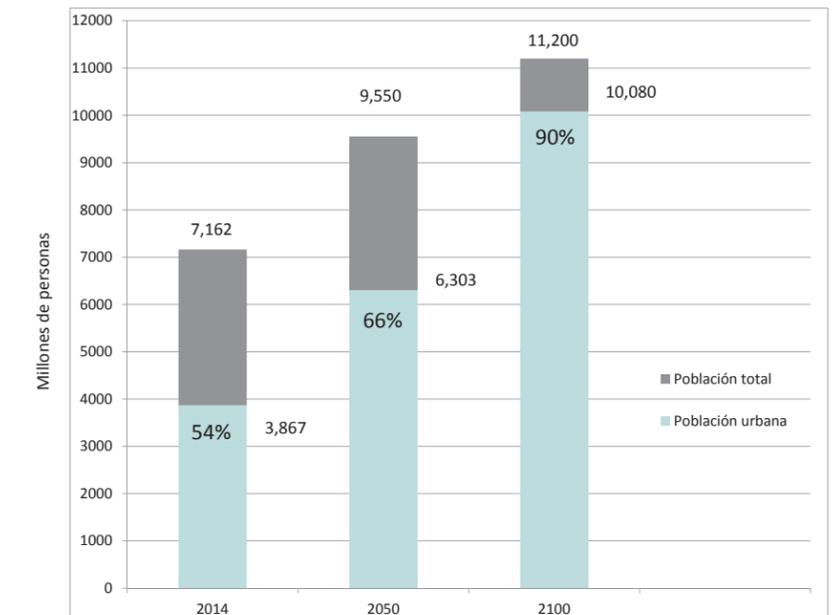
Figura 1.19 El acceso al agua potable es un derecho humano básico, sin embargo, se estima que existen casi 1,900 millones de personas con limitado o nulo acceso al recurso vital. Fuente: Disponible en: <http://viviendo en la tierra.com> Acceso en julio, 2015.

Existen numerosos cálculos y tendencias que estiman el futuro de la humanidad en las siguientes décadas, por ejemplo, en el año 2014 había 7,162 millones de personas en el mundo, se calcula que para el año 2050 esta cifra pase a 9,550 millones y para el año 2100 a 11,200 millones¹¹, los cuales en el año 2050, representarán 6,303 millones de personas viviendo en las principales urbes. (**Gráfica 1.1**)

En materia de la falta de agua, se estimaba que en el año 2000, 1,100 millones de personas en el mundo no contaban con acceso a fuentes de agua limpia¹², así como también se considera que para el 2025 cerca de 2,000 millones de personas vivirán en países o en regiones donde la escasez de agua será absoluta y los recursos hídricos por persona estarán por debajo de los 500 metros cúbicos anuales recomendados para llevar una vida sana e higiénica.

La perspectiva anterior nos lleva a reflexionar si ¿Son estas las condiciones en las que queremos vivir en un futuro cercano?: el crecimiento de las metrópolis es un camino irrevocable que seguiremos en las próximas décadas, pero el modo de afrontar el futuro es una variable que se encuentra en nuestras manos, así como el saber aprovechar los recursos que se encuentran disponibles.

Es así como la captación y aprovechamiento del agua pluvial dentro de las urbes, ha surgido como propuesta para aminorar la demanda del líquido vital en las ciudades; la captación pluvial representa una valiosa estrategia para la utilización de un recurso que cae gratuitamente del cielo y cuyo uso ha estado presente desde tiempos inmemoriales en la vida del hombre.



Gráfica 1.1 Crecimiento de la población mundial y del número de personas que habitan en urbes. Fuente: Estimaciones ONU, 2015.

⁹ Estrés hídrico es un concepto que describe en qué medida está expuesta la población al riesgo de falta de agua. Es cuando la demanda de agua es más mayor que la cantidad disponible durante un periodo de tiempo determinado.

¹⁰ Centro de noticias ONU, (2014).

¹¹ Centro de noticias ONU, (2015).

¹² Blue Drop Series on Rainwater Harvesting and Utilisation – Book 1: Policy makers. 2005. pág. 2. UNHABITAT - United Nations Human Settlements Programme.

1.4.2 Importancia de la captación pluvial

El agua de lluvia es un recurso global, pues cada año en todo el planeta, se precipitan en mayor o menor proporción millones de litros de agua de lluvia; que debido a la falta de una cultura de captación pluvial, se desperdician sin aprovechamiento.

El agua de lluvia es un recurso gratuito que dependiendo de la latitud, la altitud, la estación y la clasificación climática del área geográfica, se va a manifestar desde pocas semanas anuales, hasta prácticamente a lo largo de todo el año. (Fig. 1.20)

El agua pluvial es considerada agua limpia, si bien debido a la interferencia del ciclo hidrológico con los procesos humanos, puede contener en alguna proporción metales pesados u otros contaminantes debido al arrastre, en general, es un agua con calidad para ser aprovechada, pero que una vez mezclada con agua procedente del drenaje o con agua residual, se provoca su contaminación y pérdida.

La vulnerabilidad hidráulica en los asentamientos humanos es una realidad presente y creciente: cada vez será mayor el volumen de agua potable demandando para realizar nuestras actividades cotidianas, es por eso que se deben considerar fuentes alternativas de abastecimiento que nos ayuden a mitigar el requerimiento del vital líquido.

La captación del agua de lluvia ha sido vista como una estrategia con potencial para proveernos de agua limpia desde hace pocas décadas, cuando la sociedad moderna, empezó a tomar consciencia del medio que la rodea y a percibir los efectos del cambio climático.

Sin embargo, la situación no siempre fue así, las antiguas culturas romana y griega tenían un profundo respeto por el agua de lluvia, de la cual se proveían a través de construcciones especialmente diseñadas para su captación y aprovechamiento. (Fig. 1.21)

La cultura árabe se ha dedicado a construir por siglos *aljibes* o depósitos subterráneos para recoger y almacenar agua pluvial y después poder aprovecharla en usos cotidianos.

Considerando a las culturas americanas, posiblemente dos de las que poseen mayor trayectoria en la captación de agua de lluvia, sean la mexicana y la maya: de la primera se sabe que llegaron a construir *cajas de agua*¹³ que captaban los escurrimientos superficiales y permitían el posterior aprovechamiento del agua; mientras que con la cultura maya la construcción de *chultunes*¹⁴ se extendió como práctica para la captación y almacenamiento del agua de lluvia.



Figura 1.20 La lluvia como recurso universal. Es un recurso gratuito presente en la mayor parte del globo. Fuente: Disponible en: <<http://www.bbc.com>> Acceso en julio, 2015.



Figura 1.21 Impluvium. Construcción presente en la cultura romana que captaba y aprovechaba el agua de lluvia. Fuente: Disponible en: <<http://architectsandartisans.com>> Acceso en julio, 2015.

Es así como queda asentado que el aprovechamiento del agua de lluvia ha existido siempre, pero del que escasamente se ha sacado el provecho suficiente para abastecernos del recurso agua para realizar nuestras actividades.

El cambio climático que estamos viviendo provoca por un lado, lluvias más intensas y frecuentes, en contraste con periodos alargados de sequía; la situación anterior debe ser considerada por los agentes encargados de planificar las ciudades presentes y futuras, para proponer soluciones que contemplen los grandes volúmenes de agua de lluvia precipitados, para saber dirigirlos y aprovecharlos.

El aprovechamiento del agua de lluvia no detendrá la escasez de agua, pero sí nos ofrecerá una fuente alternativa del recurso vital para hacer frente al problema; debemos aprender a explotar el potencial que nos ofrece el agua de lluvia a través del empleo de estrategias que eviten se contamine y que nos permitan aprovecharla. (**Fig. 1.22**)

Al captar el agua de lluvia podremos conducirla, diseñando su camino y evitando que cause estragos, aprendiendo a utilizarla a nuestro favor y para nuestro beneficio y ofreciendo soluciones que ayuden a la transformación del medio que habitamos.

Captar el agua de lluvia en las ciudades nos proporcionará una fuente asequible de agua para enfrentar la crisis hídrica mundial, que si bien no resolverá por completo la problemática, sí ayudará a mitigar la necesidad de abasto, aprovechando un recurso que al igual que la problemática, es universal.



Figura 1.22 Captación pluvial. Ofrece una alternativa para la obtención del recurso vital, haciendo frente a la escasez del agua. Fuente: Disponible en: <<http://www.esfacilserverde.com>> Acceso en julio, 2015.

¹³ *Caja de agua* también conocida como jagüey, olla de agua, aljibe, trampa de agua o bordo de agua, es una depresión en el terreno que permite almacenar agua proveniente de escurrimientos superficiales. Generalmente el agua captada es aprovechada para actividades humanas o para abrevar ganado. Información disponible en: <<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf>> Acceso en agosto, 2015.

¹⁴ *Chultún* o *Chulub Tun*, es un aljibe abierto que solía utilizarse para recoger agua de lluvia o almacenar maíz en la península de Yucatán durante la civilización maya. La construcción consiste en una cámara subterránea con una sección en forma de botella, siendo el cuello de ésta el acceso a la cámara. Información disponible en: <<http://tectonicablog.com/?p=57303>> Acceso en agosto, 2015.

1.4.3 Contexto: la cuenca de México

Para entender la problemática actual de la cuenca de México, es importante conocer el medio físico-ambiental en el que se encuentra asentada, pues posee características propias que hacen de la cuenca, única a nivel mundial.

La cuenca de México es considerada una cuenca hidrográfica, definida como un “territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal; o bien, como el territorio donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otros aún sin que desembocuen en el mar”¹⁵, es decir, la cuenca de México naturalmente no tiene salidas hacia el mar, por lo que también puede ser llamada cuenca endorreica.

La cuenca de México tiene un área total de 9,600 km², de los cuales, 5,136 km² (53.5%) son terrenos planos¹⁶, es decir, se trata de un sistema en donde los escurrimientos provenientes de las partes altas, desembocan por gravedad a las zonas de menor altura, concentrando el agua en la parte central sin permitir su salida, acumulando el agua en un área donde antaño se formó una región lacustre. (**Fig. 1.23**)

Fue sobre esta cuenca que el antiguo imperio mexica estableció su capital, la cual, tras la conquista de los españoles y después de una extraordinaria historia, daría origen a la megalópolis que hoy habitamos.

La Ciudad de México y la cuenca de México están asentadas sobre el valle de México, el cual forma parte del denominado Eje Neovolcánico Transversal o Faja Volcánica Transmexicana, que se extiende en dirección este-oeste atravesando la República Mexicana.

Esta zona se considera una provincia fisiográfica independiente al resto de la república, al tratarse de un área con prevalencia de fosas tectónicas y vulcanismo reciente.

La cuenca está limitada por elevaciones topográficas de origen volcánico: la sierra de Guadalupe al norte, la sierra de las Cruces al poniente, La sierra Chichinautzin al sur, el volcán del Ajusco al suroeste y la sierra Nevada al oriente, además de algunos aparatos volcánicos aislados en su interior.

En base a las características topográficas existentes dentro de la región, ocasionadas principalmente por diferencias en el relieve y altitud, se han identificado siete grupos de climas, pero teniendo al clima templado como dominante en sus variantes, templado subhúmedo Cb (Wo) (W) y templado subhúmedo Cb (W₂) (W) (KÖPPEN modificado por GARCÍA, 1998) como predominantes ocupando más del 45% de la superficie total de la región XIII.

Debido a la existencia de dos climas predominantes, existen también diferentes temperaturas y precipitaciones registradas, considerando en promedio una temperatura media anual que varía entre los 10° y 14°C y una precipitación media anual de 768.5 mm.¹⁷

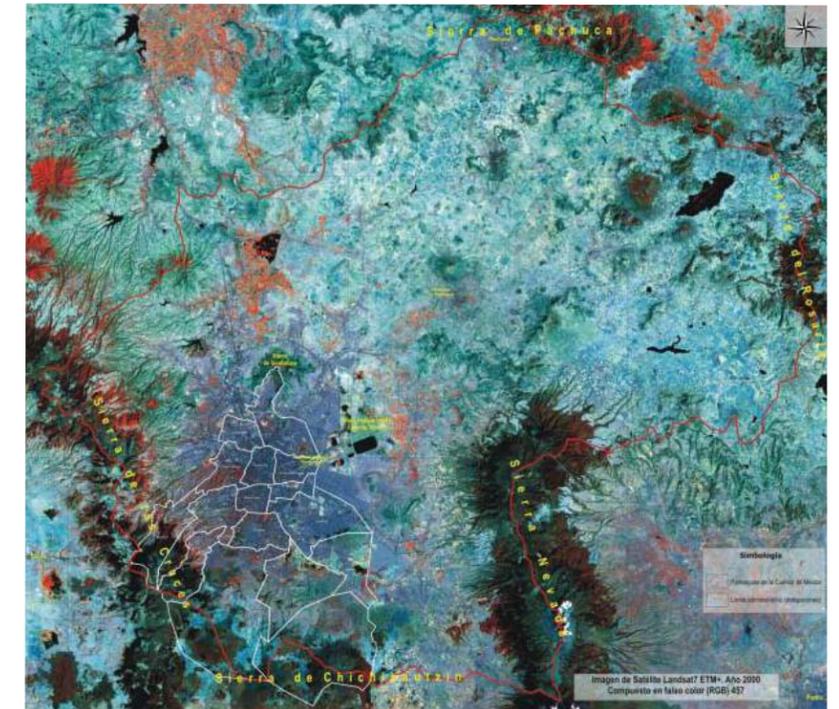


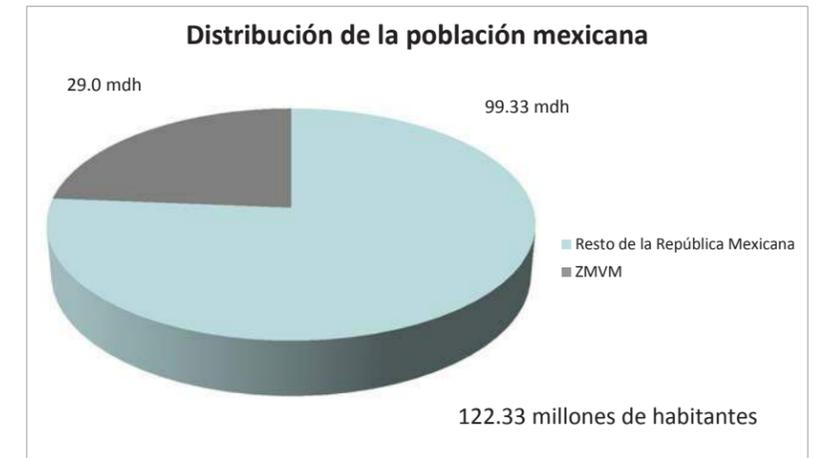
Figura 1.23 Cuenca de México. Imagen satelital del año 2000, compuesta en falso color RGB. En esta imagen se aprecia la mancha urbana (tonalidades azules y grises), las zonas con vegetación (tonalidades rojas y naranjas) y los cuerpos de agua (tonalidad negra). Así mismo, ofrece una visión general de la zona y permite identificar elementos geológicos y antropogénicos. Se observa cómo la extensión urbanizada está rebasando la capacidad natural de la cuenca para albergarla. Fuente: Disponible en: <<http://www.proteccioncivil.cdmx.gob.mx>> Acceso en julio, 2015.

La Gran Planicie Central tiene una altitud que oscila ente 2,240 m en el sur y 2,390 m en el norte.

Puesto que la cuenca de México está asentada sobre una región donde antes existió un complejo sistema lacustre, el agua proveniente de escurrimientos ha logrado infiltrarse debido a la porosidad del terreno, formando el acuífero conocido como *Acuífero 901-Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, el cual pertenece a la región hidrológica n° 26 Alto Pánuco y está clasificado como un acuífero semiconfinado.

La cuenca de México mide aproximadamente 110 km en su eje menor, y en ese espacio, alberga la metrópoli conocida como Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual abarca las 16 demarcaciones territoriales¹⁸ de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y 1 municipio del estado de Hidalgo,¹⁹ dicha zona ocupa menos del 1% del total de la extensión territorial del país, albergando por consiguiente una alta concentración demográfica.

La ZMVM tiene una extensión territorial de 7,854 km²²⁰ y hasta el 2010 tenía una población de 29 millones de habitantes²¹, es decir, si para el mismo año residían en la República Mexicana 122,336,538 habitantes²², entonces, aproximadamente 1 de cada 4 mexicanos habitaba en la ZMVM; (**Gráfica 1.2**) ahora, para el año 2015, con una población mexicana total de 119,530,753 habitantes²³ y una cifra estimada superior a la proporción anterior viviendo en la ZMVM, habla de una transformación paulatina aunque marcada, de las características sociales y ambientales de una cuenca que alberga a una metrópoli que ha rebasado su capacidad de adaptación y equilibrio.



Gráfica 1.2 Distribución de la población mexicana en el año 2010. Casi un cuarto del total habitaba en la ZMVM. Fuente: INEGI, 2010.

¹⁵ Ley de Aguas Nacionales, (2015).

¹⁶ LEGORRETA, J., (2006), *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*. México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

¹⁷ Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 años, (2012).

¹⁸ En acuerdo a la Reforma Política promulgada el 29 de enero de 2016 el término antes conocido como delegación fue sustituido por demarcación territorial.

¹⁹ SEDESOL, (2007).

²⁰ SEDESOL, (2007).

²¹ INEGI, (2010).

²² INEGI, (2010).

²³ INEGI, (2015).

1.4.4 La transformación de la cuenca de México

Para entender la transformación de la cuenca de México, se debe interpretar su pasado, es trascendental comprender como fue que “la región más transparente”, se convirtió en la pantalla ceniza que hoy conocemos, es entender también, cómo fue que la vegetación fue sustituida por asfalto, las canoas por automóviles y los lagos por drenajes.

Es casi inverosímil imaginar que la ciudad que hoy habitamos, aquella asentada sobre una cuenca de privilegiadas características, haya sido hasta hace poco menos de 500 años la gran Tenochtitlán que Hernán Cortés describió con asombro.

Entender la metamorfosis de la cuenca de México desde tiempos precolombinos hasta nuestros días, permite interpretar su proceso evolutivo y comprender cada una de sus etapas de cambio hasta la conversión de la cuenca que hoy conocemos y habitamos.

1.4.4.1 Época prehispánica

La ubicación geográfica privilegiada de la cuenca de México y la abundancia de los recursos hídricos hicieron de ésta el lugar propicio para permitir el asentamiento de diversos pueblos a orillas del área lacustre: Chalco, Xochimilco, Iztapalapa, Chimalhuacán, Texcoco, Zumpango, Cuautitlán, Azcapotzalco, Tacuba y Coyoacán, y sobre el agua, en medio de un islote, México-Tenochtitlán.

Además de la riqueza lacustre de la cuenca proveniente de los ríos y lagunas, la región presenta precipitaciones medias anuales que van de los 600 mm en la región seca, a 1200 mm en zonas húmedas como el Ajusco.²⁴

Toda esta agua proveniente de escurrimientos que se concentran en la parte baja de la cuenca, formaron lo que alguna vez fue el sistema de los cinco lagos: Chalco, Xochimilco, Texcoco, San Cristóbal-Xaltocán y Zumpango. (**Fig. 1.24**)

A la llegada de los españoles en el año 1519 a la región central del altiplano mexicano, se encontraron con una ciudad construida sobre el agua, que debido a la naturaleza lacustre del sitio y a un profundo conocimiento y dominio de la tecnología hidráulica, podía sustentarse sin problemas y albergar a una de las sociedades más estructuradas jamás conocidas.

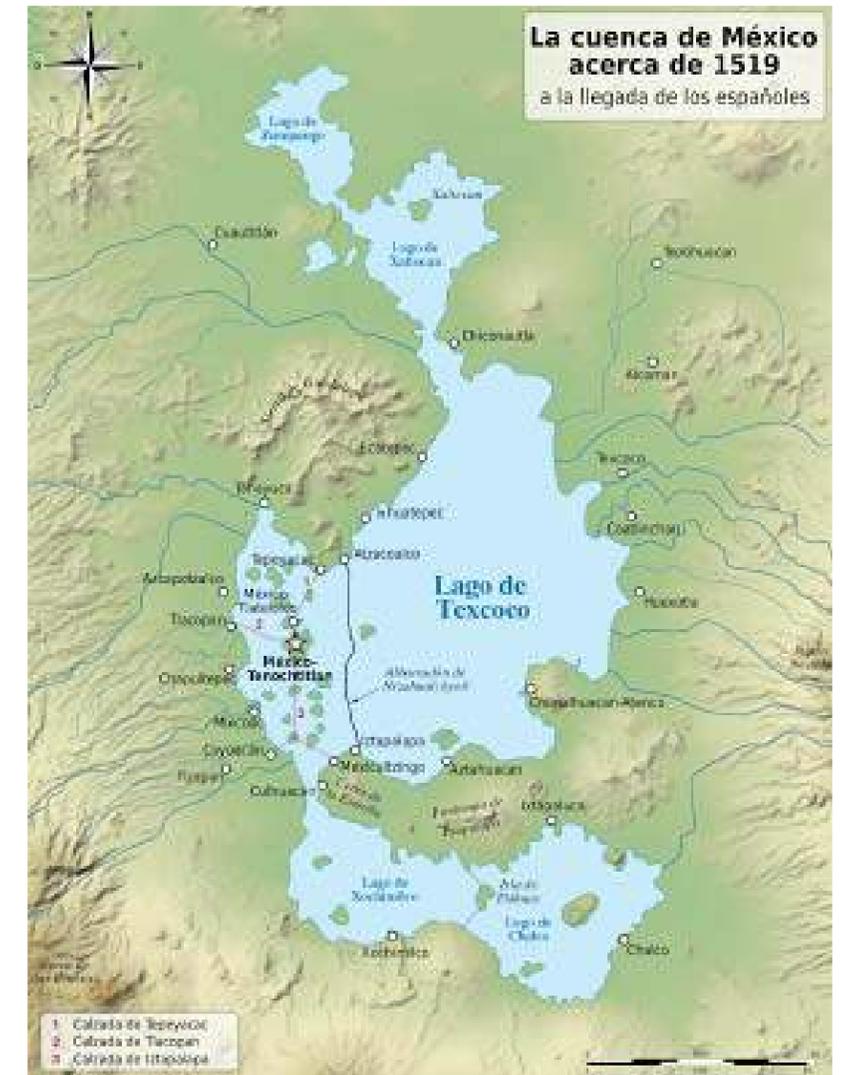


Figura 1.24 Antiguo sistema lacustre. Formado por los cinco lagos: (de norte a sur) Zumpango, San Cristóbal-Xaltocán, Texcoco, Xochimilco y Chalco. Fuente: Disponible en: <<http://barriodetultenco.blogspot.mx>> Acceso en julio, 2015.

Tenochtitlán fue fundada sobre el agua mediante un sistema conocido como chinampas (del náhuatl *chinamitl*, “seto o cerca de cañas” y *pan* que significa “sobre o encima”), las cuales son superficies generalmente rectangulares construidas con capas de tierra compactadas provenientes del fondo de los lagos, que junto con juncos, varas y ramas, forman balsas para posteriormente ser fijadas con ahuejotes (*Salix bonplandiana*) al fondo del lago, el cual debe ser de poca profundidad; este sistema permite el cultivo intensivo de hortalizas y flores. (Fig. 1.25)

Para algunos investigadores, las chinampas existieron a orillas de los lagos desde el siglo IX en poblados como Xaltocán, Texcoco, Mexicaltzingo, Zumpango y Azcapotzalco (GARCÍA, 1993); para otros, su apogeo se dio entre el siglo XIV al XVI, principalmente en la región de Chalco y Xochimilco (ROJAS, 1995).

Al asentar el imperio mexica su capital sobre un lago, desarrollaron una relación de profundo respeto con la naturaleza que los rodeó, sabiendo aprovecharla y subsistir de ella, como ejemplo de esto, se encuentra la eficiente red de canales diseñada sobre el antiguo lago que utilizaron como medio de comunicación y transporte.

Otro de los ejemplos notables del desarrollado conocimiento hidráulico, fue el albaradón de dieciséis kilómetros de longitud construido por Nezahualcóyotl para separar el agua salobre de la dulce: al estar establecida Tenochtitlán sobre un sistema de lagos con diferentes alturas, concentraba en el lago de Texcoco, sales y minerales provenientes de los escurrimientos de laderas contiguas, por ser el más bajo del sistema. (Fig. 1.26)

Ante este panorama de prolifera y organizada ciudad-lago, Tenochtitlán fue descubierta por los españoles a su llegada a tierra mexicana, ciudad que además de provocar el asombro de los mismos, despertó la ambición de los recién llegados.

Tras una librada batalla por agua y tierra, el imperio mexica sería derrocado en agosto de 1521 con la rendición de Cuauhtémoc al ver sitiada y moribunda su ciudad, se abrió el camino no sólo para el sometimiento de una cultura lacustre, sino también, para implantar en la memoria colectiva de las generaciones venideras, que el agua era enemiga y debía ser suprimida para asegurar la dominación.

Fue así, como dio inicio a una era cuyas directrices quedarían marcadas en la piel de la ciudad, fue entonces cuando se perdió el respeto por el agua y el conocimiento para saber dominarla y aprovecharla como hábitat, como medio de subsistencia, de transporte, de cultivo, de recreación y de protección.

Así pues, comenzó la represión de todo vestigio lacustre, los canales fueron convertidos en drenajes y los lagos en ciudades, la destrucción de las grandes obras hidráulicas prehispánicas dio origen a la serie de desventuras que azotarían siglo con siglo a la ciudad lacustre, cuya memoria hídrica, a pesar de los esfuerzos de los conquistadores para erradicarla, renace siempre a las primeras gotas anuales.



Figura 1.25 Chinampa en Xochimilco. Esta técnica constructiva permite el cultivo intensivo de hortalizas haciendo un aprovechamiento racional del agua y del espacio. Fuente: Disponible en: <<http://blogs.fad.unam.mx>> Acceso en julio, 2015.

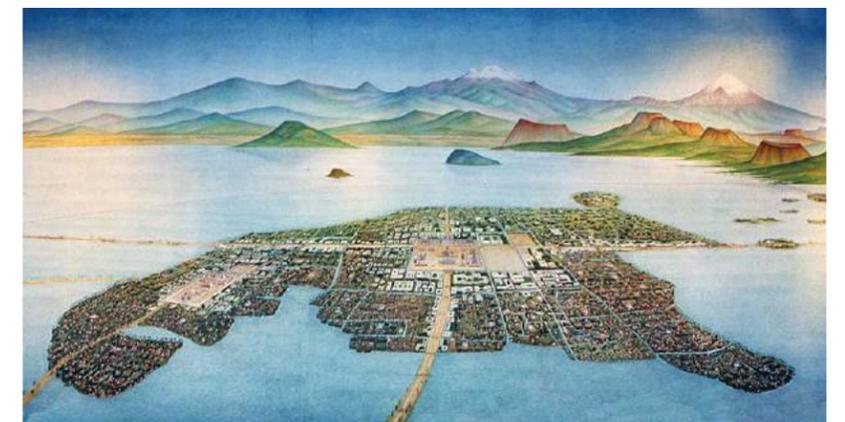


Figura 1.26 Tenochtitlán en 1519. Luis Covarrubias. Museo de la Ciudad de México. Recreación pictográfica por parte del artista que muestra las principales calzadas que conectaban la ciudad con otras poblaciones. Al fondo (en la parte superior de la imagen) se aprecia el albaradón de Nezahualcóyotl que dividía las aguas saladas de las dulces. Fuente: Disponible en: <<http://www.mexicomaxico.org>> Acceso en julio, 2015.

²⁴ INEGI, (2010).

1.4.4.2 Siglos XVI al XVIII

Una vez instaurada la monarquía y a través de los virreyes quienes rendían cuentas a la Corona Española desde la Nueva España, se mandaron hacer múltiples proyectos cuya finalidad era urbanizar a toda costa la recién formada colonia; en medida paralela que crecía la traza urbana de la ciudad, los colonizadores hicieron llamar a geógrafos, ingenieros y científicos, que llegaron de diversos rincones del mundo para atender la problemática hídrica que con el paso de las décadas se iba percibiendo en la ciudad.

Tras una seria inundación en 1555 y otras que ocurrirían de 1604 a 1607, el cabildo propuso resolver de forma definitiva los primeros peligros que las inundaciones significarían para la ciudad: se contempló entonces un proyecto que proponía desviar el río Cuautitlán por medio de dos canales y un túnel que atravesaría las montañas de Huehuetoca para que tras conectarlo con el río Tepeji y después de 300 km, diera salida con el mar; la idea concebida originalmente por Francisco Gudiel pero realizada por Enrico Martínez en 1607 y denominada túnel de Huehuetoca, marcó la primera pauta para desalojar el agua y comenzar así la transformación lacustre. (*Fig. 1.27*)

Fue tras la severa inundación de 1630 a 1634 cuando el nivel de las aguas permaneció en la ciudad, atribuyendo la catástrofe al limitado cálculo del túnel de Enrico Martínez, cuando se decidió abrirlo y convertirlo en **tajo**, llamándolo tajo de Nochistongo; dicha obra tendría una duración de poco más de 150 años y sería de dimensiones colosales.

Para 1794, el arquitecto Ignacio Castera, continuando con el propósito de seguir reduciendo las áreas lacustres y a disposición del regente, construye el llamado canal de Guadalupe, hoy canal de Castera en su honor, para recoger las aguas del lago de San Cristóbal-Xaltocán y conectarlas con el tajo de Nochistongo.

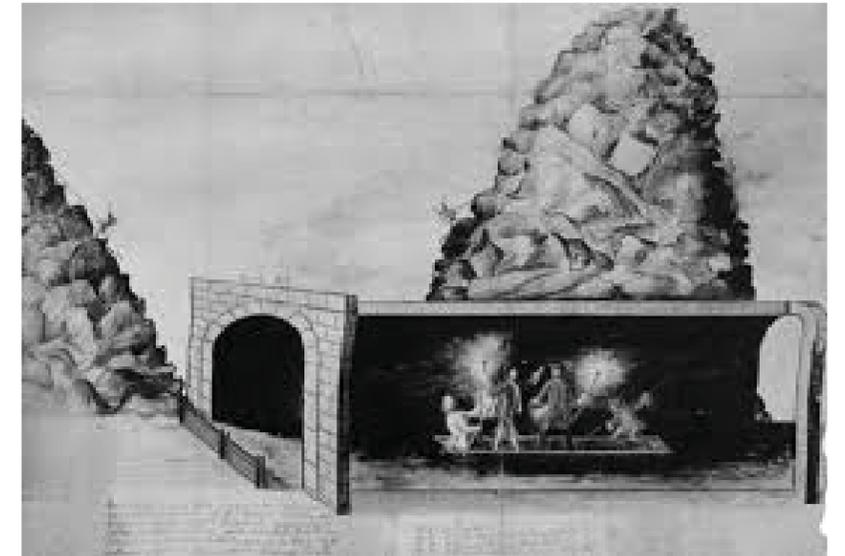


Figura 1.27 El túnel de Huehuetoca hacia 1760. Por esa época se concluía su apertura para convertirlo en tajo abierto hasta el poblado de Nochistongo. Archivo General de la Nación. Fuente: Disponible en: <http://www.boletin-cnmh.inah.gob.mx> Acceso en julio, 2015.

1.4.4.3 Siglo XIX

Durante el efímero gobierno de emperador austriaco Maximiliano de Habsburgo, el gobernante no dejó pasar oportunidad de realizar su aportación al sueño español de desaguar el valle de México, fue así como en 1865, autoriza el inicio de las obras para construir un extenso canal de casi 50 kilómetros desde San Lázaro hasta Zumpango, para en su paso recoger las aguas de los lagos Texcoco, San Cristóbal-Xaltocán y Zumpango, logrando lo anterior a través de una segunda perforación de las montañas de la cuenca (en Zumpango) para construir un túnel de 11 kilómetros de largo y 4 metros de diámetro, que desembocara el afluente de agua hacia el río Tula.

El proyecto anterior fue concebido originalmente por Francisco de Garay, con ajustes posteriores de Luis Espinosa, pero había sido presentado años antes por el comandante norteamericano M.L. Smith y el topógrafo E.L. Hardcastle como aparece en un plano de 1848 donde se aprecia la propuesta de desaguar los lagos mediante un canal y un túnel hacia Tequixquiac.²⁵

Siguiendo la praxis higienista de configurar obras hidráulicas para conducir con rapidez los escurrimientos evitando que se acumulen en la ciudad, y ocultando las aguas superficiales, se inauguró en 1900 el Gran Canal de Desagüe, (**Fig. 1.28**) obra de dimensiones colosales y enorme presupuesto, inaugurada por el presidente Porfirio Díaz y denominada en su época, la obra que salvaría para siempre de inundaciones a la ciudad. Cuatro meses después, en julio del mismo año, la ciudad sufriría otra inundación, desmintiendo la aseveración y poniendo nuevamente sobre la mesa la inquietud de si el problema fue únicamente trasferido hacia otra dirección.

Si bien la obra no resolvió la problemática en su totalidad, sí consiguió que en tan solo 4 años se desalojaran más de un millón de metros cúbicos de agua²⁶, además de desecar grandes extensiones de tierra donde antes era lago; así, la ciudad inició un rápido crecimiento, extendiendo los límites de su urbanización.



Figura 1.28 Gran Canal de Desagüe. Inaugurado en 1900 por el presidente Porfirio Díaz. Fuente: Disponible en: <<http://postalesdelarevolucionmexicana.blogspot.mx>> Acceso en julio, 2015.

²⁵ LEGORRETA, (2006).

²⁶ LEGORRETA, (2006).

1.4.4.4 Siglo XX

Una vez consolidado el periodo revolucionario, la ciudad sufrió una vertiginosa etapa de crecimiento: la desaparición de los tranvías dio origen al uso masivo de automóviles y las calles antes de tierra, se convirtieron en las primeras avenidas pavimentadas; lo anterior trajo como consecuencia que la población y los límites de la ciudad comenzaran a crecer con rapidez; este crecimiento inició un ciclo que no tendría fin, pues mientras más crecía la población, más se necesitaban de mayores espacios para albergarla, resultando en la pavimentación de miles de metros de áreas verdes, que evitarían la infiltración natural del agua de lluvia al subsuelo; los ríos fueron entubados y convertidos en viaductos y la nueva población demandó de nuevas y más extensas líneas de infraestructura de agua potable, generando en subsecuente, una mayor salida de agua servida, saturando los drenajes y obligando a perforar la cuenca por tercera vez.

Entre 1937 y 1946 se abrió un túnel casi paralelo al de Tequixquiac, denominado Nuevo Túnel, que debido a problemas técnicos entraría en operación hasta 1955.

Así, con la serie de sucesos que trajo el crecimiento poblacional, ligados estrechamente a la extracción de agua de los acuíferos, la ciudad comenzó a hundirse, provocando visibles asentamientos en el centro de la ciudad, pero presentes en toda su extensión, mismos que afectarían e invertirían la pendiente del Gran Canal, obligando a construir décadas después, el sistema de desalojo de agua llamado Drenaje Profundo.

Una vez más, persiguiendo el firme propósito de vaciar el agua de la cuenca de México y en base a severas inundaciones que sufrió la ciudad a mediados del siglo XX, se idealizó desde 1958 un proyecto que proponía en definitiva ser la solución a los problemas de inundaciones que afectaban, y afectan, año con año a la ciudad, la obra denominada Drenaje Profundo, (**Fig. 1.29**) es considerada hasta la fecha uno de los sistemas de drenaje urbano más extensos del mundo.

La primera etapa del Drenaje Profundo fue construida de 1966 a 1975, en esta etapa se construyeron dos túneles denominados *Interceptores*, el de *Oriente* con 10 kilómetros de longitud y el *Central* de 8 kilómetros, ambos de 5 metros de diámetro y a una profundidad variable de entre 30 y 50 metros, estos túneles desembocan en un tercer túnel mayor que los anteriores, con un diámetro de 6 metros y 50 kilómetros de longitud, denominado *Emisor Central*, cuya profundidad máxima es de 240 metros. (**Fig. 1.30**)



Figura 1.29 Drenaje Profundo. A pesar de las dimensiones colosales de este proyecto de megainfraestructura, no ha logrado dar abasto a las necesidades reales de la Ciudad de México. Fuente: Disponible en: <<http://www.eluniversal.com.mx>> Acceso en julio, 2015.

1.4.4.5 Siglo XXI

En la actualidad, a más de 40 años de haber concluido la construcción de la primera etapa del Drenaje Profundo, el panorama parece ser el mismo: a pesar de estar en planes de construcción o ya construidos nuevos trechos, por problemas administrativos y por cambios en los gobiernos de la Ciudad de México, su construcción efectiva se ha visto suspendida o retrasada; además, su capacidad de desalojo ha sido reducida por un posible taponamiento ²⁷, así también, el túnel *Interceptor Oriente* ha presentado problemas de saturación y por consiguiente, se han presentado inundaciones en la zona, afectando viviendas en más de una ocasión y poniendo en evidencia que su capacidad no logra dar abasto a las necesidades reales de desalojo, pues en época de lluvias, se calcula que alrededor del 80% de las aguas canalizadas al drenaje son aguas pluviales contra un 20% de aguas negras, ambas, al mezclarse en un drenaje que no distingue unas de otras, ocasionan la saturación del mismo, comprobando una vez más, que ni el mejor sistema de drenaje puede suprimir la naturaleza lacustre de una ciudad y lo absurdo de una infraestructura unitaria.

Paralelo a la problemática anterior, se han desarrollado una serie de complicaciones derivadas de canalizar el agua proveniente de los tres sistemas de drenaje hacia el río Tula, pues además de conectar una saliente de agua a un río que anteriormente comenzaba varios kilómetros después, se están encauzando millones de litros contaminados con materia fecal a un río que alimenta una agricultura de riego de aguas negras, que irónicamente después, regresa a la Ciudad de México su producción para abastecer a la ciudad, cerrando un ciclo corrompido que pareciera no tener fin.

Es esta agricultura de agua negra una problemática de suma relevancia, si bien el darle un uso a las aguas negras de la ciudad (que son negras parcialmente por el alto contenido de aguas pluviales) es una idea que ya se contemplaba desde la época en que se construía el tajo de Nochistongo, no se llegó a desarrollar hasta 1975 con la construcción del Drenaje Profundo.

El aporte más significativo de agua para riego, proviene del *Emisor Central* del Drenaje Profundo, pues tanto en época de estiaje como en temporada de lluvias, abastece a la región conocida como valle del Mezquital, ubicada en el estado de Hidalgo, con agua para riego de hortalizas, forraje y maíz; formando a través de una compleja red hidráulica compuesta de presas, plantas de bombeo y canales para riego, 1,450 kilómetros lineales de infraestructura que convierte los desechos de la ciudad, en una agricultura que transforma su medio ambiente.

Aunado a los inconvenientes anteriores, el uso de agua negra para riego de alimentos, ocasiona serios problemas a la salud de las personas, pues su uso está prohibido desde 1992 para el riego de hortalizas, no obstante, sigue siendo una práctica clandestina común.

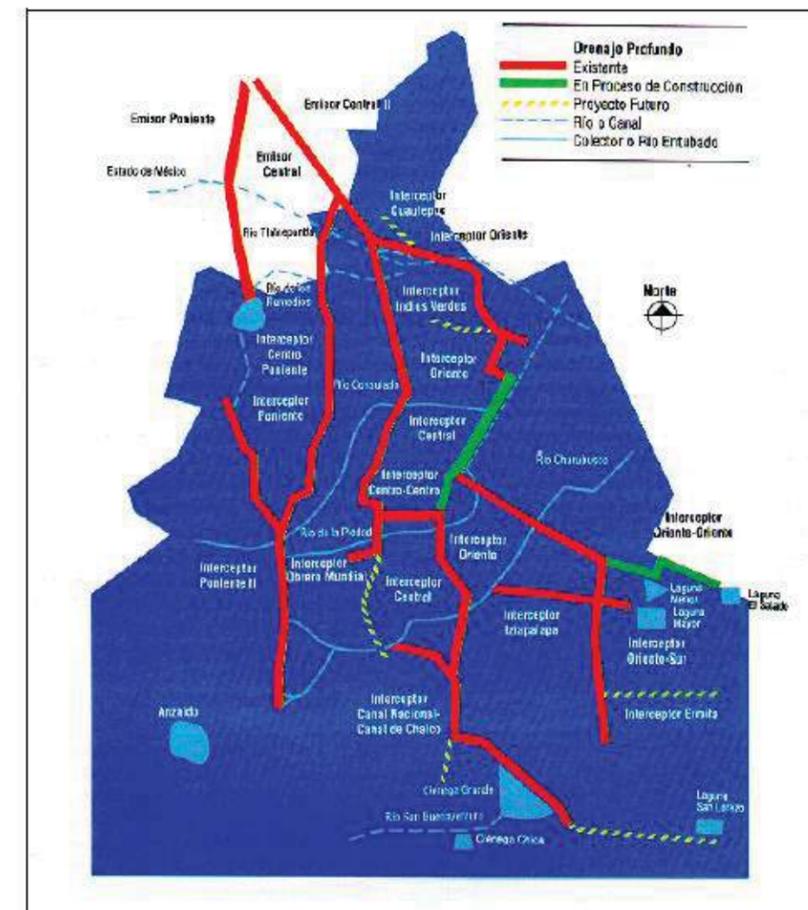


Figura 1.30 Esquema del Drenaje Profundo. Se muestra el emisor central y los interceptores. Fuente: Disponible en: <<http://www.uamenlinea.uam.mx>> Acceso en agosto, 2015.

²⁷ LEGORRETA, (2006).

1.4.5 Problemática actual de la cuenca de México

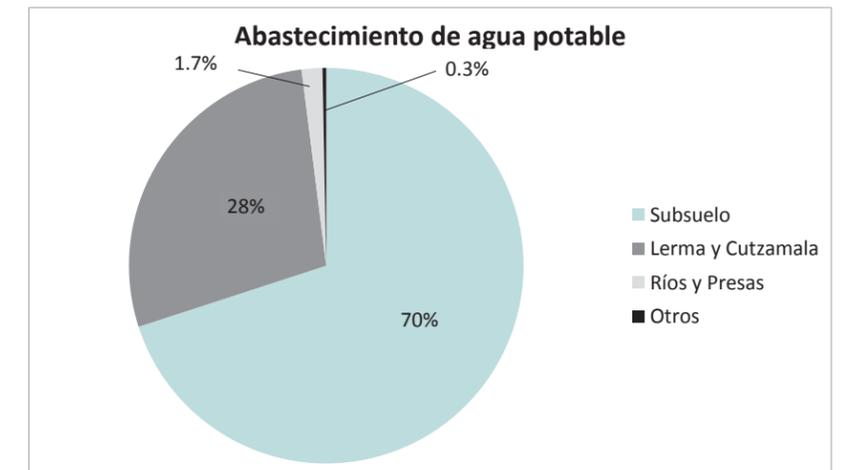
La cuenca de México presenta una problemática compleja e intrínsecamente relacionada; es reflejo de su pasado y de las acciones realizadas en él, es el resultado de siglos de suprimir una cultura del agua y de implantar a la fuerza complicados sistemas para desecar una cuenca por naturaleza lacustre. El acelerado crecimiento poblacional de la segunda mitad del siglo XX, provocó un incremento exponencial en la demanda de servicios públicos como agua potable y drenaje; el requerimiento de nuevo suelo para habitar originó que áreas donde antes fuera lago, se desecaran; áreas donde antes fue bosque se deforestaran, y que áreas antes verdes se pavimentaran, reduciendo la recarga natural de un acuífero ya comprometido; además, al extender los límites de la ciudad, se originaron cambios fundamentales en el uso de suelo, en la traza urbana y en el medio ambiente, que comprometieron la estabilidad de la cuenca.

La cuenca de México padece una vulnerabilidad hídrica y a la vez, una contradictoria abundancia del recurso, es evidente que entre más crece la ciudad más agua necesita, y por ende, es mayor el caudal de agua a desalojar, si se aúna a esto, el bajo reciclamiento de agua servida y la existencia de una infraestructura sanitaria que ya no logra dar abasto a las necesidades actuales, conjunto con la inexistencia de sistemas que separen aguas negras de pluviales, da como resultado la extravasación del sistema de drenaje, ocasionando severas inundaciones que año con año, en temporada de lluvias, repiten la misma historia.

La Ciudad de México consume uno de los caudales de agua más grandes del mundo: 72 m³/s, de los cuales 50.5 m³/s (70%) se extraen del subsuelo del valle de México por medio de 3000 pozos con profundidades de hasta 100 m distribuidos a lo largo de su extensión²⁸, 20.3 m³/s (28%) provienen de los pozos de la cuenca de Lerma y de las presas del Sistema Cutzamala; y 1.2 m³/s (1.7%) de los ríos superficiales y de las presas localizadas en el valle de México. (LEGORRETA *et al.*, 2006). (**Gráfica 1.3**)

Una vez que llega el agua a la ciudad, se utiliza en las siguientes proporciones de acuerdo con un estudio realizado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) y la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) en el año 2011:²⁹ (**Gráfica 1.4**)

- 44% Uso doméstico
- 10% Uso industrial y comercial
- 11% Servicios
- 35% Pérdidas (fugas, agua no contabilizada y clandestinaje)



Gráfica 1.3 Abastecimiento de agua potable en la ZMVM, año 2006.

Fuente: LEGORRETA *et al.*, 2006.

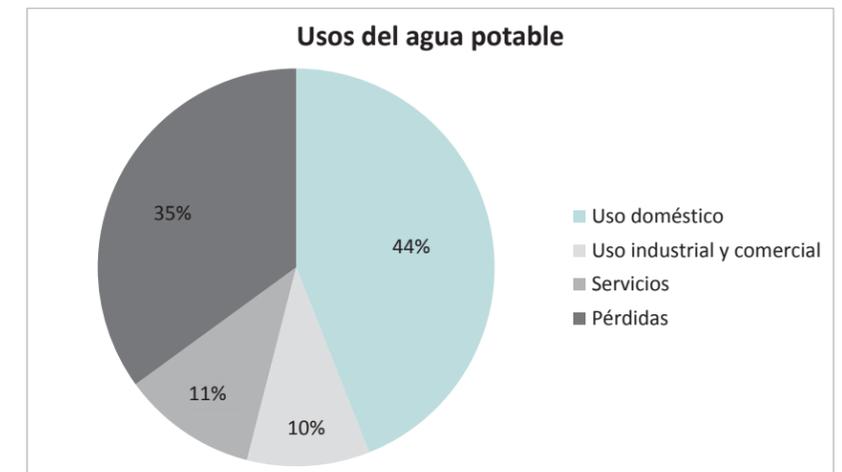
Las cifras anteriores dejan en evidencia que el consumo de agua es gigantesco y que la principal fuente de extracción es un acuífero vulnerable del que se extrae más agua que la que su capacidad de renovación natural es capaz de recargar; además de que una vez distribuida el agua, cerca de un tercio se pierde por deficiencias en el sistema, evidenciando un problema creciente que los habitantes de la ciudad padecemos.

Si bien el acuífero es la principal fuente de abastecimiento, los sistemas que dan apoyo al suministro, se encuentran con la dificultad de traer agua desde muy lejos por medio de una red insuficiente para transportarla, mediante complicados sistemas de tuberías y plantas de bombeo para obtener agua desde regiones ubicadas a kilómetros de distancia y a altitudes menores, generando gastos extraordinarios en bombeo y a través de programas de mantenimiento inverosímiles, que cuando son realizados, paralizan el ritmo de la ciudad.

No obstante de los esfuerzos que se hacen para traer el agua a la Ciudad de México, sus habitantes hacen uso indiscriminado de ella: se estima que en la Ciudad de México el habitante promedio gasta aproximadamente 360 litros diarios por persona³⁰, cuando el equivalente recomendado/estimado para habitantes de las grandes ciudades es de 150 litros diarios por persona³¹, dejando en evidencia la contradicción y lo paradójico del problema, pues mientras se padece por un suministro hídrico insuficiente, se tiene un gasto extraordinario por habitante. (**Gráfica 1.5**)

La Ciudad de México es también ejemplo de discordantes sociales, pues mientras que muchos sufren la falta del recurso hídrico y pagan precios extraordinarios para obtenerlo con una calidad y cantidad reducidas, otros lo poseen en abundancia a precios casi regalados.

La ciudad es sinónimo de desigualdad: en tanto el agua escasea en determinadas zonas y en particulares sectores sociales, el mismo recurso está siempre presente sólo que en diferentes estratos sociales y en otras zonas de la ciudad, evidenciando un problema que si bien tiene un trasfondo de por medio, confirma una problemática que nos afecta a todos como entidad social.



Gráfica 1.4 Usos del agua potable en la ZMVM. Fuente: Adaptado del Programa de gestión integral de los recursos hídricos, visión 20 años, 2012.

²⁸ Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, (2002).

²⁹ Programa de gestión integral de los recursos hídricos (PGIRH), visión 20 años, (2012).

³⁰ Información disponible en: <<http://www.agua.org.mx>> Acceso en julio, 2015.

³¹ Cifra recomendada en el Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, 2004; y de acuerdo con la OMS como mínimo establecido por habitante en ciudades de países desarrollados.

Otros de los problemas que afectan seriamente a la cuenca y Ciudad de México, son los hundimientos que se presentan en mayor o menor proporción en toda la región, estos son causados por la sobreexplotación del acuífero y originan el fenómeno conocido como *subsistencia del terreno*,³² el cual ocurre de manera natural por el comportamiento geomecánico de las arcillas del antiguo lago y es acelerado por la extracción excesiva de agua subterránea.

El hundimiento de la ciudad ha sido un fenómeno constante desde el siglo XIX, a finales de dicho siglo hasta la fecha, la ciudad se ha hundido casi 10 metros promedio, si bien es un fenómeno que presenta asentamientos incrementados según las regiones y en base a variables geomecánicas, una de las zonas que más ha resentido sus efectos es la región central de la Ciudad de México que de 1930 al 2007 alcanzó valores máximos de 9 metros. (PGIRH, 2012).

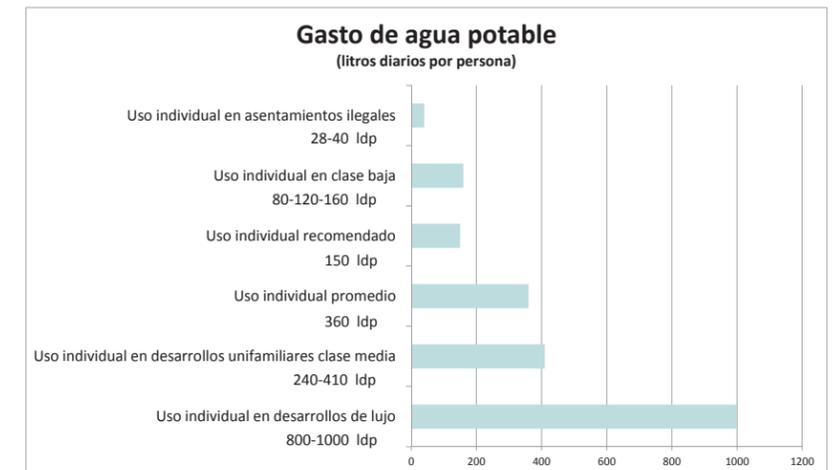
Actualmente los hundimientos regionales son en promedio de 15 cm por año, variando de acuerdo a la zona (de 4 a 36 cm anuales), teniendo al Aeropuerto Internacional Benito Juárez, Iztapalapa, Tláhuac, las zonas de Xochimilco y el canal de Chalco, como aquellas con valores máximos registrados. (PGIRH, 2012). (**Gráfica 1.6**)

Las consecuencias del hundimiento, además del evidente cambio en los niveles del terreno de la cuenca, también se ven reflejadas en la ruptura de tuberías y daño a cimientos de edificaciones, lo cual puede traer como consecuencia que aguas negras consigan infiltrarse hacia el subsuelo, contaminando con agentes patógenos los mantos superficiales, deteriorando de este modo, el suministro de agua para varias generaciones.

Asimismo, al estar asentada la urbanización sobre una región tectónica y sobre lechos ya de por sí inestables, el tener movimientos diferenciales de terreno aumenta la vulnerabilidad sísmica de la ciudad.

También, el hecho de que la ciudad se hunda, está provocando que el sistema de drenaje, que tantos siglos de inversión y esfuerzo ha costado construir, comience un periodo de inversión en el que la pendiente con el que fue construido, está revirtiéndose haciendo que las aguas negras desalojadas tiendan a regresar, ocasionando severas inundaciones de aguas servidas.

La cuenca de México está asentada sobre una antigua región lacustre, la cual, al haber sido pavimentada para albergar a la mancha urbana, ocasionó que posibles áreas en donde se podría tener una recarga natural de agua, se encuentren ahora cementadas considerado una infiltración nula natural hacia el acuífero³³; en general, la recarga inducida o artificial se da por medio de pozos de inyección o mediante áreas de infiltración, sin embargo, dentro del *Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, no se tienen pozos de inyección y las áreas de infiltración son muy pequeñas para llegar a ser consideradas³⁴, todo esto origina una recarga total media anual, que corresponde a la suma de los volúmenes recargados de manera natural o artificial



Gráfica 1.5 Gasto de agua potable en la ZMVM. Fuente: Adaptado de LEGORRETA, J., (2006). *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*; y de BAZANT, J., (1995) *Manual de Criterios de Diseño Urbano*.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES TEÓRICOS

respectiva a 279 Mm³/año, lo cual puede ser traducido en una sobreexplotación del 22% generada básicamente por la demanda, y secundada por las pérdidas en el sistema.³⁵

La cuenca de México se encamina vertiginosamente hacia un futuro cada vez más abrumador y pesimista, es un hecho que la ciudad que en ella reside, extenderá cada día más sus límites, conformando una megalópolis de dimensiones tales, que será cada vez más difícil de sustentar.

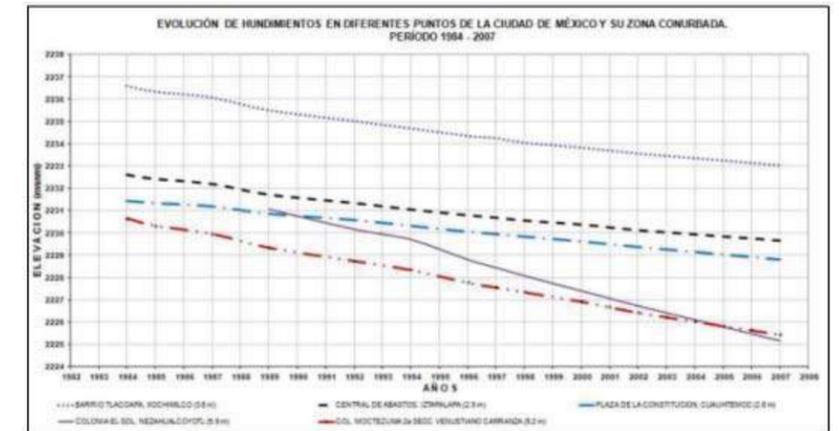
Cada día, la cuenca de México alberga a una población más numerosa que requerirá de agua para subsistir, esto ocasionará una problemática colosal, que de no dar solución, generará la pérdida de la delicada estabilidad en la que se encuentra. Para lo anterior, basta citar un escenario tendencial proyectado para el año 2025 para la cuenca de México, en el que por fallas en la infraestructura ante posibles efectos del cambio climático, el tandeo diario y semanal podría llegar al 55% de las colonias y sólo el 28% recibiría un servicio aceptable considerando una situación de sobreexplotación agravada del acuífero.³⁶

Lo anterior deja en evidencia que nos encontramos en una etapa de cambio: el calentamiento global, el cambio climático y otros fenómenos mundiales, ocasionarán cada vez problemas más serios y de mayor alcance, por lo que debemos plantearnos desde ahora nuevas prácticas para abastecer el recurso hídrico y aprovechar los recursos que tenemos ya disponibles.

De ser acertadas las proyecciones sobre el cambio climático, es probable que la temperatura global aumente, y por lo tanto, tengamos eventos pluviales cada vez más intensos y constantes que tendrán impactos negativos en la infraestructura de la ciudad; debemos plantearnos desde ahora el uso de estrategias que nos acerquen a un mejor uso de los recursos con los que contamos y que aproximen al hombre contemporáneo a los sistemas naturales, que como se ha demostrado a través de siglos de experiencia, son los que pueden ofrecer verdaderos cambios en nuestro modo de habitar.

Es así como se ofrece un panorama amplio aunque breve de la problemática que enfrenta la cuenca de México hoy en día, es indispensable establecer un manejo integral de las aguas pluviales, que si bien no son la solución a todos los problemas hídricos de la misma, sí mitigarían gran parte de los efectos que la mala disposición del recurso, ha ocasionado en una ciudad cuyos problemas están estrechamente relacionados por no lograr entender al agua como un aliado y acompañante en nuestra travesía histórica.

Debemos pensar en estrategias que consideren uno de los recursos más valiosos de la cuenca que no solamente está disponible seis meses al año, si no que se precipita en toda su extensión sin distinguir clases sociales ni regiones, pudiendo contribuir al abasto del vital líquido por varios meses al año, y cuyo manejo adecuado disminuiría en medida la vulnerabilidad hídrica que sufre la cuenca.



Gráfica 1.6 Evolución de los bancos de nivel y hundimientos en diferentes puntos de la ZMVM, periodo de 1984-2007. Fuente: Adaptado del Programa de gestión integral de los recursos hídricos, visión 20 años, 2012.

Es un hecho que la cuenca requerirá de más agua para la subsistencia de la megalópolis que alberga, pero disminuir paulatinamente el agua de su propio subsuelo sin recargarlo no es la solución, se debe considerar como viable la utilización del agua pluvial como estrategia para el mismo fin.

Es importante ofrecer soluciones proyectadas a corto, mediano y largo plazo: impulsar técnicas que propongan un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, haciendo uso de áreas estratégicas en los espacios públicos y privados disponibles, para mejorar con pequeñas, aunque conjuntas acciones, el medio que nos rodea.

En este panorama pueden entenderse los jardines de lluvia como una herramienta para lograr un mejor aprovechamiento del agua pluvial, como medio de recarga del acuífero, además de que brindan espacios para la convivencia social y proporcionan áreas vegetadas, entre muchos otros beneficios ambientales, sociales y económicos; la presente investigación propone el uso de los mismos, a través del desarrollo de cuatro modelos conceptuales de jardín de lluvia, que puedan ser adaptados a las condiciones de cada sitio de implementación en Azcapotzalco, lo anterior teniendo como finalidad ofrecer una estrategia paisajística, que conlleve a la revalorización del espacio público, logre un mejor empleo del espacio privado y permita la permanencia y reutilización del agua pluvial dentro de la misma cuenca, para aproximarse gota a gota, a la sustentabilidad hídrica de la misma.

³² La *subsistencia del terreno* es un riesgo geológico mayor, inducido por el hombre debido a la sobreexplotación de los acuíferos. Afecta a edificios e infraestructura urbana y resulta en consecuencia de vulnerabilidad para la población y en altos costos de mantenimiento y reposición de infraestructura urbana. Información disponible en: <<http://cardi.geofisica.unam.mx/subsidence/>> Acceso en agosto, 2015.

³³ Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, (2002).

³⁴ Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, (2002).

³⁵ Programa de gestión integral de los recursos hídricos, visión 20 años, (2012).

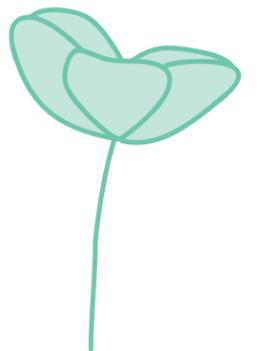
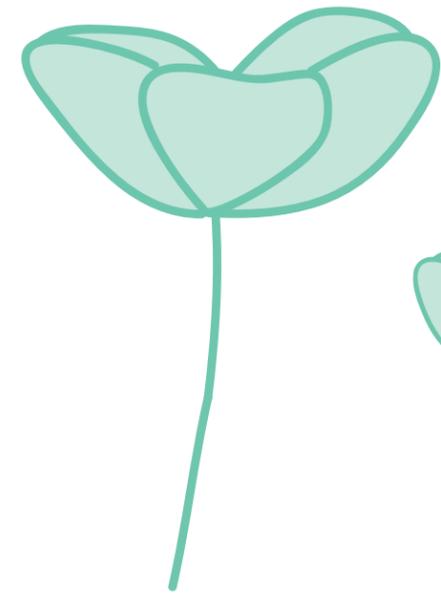
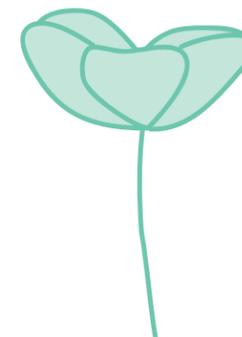
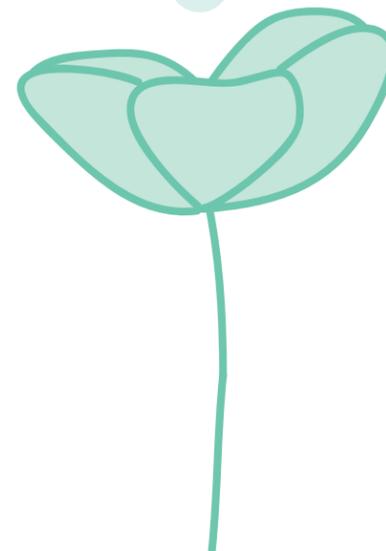
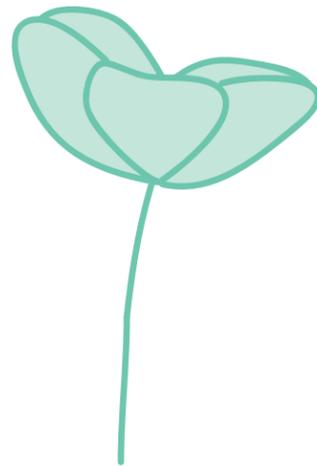
³⁶ Programa de gestión integral de los recursos hídricos, visión 20 años, (2012).

CAPÍTULO II

ANÁLISIS URBANO-PAISAJÍSTICO

“(...) Muchos argumentos podrían aducirse como prueba de que nuestro pueblo fue antiguamente una gran provincia, pero entre ellos pensamos que deben señalarse dos principales. El primero es la clara constancia de que tuvo muchos pueblos sujetos y tributarios (...) El segundo es que de *Azcapotzalco* como de fuente fecunda se originaron no pocos pueblos que antes no eran sino simples colonias dominadas por el señor de nuestro pueblo (...)”

LA CARTA DE AZCAPOTZALCO DE 1561



El segundo capítulo comprende la elección del caso de estudio y un breve análisis del pasado histórico de éste; es en este capítulo en donde se realiza un análisis de los elementos que conforman a la estructura urbana y del paisaje del caso estudiado: primeramente, de los elementos que comprenden el sistema medio físico-ambiental, y posterior, del sistema socio-cultural.

Así también, se establece la problemática hídrica de la demarcación y su relación con los servicios, en función de que el recurso agua, proveniente de la lluvia, así como su aprovechamiento y mejor manejo, son algunos de los puntos que propone la presente tesis.

Además, en este capítulo se presentan los riesgos de origen geomorfológico, hidrometeorológico y sanitario-ecológico, a los que están expuestas las personas que residen en el territorio, donde si bien son problemáticas con muy diversos orígenes, coinciden en un inadecuado manejo del recurso hídrico desde su importación, disposición y desalojo, sin lograr aprovechar una manifestación del mismo, presente en más de la mitad del año y de manera gratuita.

Para concluir, se expone el uso potencial que tiene la demarcación en el futuro, y se encamina hacia la aplicación de estrategias paisajísticas que puedan contribuir en la disposición y uso terminal del recurso pluvial, aportando beneficios que contribuyan a la mejora del medio en el que se habita.

2.1 ELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Una vez que se decidió el tema de investigación de la presente tesis, la siguiente inquietud fue la de hallar un lugar que pudiera albergar al *Modelo experimental de jardín de lluvia*; el sitio elegido debía tratarse de un espacio que permitiera el desarrollo propicio del jardín de lluvia y contar con las siguientes características: debía ser un lugar de fácil acceso para poder ingresar a él cuando se requiriera y de relativa cercanía para facilitar los traslados al sitio, debía estar inmerso en un área urbana representativa para que su comportamiento asemejara las condiciones en las que se desarrollaría en una realidad construida, y a su vez, debía de encontrarse en un área cuya precipitación fuera promedio para representar el comportamiento pluvial estacional característico de la Ciudad de México.

Fue entonces cuando se eligieron los tres posibles casos de estudio: Xochitla Parque Ecológico, Alameda Oriente y Bosque de San Juan de Aragón (BSJA), eligiendo a este último, como sitio de desarrollo del jardín de lluvia. (**Fig. 2.1**)

En el mes de octubre del año 2013 se inició el trámite para que las autoridades del Bosque de San Juan de Aragón permitieran desarrollar el *Modelo experimental de jardín de lluvia* dentro de sus límites, solicitando como única condición, se proporcionara un espacio contiguo a las instalaciones del “Comedor de los trabajadores” con aproximadamente 9.00 m² para realizar un modelo experimental de jardín de lluvia denominado “A-habitacional” y otro más en un cuadrante de terreno cercano al “Estacionamiento 5” con una superficie de 20.00 m² para desarrollar lo que sería el modelo experimental “B-urbano”.

Tras recibir constantes negativas y evasiones por parte de las autoridades del Bosque de San Juan de Aragón, además que en mitad del proceso realizaron cambios en la administración, pasando el poder a nuevos directivos que negaron la existencia de un preacuerdo entre la UAM-A y el BSJA, el proyecto nunca pudo iniciarse cuando el único recurso solicitado fue la autorización para utilizar los espacios mencionados, siendo contemplado con presupuesto propio, el pago de los conceptos relativos a la mano de obra, herramientas, materiales de construcción y análisis necesarios, es decir, el coste total del proyecto; fue entonces, en el mes de marzo de 2014 cuando se decidió abandonar el proyecto en las instalaciones mencionadas y elegir un nuevo caso de estudio.

En abril de 2014, tras un minucioso análisis de las opciones, se decidió que el nuevo sitio para desarrollar el *Modelo experimental de jardín de lluvia*, se encontraría dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, construyendo únicamente un modelo experimental, denominado *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* y teniendo como caso de estudio a la demarcación Azcapotzalco. (**Fig. 2.2**)



Figura 2.1 Propuestas de caso de estudio: Xochitla Parque Ecológico, Alameda Oriente y Bosque de San Juan de Aragón. Fuente: Disponible en: <<http://www.xochitla.org.mx>>, <<http://www.alamedaorientecdmx.gob.mx>>, <<http://elbosquedesanjuandearagon.blogspot.mx>> Acceso en agosto, 2015.

2.1.1 Justificación de la elección del caso de estudio

Una vez que se delimitó el caso de estudio en Azcapotzalco, se establecieron los factores que reconocerían a la demarcación como el sitio con potencial para albergar al *Modelo experimental de jardín de lluvia*:

- Es un área urbana representativa de la Ciudad de México, al poseer precipitaciones promedio de 600-800 mm anuales.
- En los límites territoriales se cuenta con una gran diversidad de tipologías urbanísticas: pueblos, barrios, colonias, unidades habitacionales y zonas industriales, por lo que es ejemplo de la diversidad urbana que existe en la Ciudad de México.
- Es una de las demarcaciones más pequeñas (ocupa el doceavo lugar en cuanto a extensión territorial entre las 16 demarcaciones) por lo tanto, la información obtenida sería más fácil de manipular y de extrapolar.

Aunado a lo anterior, Azcapotzalco es una de las demarcaciones que constantemente presentan peor calidad del aire³⁷ y es contradictoriamente, una delimitación con algunos de los principales espacios abiertos de la ciudad; también, cuenta con una gran cantidad de espacios como estacionamientos, calles, camellones y banquetas, que de ser recuperados, sumarían áreas verdes a la ciudad, además de mejorar considerablemente el paisaje urbano. Así mismo, en temporada de lluvias, al igual que en muchas otras áreas de la ciudad, algunas de sus principales calles y avenidas presentan inundaciones de moderadas a severas por la falta de la capacidad de su drenaje para desazolvar el agua precipitada.

Todos los factores anteriores fueron razonados para considerar a la demarcación Azcapotzalco, como el caso de estudio idóneo para incubar y evaluar el primer jardín de lluvia con fines de investigación en México.

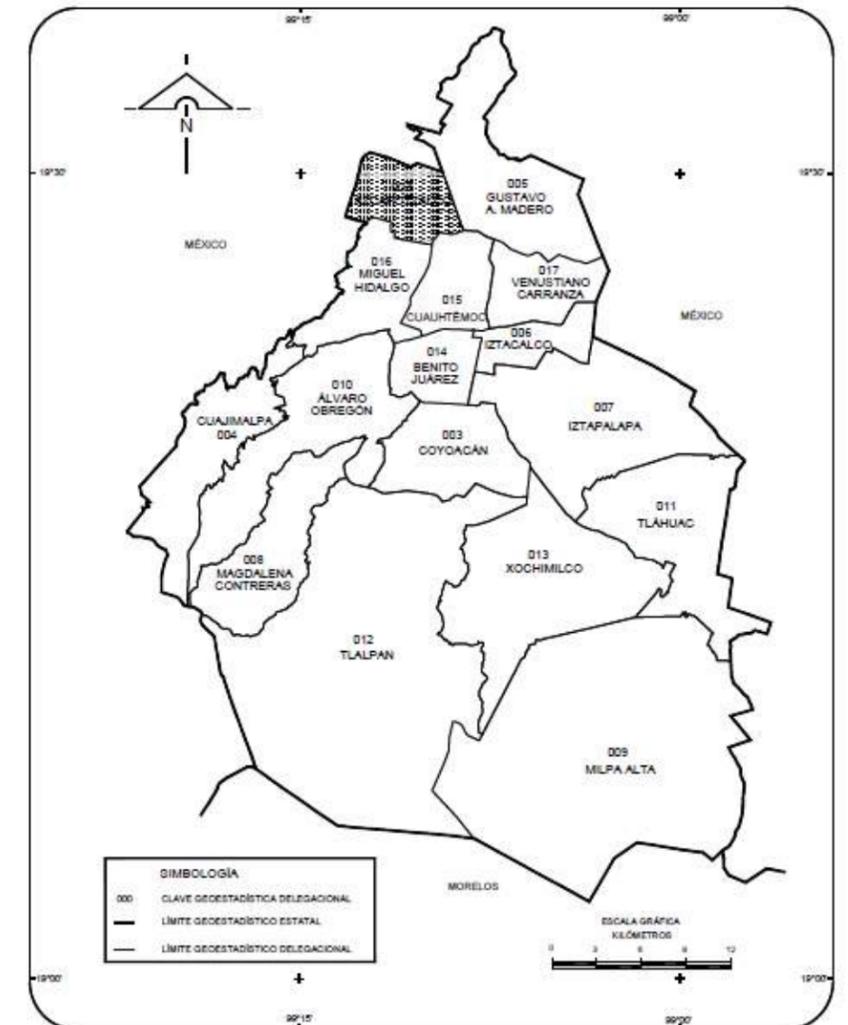


Figura 2.2 Caso de estudio: Azcapotzalco. Situación geográfica de la demarcación. Fuente: Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx>> Acceso en septiembre, 2015.

³⁷ Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. Información disponible en: <<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php>> Acceso en agosto, 2015.

2.1.2 Antecedentes históricos del caso de estudio

La palabra Azcapotzalco proviene de la vocablo náhuatl *azcatl* que significa “hormiga”, *potzoa* o *potzalli* que se traduce como “montículo” y *co* que significa “lugar”, entonces la expresión significa “en el hormiguero”.

Han sido varios los acontecimientos que colocaron a Azcapotzalco como un lugar de relevancia histórica y cultural, remontando algunos de ellos a tiempos prehispánicos cuando Tezozómoc dominó la región del valle de México, haciendo que los pueblos de alrededor rindieran tributo y sirvieran al señor tepaneca.

A su muerte, ocurrirían una serie de disputas por el poder entre los hijos del gobernante, tras lo cual, para el año de 1427, los gobernantes de Texcoco, Tenochtitlán y Tacuba formarían una triple alianza y derrocarían el poder, dividiendo el reino.

A la llegada de los españoles en 1521 y con la caída del imperio mexica que en ese entonces dominaba sobre los otros pueblos, cae el pueblo de Azcapotzalco para ser sometido al dominio español.

Hacia 1528 se establecieron los primeros frailes dominicos que fundarían la parroquia y convento dedicados a los apóstoles Felipe y Santiago iniciando la conquista espiritual del pueblo tepaneca.

Durante la época colonial en el siglo XVI, Azcapotzalco pertenecía a la provincia de Santiago de México.

Ya para el siglo XVIII Azcapotzalco funcionaba como cabecera con *curato*³⁸ y habían prosperado seis haciendas y nueve ranchos que se dedicaban al cultivo y al ganado. A finales del mismo siglo, destacaba la Hacienda de San Antonio de Clavería, propiedad del español Don Juan Domingo Bustamante que era dueño de muchas de las tierras de Azcapotzalco, llegando a conocerse el lugar como Villa de Bustamante y Quintanar. (**Fig. 2.3**)

Uno de los hechos más relevantes que destacan la contribución de Azcapotzalco en el siglo XIX, fue su participación en el último enfrentamiento entre el ejército realista y el ejército trigarante, celebrando una batalla en el atrio de la parroquia de los santos apóstoles Felipe y Santiago.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, Azcapotzalco siguió extendiendo sus límites gracias al próspero cultivo de sus tierras y a la cría de animales, actividades a las que se dedicaban sus habitantes.

Para 1882 se inauguró la línea de tranvías jalados por mulas, que logró comunicar la entonces ciudad de México con Tacuba, Azcapotzalco y Tlalnepantla.

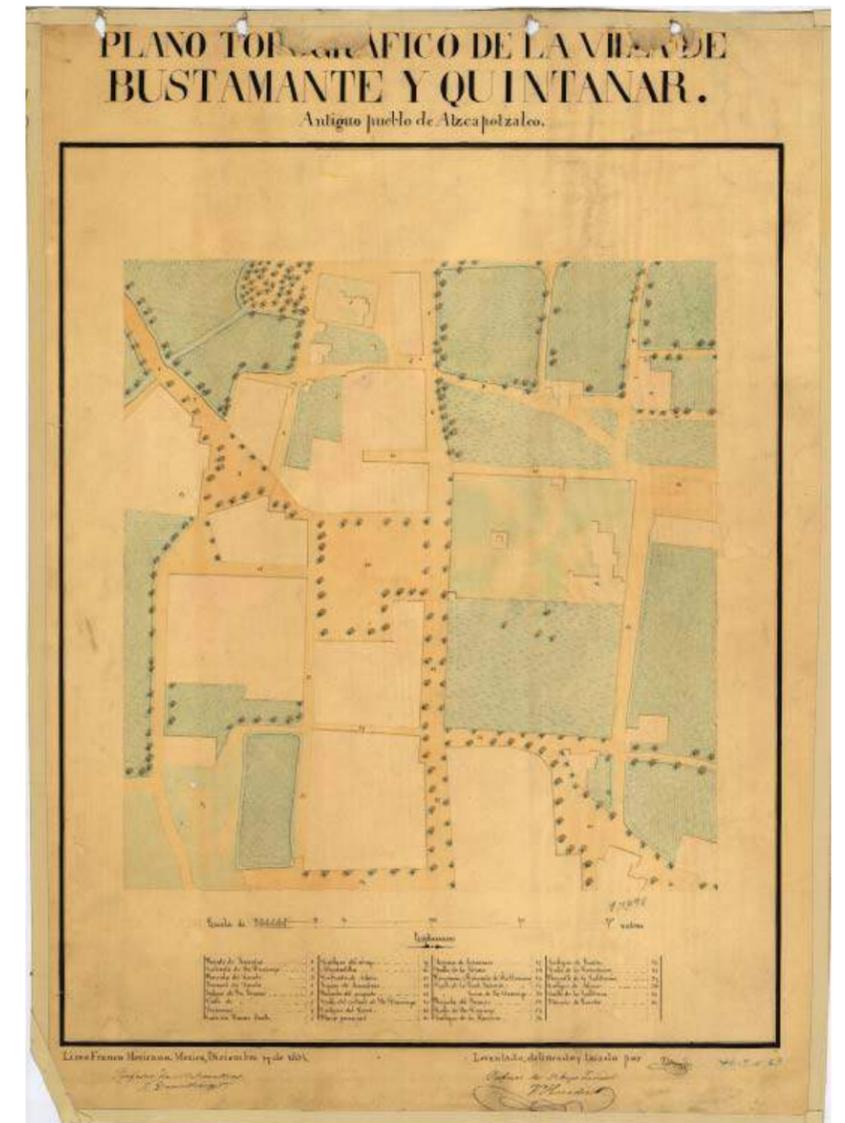


Figura 2.3 Plano topográfico de la Villa de Bustamante y Quintanar. Antigua pueblo de Azcapotzalco, año 1854. En el plano se distinguen la plaza principal y algunas haciendas. Fuente: Mapoteca Manuel Orozco y Berra.

En 1898 el Congreso estableció las Prefecturas Políticas de la municipalidad de México, siendo nombrada Azcapotzalco como la tercera de ellas. (**Fig. 2.4**)

Para 1903 la Ley de Organización Política y Municipal divide al Distrito Federal en 13 municipalidades, nombrando a Azcapotzalco como una de ellas.

Durante el Porfiriato la municipalidad tendría un gran crecimiento económico, cuyo reflejo de la época, quedó plasmado en las casas de estilo afrancesado que las familias de alta posición económica mandaron construir y que prevalecen hasta hoy en día principalmente en la colonia Clavería.

Para 1904 se construyó el sistema de drenaje que surtiría de agua potable a la villa, comenzando con esto el proceso de urbanización que predominaría hasta finales de siglo.

Para 1928 como parte de las transformaciones que originarían las delegaciones, se conforma la Municipalidad de Azcapotzalco como parte de las Delegaciones del Departamento del Distrito Federal. (**Fig. 2.5**)

En 1929 se destinan 50 hectáreas para la creación de la Zona Industrial de Vallejo, las cuales fueron empleadas para construir fábricas, almacenes, talleres y bodegas, conformando así, una de las principales zonas industriales de la Ciudad de México.

En 1930 comienzan a surgir las grandes unidades habitacionales, que marcarían pautas para los desarrollos posteriores que prevalecen hasta la actualidad.

Durante la década de 1950, se creó la red ferroviaria con la finalidad de complementar la que ya existía, además de que se rediseñó la estación Pantaco; se creó también el rastro de Ferrería que fuera el más importante de la ciudad y fue en ésta década cuando se construyó el Centro Médico Nacional “La Raza”, con la finalidad de concentrar todas las especialidades médicas en un sólo centro de salud para brindar atención médica de alta especialidad a los trabajadores y sus familias.

A finales de los sesenta, se construyeron nuevas zonas industriales conformando lo que sería ahora la zona de Nueva Industrial Vallejo, manifestando una vez más, el carácter industrial conferido a la demarcación.

Para 1982 se inauguró el Parque Tezozómoc, el cual es uno de los principales espacios abiertos al norte de la ciudad.

Fue así, con el pasar de los siglos, que Azcapotzalco se convirtió en lo que es hoy en día: una demarcación con un importante pasado histórico y cultural, pero que encamina sus pasos hacia un futuro en el que la valorización de los espacios y la transformación de los mismos, son los ejes rectores para una demarcación territorial cada vez más próspera.



Figura 2.4 Acercamiento del Plano de la Municipalidad de Azcapotzalco, año 1899. Se aprecia la Av. Azcapotzalco conectando la municipalidad con Tacuba, así como las principales avenidas que predominan hasta hoy en día. Fuente: Mapoteca Manuel Orozco y Berra.



Figura 2.5 Acercamiento del Plano de las Municipalidades de Azcapotzalco y Guadalupe, Oficina del Catastro, año 1906. Fuente: Mapoteca Manuel Orozco y Berra.

³⁸ En el antiguo régimen, el *curato* era el territorio en el que el sacerdote o cura de una parroquia, ejercía su jurisdicción espiritual y su capacidad de extraer rentas. Información disponible en: <<http://www.rae.es>> Acceso en agosto, 2015.

Parte de todo el pasado histórico de Azcapotzalco, ha podido conservarse gracias a la normativa presente en planes y programas, que ha permitido la preservación de inmuebles de valor patrimonial, así como la conservación de áreas de valor histórico.

El patrimonio cultural urbano de la demarcación, está conformado por la Zona de Monumentos Históricos, las Áreas de Conservación Patrimonial, las denominadas Zonas Patrimoniales, así como todos aquellos Inmuebles de Valor Patrimonial, que se ubican dentro de los límites territoriales.

ZONA DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

La Zona de Monumentos Históricos (ZMH) fue publicada como tal en 1986, su importancia recae en que conserva parte del antiguo trazo del siglo XVI, teniendo como eje principal la Calzada Azcapotzalco (Av. Azcapotzalco) que comunicaba el centro de la Villa de Azcapotzalco con Tenochtitlán a través del pueblo de Tacuba.

La ZMH está declarada en torno al Centro Histórico de Azcapotzalco, pues lo reconoce como un asentamiento humano de un reducto teotihuacano y posteriormente tepaneca. Así también, alberga barrios que tienen su origen prehispánico, muchos de los cuales conservan su nombre hasta la actualidad; también su importancia reside, en que alberga numerosos ejemplos de arquitectura virreinal realizados con mano de obra indígena.

En el Decreto en el que se declara la Zona de Monumentos Históricos de Azcapotzalco, se detallan los Perímetros “A” y “B” que integran el Eje Patrimonial.

ÁREAS DE CONSERVACIÓN PATRIMONIAL

El Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, (2003), incluye zonas ubicadas al interior de los antiguos barrios y pueblos no contempladas en la ZMH, conjuntado un total de 24 zonas denominadas Áreas de Conservación Patrimonial, teniendo como finalidad que cada uno de los polígonos inscritos, preserve sus características físicas así como las condiciones históricas de los inmuebles habitacionales y religiosos que albergan. (**Plano 2.1**)

ZONAS PATRIMONIALES

Gracias a una revisión cartográfica a nivel predial, se detectaron elementos que estuvieran reconocidos con valor histórico, catalogados o declarados por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), de valor artístico catalogados o declarados por el Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA), y de valor patrimonial catalogados por la Dirección de Sitios Patrimoniales y Monumentos de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI).

En esta precisión, se valoraron los elementos catalogados y declarados, que estuvieron fuera de la protección de la normatividad para Zonas Patrimoniales, por lo que se redefinieron las poligonales en función de la riqueza patrimonial existente.



ÁREAS DE CONSERVACIÓN PATRIMONIAL	
N°	NOMBRE
1	Eje y Zona Histórica Patrimonial A
2	Eje y Zona Histórica Patrimonial B
3	Barrio Coltongo
4	Barrio Huautla de las Salinas
5	Barrio San Andrés
6	Barrio de San Sebastián
7	Barrio de San Mateo y San Francisco Tetecala
8	Barrio de Santa Apolonia
9	Casco de la Ex -Hacienda el Rosario
10	Clavería
11	Pueblo de Santa Catarina
12	Pueblo San Miguel Amantla
13	Pueblo Santiago Ahuizotla
14	San Álvaro
15	San Antonio
16	San Bartolo Cahualtongo
17	San Francisco Xocotitla
18	San Juan Tlihuaca
19	San Martín Xochináhuac
20	San Pedro Xalpa
21	Santa Bárbara
22	Santa Lucía
23	Santa María Malinalco
24	Santo Tomás

INMUEBLES DE VALOR PATRIMONIAL

Son todos aquellos inmuebles catalogados por el INAH o por el INBA dentro o fuera de las zonas patrimoniales con valor histórico, artístico o patrimonial.

Plano 2.1 Áreas de conservación patrimonial. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2014.

2.2 SISTEMA MEDIO FÍSICO-AMBIENTAL

Para obtener la información relativa al sistema medio físico-ambiental de Azcapotzalco, se revisaron las cartas geográficas escala 1:50,000 disponibles en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como datos disponibles en la misma instancia, la información anterior se complementó con aquella descrita en el *Programa General de Desarrollo del Distrito Federal, (2013-2018)* y en el *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008)* así como el Plano de divulgación anexo al anterior, escala 1:10,000.

Como su nombre lo indica, el sistema medio físico-ambiental describe las características del medio en el que está inmerso la demarcación Azcapotzalco, las cuales fueron importantes de conocer para establecer las condiciones a las que estaría sometido el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, y posteriormente, para tener bases sólidas para desarrollar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*.

2.2.1 Situación geográfica

La demarcación territorial Azcapotzalco se ubica en la parte norponiente de la Ciudad de México: limita al norte con el municipio de Tlalnepantla de Baz del Estado de México, al oriente con la demarcación Gustavo A. Madero, al sur con las demarcaciones Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo y al poniente con los municipios de Naucalpan de Juárez y Tlalnepantla de Baz del Estado de México.

Su delimitación actual quedó definida por decreto presidencial el 29 de diciembre de 1970, fecha en que se promulgó la Ley Orgánica de la Ciudad de México.

Los límites establecidos son:

- Av. Benito Juárez, al norte
- Eje 1 Poniente-Calzada Vallejo, al este
- Paseo de las Jacarandas, al sur
- Av. Azcapotzalco, Primavera, Av. Ferrocarriles Nacionales, 5 de Mayo, Camino a Santa Lucía y Calzada de la Naranja, al suroeste
- Calzada de las Armas, al oeste

Sus coordenadas geográficas corresponden al norte 19° 31', al sur 19° 27' de latitud norte, al este 99° 09' y al oeste 99° 13' de longitud oeste. En el año de 1970, conformó sus límites y superficie actuales como resultado de la modificación de la estructura administrativa del antes Distrito Federal, ahora Ciudad de México; por lo que en la actualidad se cuenta con una superficie de 33.54 km² que representan apenas el 2.23 % del área total de la Ciudad de México.³⁹

2.2.2 Geología

Azcapotzalco posee un tipo de suelo aluvial, lo cual indica la presencia de ríos y por lo tanto, presencia de depósitos de materia orgánica superficial; de acuerdo con información obtenida de las cartas geográficas⁴⁰ y verificado en un punto de muestra perteneciente a la demarcación, el suelo está compuesto principalmente por limo y arena.

2.2.3 Edafología

En Azcapotzalco prevalecen dos tipos de suelo: al oriente predominan suelos de fondo largo, y al sureste y occidente, dominan suelos de transición, siendo estos los que ocupan la mayor parte del territorio de la demarcación.

En la parte norte, se ubican suelos sedimentarios con estructura arcillosa, debido a la ubicación geográfica de la sierra de las Cruces y la sierra de Guadalupe, donde debido al escurrimiento proveniente de las mismas cumbres, se formaron ríos cuyos sedimentos desembocaron y formaron parte del antiguo lago de Texcoco; estos suelos son además limosos de aluvión debido a la erosión y arrastre de los mismos.

La combinación de los factores anteriores dio como resultado, suelos con propiedades suficientes para el surgimiento de culturas agrícolas estables, explicando en proporción, el surgimiento del poderoso dominio tepaneca.

El suelo que predomina dentro de los límites territoriales es:

Feozem (H) (del griego *phaeo* "pardo" y del ruso *zemljá* "tierra, tierra parda")

Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes; es un suelo fértil y con propiedades para ser utilizado como cultivo o pastizal, en cuanto a sus propiedades de infiltración, es limitado pues se presta a inundaciones y es fácil que se erosione.

³⁹ Información disponible en: <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=09>> Acceso en agosto, 2015.

⁴⁰ Carta Geológica *Cuautitlán* (E14-A29), escala 1:50,000, INEGI.

Así mismo, el suelo de Azcapotzalco tiene las siguientes subunidades:

- Calcárico (Hc). Del latín *calcareum* “calcáreo”. Suelos ricos en cal y nutrientes para las plantas.
Unidades de suelo: Feozem, Fluvisol, Gleysol y Regosol.
- Gleyico (Hg). Del ruso *gley* “suelo pantanoso”. Suelos con una capa saturada de agua, al menos en alguna época del año. Esta capa es de color gris, verde o azulado y se mancha de rojo cuando se expone al aire. Se localizan generalmente en depresiones o llanuras.
Unidades de suelo: Acrisol, Cambisol, Feozem, Fluvisol, Luvisol, Solonchak y Solanetz.
- Háptico (Hh). Del griego *haplos* “simple”. Suelos que no presentan características de otras subunidades existentes en ciertos tipos de suelo.
Unidades de suelo: Castañozem, Chernozem, Feozem, Xerosol y Yermosol.
- Lúvico (Hl). Del latín *lumi, luo* “lavar”. Suelos con acumulación de arcilla en el subsuelo. Son generalmente de color rojizo o pardo oscuro.
Unidades de suelo: Chernozem, Castañozem, Feozem, Xerosol, Yermosol y Arenosol.⁴¹

2.2.4 Topografía

La topografía predominante es una gran planicie con una ligera pendiente media, la cual es menor al 5% en el sentido suroriente (canalizando el agua hacia lo que fuera el antiguo lago).

Dentro de los límites de Azcapotzalco existen diez provincias edafológicas, siendo por consiguiente, un terreno muy fértil debido a la abundante agua que baja de las vertientes de los cerros cercanos.

Su altitud media es de 2,240 msnm, manteniendo la altura promedio de la ciudad.

A pesar de no contar con elevaciones propias dentro de sus límites territoriales, colinda con importantes cerros que definen la topografía de la ciudad, tal es el caso del cerro del Chiquihuite como parte de la sierra de Guadalupe en la vecina demarcación Gustavo A. Madero, el cerro Zacatenco, el cerro Guerrero y el cerro Tepeyac como parte del Parque Nacional El Tepeyac, en la misma demarcación, y en el municipio de Tlalnepantla, el cerro del Tenayo como parte del sistema de la sierra de Guadalupe.

⁴¹ Descripción disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>> Acceso en agosto, 2015.

2.2.5 Hidrología

Al noroeste de Azcapotzalco se encuentran las subcuencas del río Hondo y del río Chico de los Remedios, y en la cercanía norte, en el municipio de Tlalnepantla, se localizan los ríos San Javier y Tlalnepantla.

Los caudales del río Hondo y de los Remedios, descienden desde las lomas de la sierra de las Cruces al occidente y de la sierra de Guadalupe al norte, y donde en tiempos remotos, desembocaron de forma natural en el antiguo sistema lacustre de la cuenca de México, en lo que alguna vez fue la subcuenca del lago de Texcoco-Zumpango.

Hoy en día, estas vertientes están controladas a través de un sistema de vasos reguladores que retienen las aguas fluviales; el de mayor capacidad y principal contenedor de inundaciones es el vaso regulador El Cristo, ubicado en un predio perteneciente a los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla y de la demarcación Azcapotzalco, seguido del vaso regulador Fresnos en Tlalnepantla, y el de menor capacidad, el vaso regulador de las Carretas en Tlalnepantla también, donde se cuenta con una planta de tratamiento de aguas y con un proyecto futuro de habilitarlo como parque ecológico.

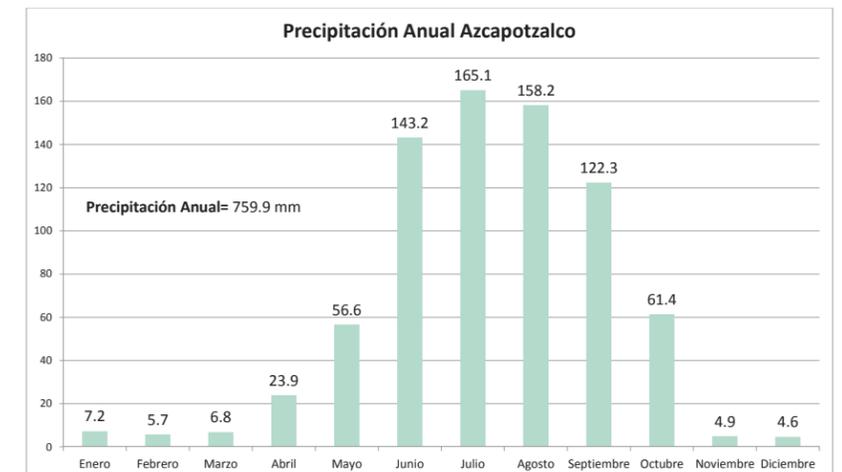
Los declives del sureste vierten sus aguas fluviales y servidas, por medio de un sistema de bombeo al cauce del río Consulado (Av. Río Consulado-Circuito Interior) por donde pasa el río entubado.

2.2.6 Clima

Azcapotzalco tiene una clasificación climática de Köppen de templado sub-húmedo con lluvias en verano, de humedad media C (W_1) en el 12% de la superficie territorial, y templado sub-húmedo con lluvias en verano pero de menor humedad C (W_0) en el 88% del territorio.

El clima que se presenta es variado, pero en general, es un clima templado con cielo abierto y soleado la mayor parte del año, presentando lluvias intensas durante los meses de verano (julio, agosto y septiembre) y lluvias moderadas en mayo, junio y octubre. (**Gráfica 2.1**)

La temperatura promedio oscila de los 12° a los 16°C llegando hasta los 20°C y tiene una precipitación total anual estimada entre los 600 mm y 800 mm.



Gráfica 2.1 Precipitación anual de Azcapotzalco. Datos correspondientes a las normales climatológicas de la estación Egipto 7, periodo 1971-2000. La estación fue tomada como ejemplo, puesto que es la más cercana al Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Adaptado de: <<http://smn.cna.gob.mx>> Acceso en septiembre, 2015.

2.2.7 Vegetación

La demarcación Azcapotzalco al estar totalmente urbanizada, carece de vegetación silvestre; sin embargo, presenta vegetación inducida con diferentes especies arbóreas y arbustivas ya sean nativas o introducidas, además de especies cubresuelos y ornamentales distribuidas en las áreas verdes de parques, jardines, camellones, vialidades y remanentes urbanos.

Las principales especies arbóreas son: eucalipto (*Eucalyptus globulus*), fresno (*Fraxinus uhdei*), álamo (*Populus mexicana*), jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), casuarina (*Casuarina equisetifolia*), sauce llorón (*Salix babylonica*), colorín (*Erythrina coralloides*), trueno (*Ligustrum lucidum*), cedro (*Cupressus lindleyi*), pirúl (*Schinus molle*), pino radiata (*Pinus radiata*), hule (*Ficus elastica*), yuca (*Yucca elephantipes*), ficus (*Ficus benjamina*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), olmo chino (*Ulmus parvifolia*) y palma canaria (*Phoenix canariensis*).

Las especies arbustivas utilizadas por excelencia tanto en Azcapotzalco como generalizadas en la ciudad, son el piracanto (*Pyracantha coccinea*) y el arrayán (*Buxus sempervirens*); mientras que las especies cubresuelos y ornamentales dominantes, son el agapando (*Agapanthus praecox*), platanillo (*Canna indica*), mala madre (*Chlorophytum comosum*), acanto (*Acanthus mollis*), lirio persa (*Dietes irioides*), hemerocallis (*Hemerocallis sp.*), iresine (*Iresine herbstii*), fornio (*Phormium tenax*) y trueno de venus (*Cuphea hyssopifolia*).

2.3 SISTEMA SOCIO-CULTURAL

El sistema socio-cultural describe la información relativa a la parte demográfico-social de Azcapotzalco, así como los elementos que influyen en las comunicaciones, vialidades y equipamiento propios de la demarcación.

Para obtener la información correspondiente, se revisaron las cartas de uso del suelo E14-A29 y E14-A39 escala 1:50,000 del INEGI, así como el *Programa General de Desarrollo del Distrito Federal*, (2013-2018), el *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco*, (2008) y el Plano de divulgación anexo al anterior, escala 1:10,000.

2.3.1 Población

De acuerdo con el censo poblacional realizado por el INEGI en el 2010, Azcapotzalco contaba con 414, 711 habitantes ⁴², los cuales representan el 4.68% de los 8, 851,080 habitantes de la Ciudad de México para el mismo año.

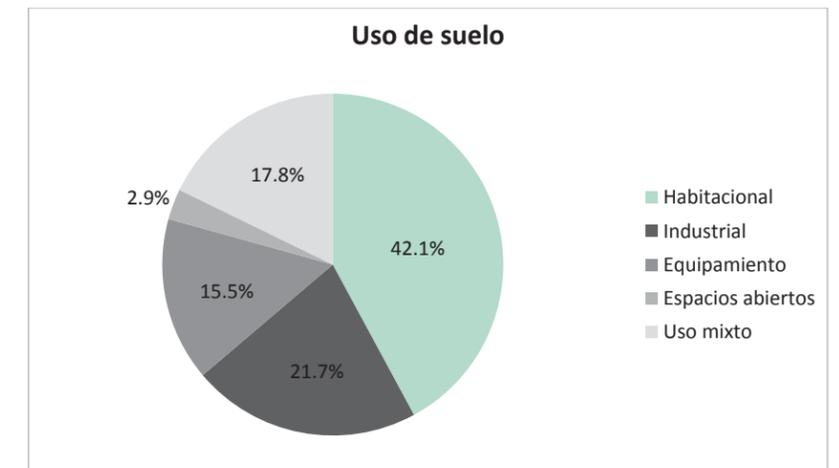
En Azcapotzalco, la mayoría de la población se encuentra distribuida en colonias que antes fueron barrios, los cuales a su vez fueron pueblos con vestigios de los *calpullis* ⁴³ tepanecas, conservando en su mayoría el nombre náhuatl.

Al menos 86 zonas son consideradas como pueblos, barrios y colonias, esto, sin contar las unidades habitacionales, por lo que en términos generales, se puede considerar que es una demarcación cuya población está fuertemente ligada con sus raíces culturales, lo cual se ve reflejado en su estructura organizacional y en muchas de las tradiciones que sus habitantes mantienen.

2.3.2 Uso de suelo

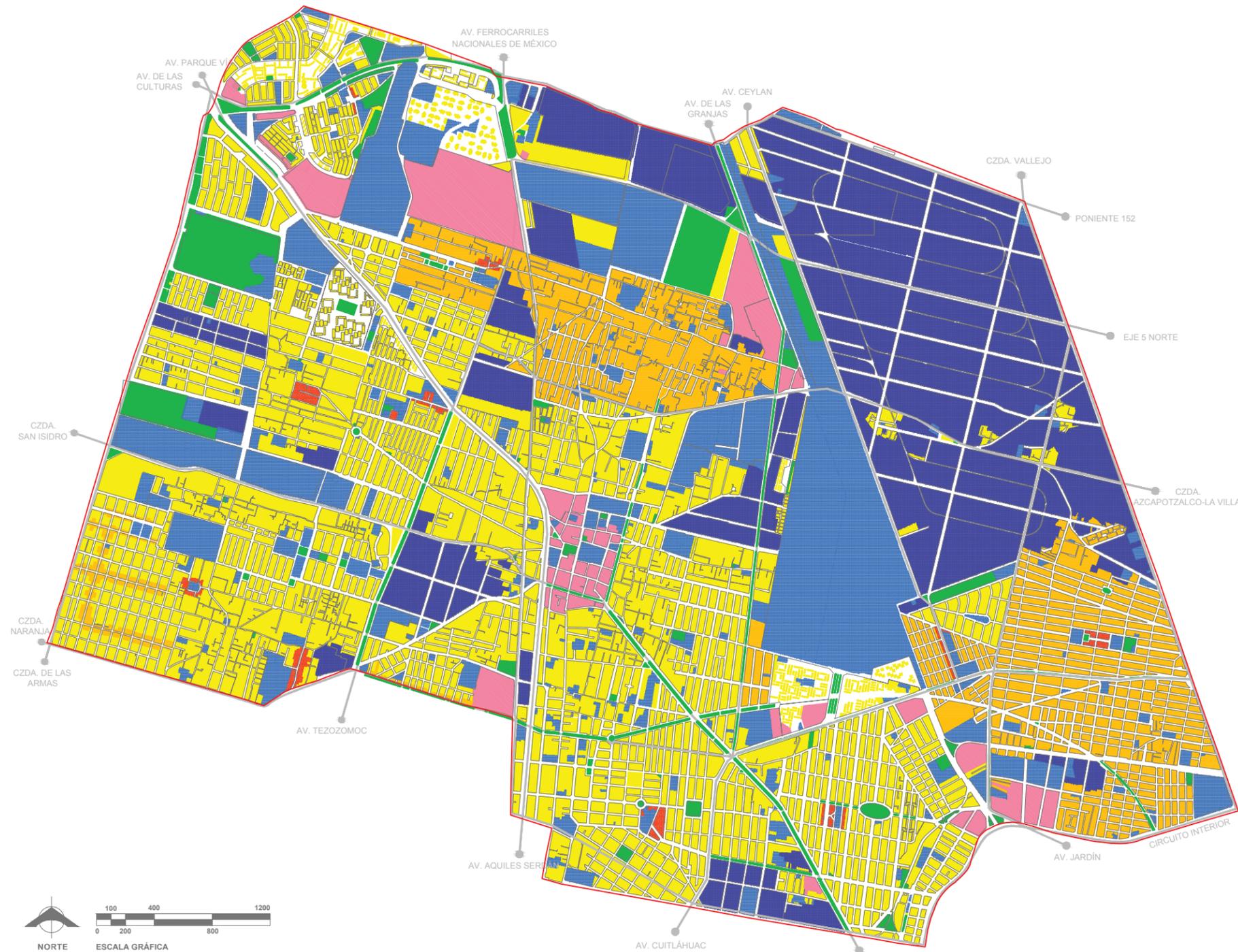
El uso de suelo de la demarcación territorial de Azcapotzalco es:⁴⁴ (**Gráfica 2.2**) (**Plano 2.2**)

- Habitacional- 42.1%
- Industrial- 21.7%
- Equipamiento- 15.5%
- Espacios abiertos- 2.9%
- Uso mixto- 17.8%



Gráfica 2.2 Uso de suelo de Azcapotzalco. Datos correspondientes al 2005. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Fuente: Adaptado de: <http://centro.paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/GODF/GODF_24_09_2008_ANEXO_01.pdf> Acceso en septiembre, 2015.

USOS DE SUELO		
CLAVE	NOMBRE	
H	HABITACIONAL	
HC	HABITACIONAL CON COMERCIO EN PLANTA BAJA	
HM	HABITACIONAL MIXTO	
E	EQUIPAMIENTO	
I	INDUSTRIA	
EA	ESPACIOS ABIERTOS	
CB	CENTRO DE BARRIO	



Plano 2.2 Usos de suelo. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2014.

Al estar Azcapotzalco totalmente urbanizada, carece de zonas de reserva desde el punto de vista ecológico, es decir, superficies destinadas a la conservación tanto de la vegetación como de la fauna.

Las áreas de valor ambiental están conformadas primordialmente por los grandes parques y jardines (Espacios Abiertos o “EA”).⁴⁵

En la demarcación, se cuenta con 100.57 ha de espacios abiertos que representan el 2.9% del territorio (**Tabla 2.1**) y que dan una relación de 2.42 m²/habitante, lo cual, comparado con la recomendación del índice verde urbano por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 9.00 a 11.00 m²/habitante⁴⁶, así como la recomendación por parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de 16.00 m²/habitante⁴⁷, hace notar que la demarcación se encuentra muy por debajo de lo sugerido.

2.3.3 Equipamiento

Azcapotzalco es una demarcación compleja, en sus límites se encuentran desde pueblos y barrios, hasta zonas industriales.

Posee una importante planta industrial, contiene el 32.8%⁴⁸ del uso de suelo industrial de la Ciudad de México y aporta el 15.04% del empleo industrial productivo, lo que la convierte en uno de los principales destinos para un sector específico de la población trabajadora de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). (**Fig. 2.6**)

⁴² Censo INEGI, (2010).

⁴³ Un *calpulli* era un clan o división que constituía la unidad fundamental de la sociedad azteca. Información disponible en: <<http://dle.rae.es>> Acceso en septiembre, 2015.

⁴⁴ Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Datos correspondientes al 2005 por no contar con datos del 2008 dentro del documento.

⁴⁵ Programa General de Desarrollo del Distrito Federal, (2013-2018).

⁴⁶ Organización Mundial de la Salud, (2012).

⁴⁷ Organización de las Naciones Unidas, (2012).

⁴⁸ Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008).

USO / AÑO	HABITACIONAL	INDUSTRIAL	EQUIPAMIENTO	ESPACIOS ABIERTOS	USO MIXTO
1997	48.7	24.7	14.5	2.9	9.2
2005	42.1	21.7	15.5	2.9	17.8
2008	S/D	21.7	S/D	2.9	S/D

Tabla 2.1 Cuadro comparativo del uso de suelo de Azcapotzalco en relación con el porcentaje destinado a los Espacios Abiertos (EA). Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Fuente: Disponible en: <http://centro.paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/GODF/GODF_24_09_2008_ANEXO_01.pdf> Acceso en septiembre, 2015.



Figura 2.6 Zona industrial de Azcapotzalco. Concentra cerca de un tercio del suelo industrial de la Ciudad de México. Fuente: Casandra Badillo, 2016.

Dentro de su zona industrial se producen productos básicos y de segunda necesidad que la población demanda, por lo que mantiene una relación trascendental con la urbe, tanto en el desarrollo social como en el económico.

La terminal de carga de los Ferrocarriles Pical-Pantaco-Aduana es el destino de las rutas de penetración de carga de bienes en la Ciudad de México, la cual se vincula a su vez con otras ciudades al norte de la República Mexicana y es punto estratégico de movilidad y almacenamiento de productos.

La demarcación territorial de Azcapotzalco, en conjunto con la de Gustavo A. Madero, contienen el 12% de los movimientos dentro de la ciudad, debido a la interacción de sus zonas industriales y a la presencia de equipamiento metropolitano.

2.3.3.1 Educación

Diversos elementos de orden público y privado se encuentran ubicados dentro de los límites territoriales, en lo que respecta a la educación pública, existen 223 planteles educativos que satisfacen la demanda: 61 preescolares, 79 primarias, 42 secundarias, 12 instituciones de nivel medio superior, además de 6 escuelas nocturnas, 8 de educación especial, 4 secundarias para trabajadores, 1 escuela abierta y 10 escuelas de desarrollo infantil.

Existen también 5 escuelas de nivel superior destacando por su importancia la Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco (UAM-A) (**Fig. 2.7**) y la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), además de que dentro de los límites de la demarcación, se encuentra el Colegio de Ciencias y Humanidades-Azcapotzalco (CCH-A) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que tiene una participación importante en la formación de jóvenes estudiantes de nivel medio superior.

En cuanto a los planteles educativos privados, existen 71 instalaciones para preescolar, 21 primarias, 6 secundarias, 3 de nivel medio superior, 2 de nivel superior y 1 de nivel posgrado; destacando en el nivel superior, las instalaciones de las universidades Tecmilenio en Ferrería y la Universidad Tecnológica de México (UNITEC) Campus Cuitláhuac en San Salvador Xochimanca.

2.3.3.2 Salud

Destaca por su importancia el Centro Médico Nacional “La Raza” (CMNR) (**Fig. 2.8**) por ser una de las unidades médicas de alta especialidad más importantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), además de la Cruz Roja de Azcapotzalco y unidades médicas de primer y segundo nivel del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) y de la Secretaría de Salud (SS), además de hospitales privados.



Figura 2.7 Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Una de las instituciones de nivel superior más importantes de Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2016.



Figura 2.8 Centro Médico Nacional “La Raza”. Es uno de los hospitales de mayor importancia a nivel nacional. Fuente: Disponible en: <<http://www.solucionpolitica.net/supera-hospital-general-la-raza-estandar-internacional-de-trasplantes/>> Acceso en septiembre, 2015.

2.3.3.3 Transporte

El transporte público que existe en Azcapotzalco se encuentra integrado por el Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM), con sus dos estaciones CETRAM (Centro de Transferencia Modal) *El Rosario* en la que conectan las líneas 6 y 7, y a través de la cual, se transportan millones de pasajeros hacia y desde el noroeste y suroeste de la ciudad, y la estación *Fortuna*, que conecta los Ferrocarriles Suburbanos (FS) con la línea 6 del STCM.

Cuenta con los Ferrocarriles Suburbanos que conectan la demarcación Cuauhtémoc con cuatro municipios del Estado de México: Tlalnepantla, Tultitlán, Cuautitlán y Cuautitlán Izcalli, pasando por la estación Fortuna ubicada en Azcapotzalco; dicho sistema de transporte masivo opera desde el año 2008, transportando millones de pasajeros diariamente e interconectando puntos demográfica y económicamente estratégicos en la ZMVM. (**Plano 2.4**)

Durante el desarrollo de la presente tesis, se llevó a cabo la construcción de la línea 6 del sistema Metrobús, ruta El Rosario-Aragón que ahora conecta las principales vías entre las demarcaciones Gustavo A. Madero y Azcapotzalco, reduciendo el tiempo de traslado y mejorando la conectividad. (**Fig. 2.9**)

Así también, Azcapotzalco cuenta con el Sistema de Movilidad 1 (SM1) y el Sistema de Transporte Eléctrico (trolebús), los cuales se complementan además con las rutas del servicio privado de taxis y colectivos (microbuses).

2.3.3.4 Espacios abiertos

Azcapotzalco cuenta con un total de 54 parques de barrio y jardines vecinales ubicados en su mayoría en las colonias Pro-Hogar, Nueva Santa María, Clavería, Centro de Azcapotzalco, Ex-Hacienda del Rosario, San Antonio y Pueblo de San Miguel Amantla,⁴⁹ espacios que para los fines de la presente investigación, son susceptibles de aplicación de los jardines de lluvia.

Además de que cuenta con la Unidad Deportiva Benito Juárez Xalpa, el Deportivo Renovación Nacional, el Deportivo Azcapotzalco-Reynosa con su Centro Acuático, el Parque Ceylán, el Jardín Miguel Hidalgo, el Parque Tezozómoc y la Alameda Norte (**Fig. 2.10**), siendo estos dos últimos, importantes espacios abiertos de la Ciudad de México. (**Plano 2.3**)



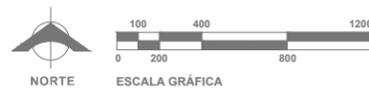
Figura 2.9 Metrobús estación Ferrocarriles Nacionales. La línea 6 del Metrobús comunica con sus 37 estaciones la demarcación Azcapotzalco con Gustavo A. Madero. Fuente: *Cassandra Badillo*, 2016.



Figura 2.10 Alameda Norte. Un importante espacio abierto de la ciudad. Fuente: Disponible en: <http://cdmxtravel.com/es/lugares/alameda-del-norte.html> Acceso en septiembre, 2015.

⁴⁹ Programa General de Desarrollo del Distrito Federal, (2013-2018).

ESPACIOS ABIERTOS	
CLAVE	NOMBRE
EA	ESPACIOS ABIERTOS



Plano 2.3 Espacios abiertos. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2014.

2.3.3.5 Cultura

Dispone de 21 instalaciones públicas destacando: la Casa de la Cultura Azcapotzalco (**Fig. 2.11**), el Foro Cultural Azcapotzalco, el Salón Pagés Llergo, el Club Tlatilco para la Tercera Edad, el Salón y Foro Abierto de la Petrolera, el Foro al Aire Libre de la Alameda Norte, la Plaza Cívica Delegacional y los teatros al aire libre Juan N. Torreblanca y Parián.

Recientemente en el año 2012, fue inaugurada la Arena Ciudad de México, recinto cultural utilizado para espectáculos, eventos deportivos y otros; con grandes expectativas y una generosa inversión inicial, se espera que en pocos años se convierta en un detonante económico de la zona, que atraiga futuras inversiones para la modernización de otros sectores.

2.3.3.6 Asistencia social

Cuenta con 15 centros de desarrollo comunitario, 3 casas hogar para ancianos, 1 centro especial, 1 centro contra las adicciones, 1 centro de atención para menores en riesgo, 2 centros de integración juvenil, 1 centro de personas con discapacidad, 3 centros sociales y actividades comunitarias y 3 unidades de Desarrollo Integral de la Familia (DIF).

2.3.3.7 Servicios urbanos

Por su extensión territorial sobresale el Panteón Civil de San Isidro siendo el tercero más grande en la Ciudad de México.

Cuenta además con 3 unidades de corralón, 7 juzgados, 1 archivo histórico, 9 oficinas pertenecientes a otras áreas de la demarcación, en donde se atienden diversos trámites, 23 bodegas y 8 campamentos.

En el aspecto comercial, cuenta con 20 mercados públicos y 11 centros comerciales y de autoservicio.

2.3.3.8 Vialidades

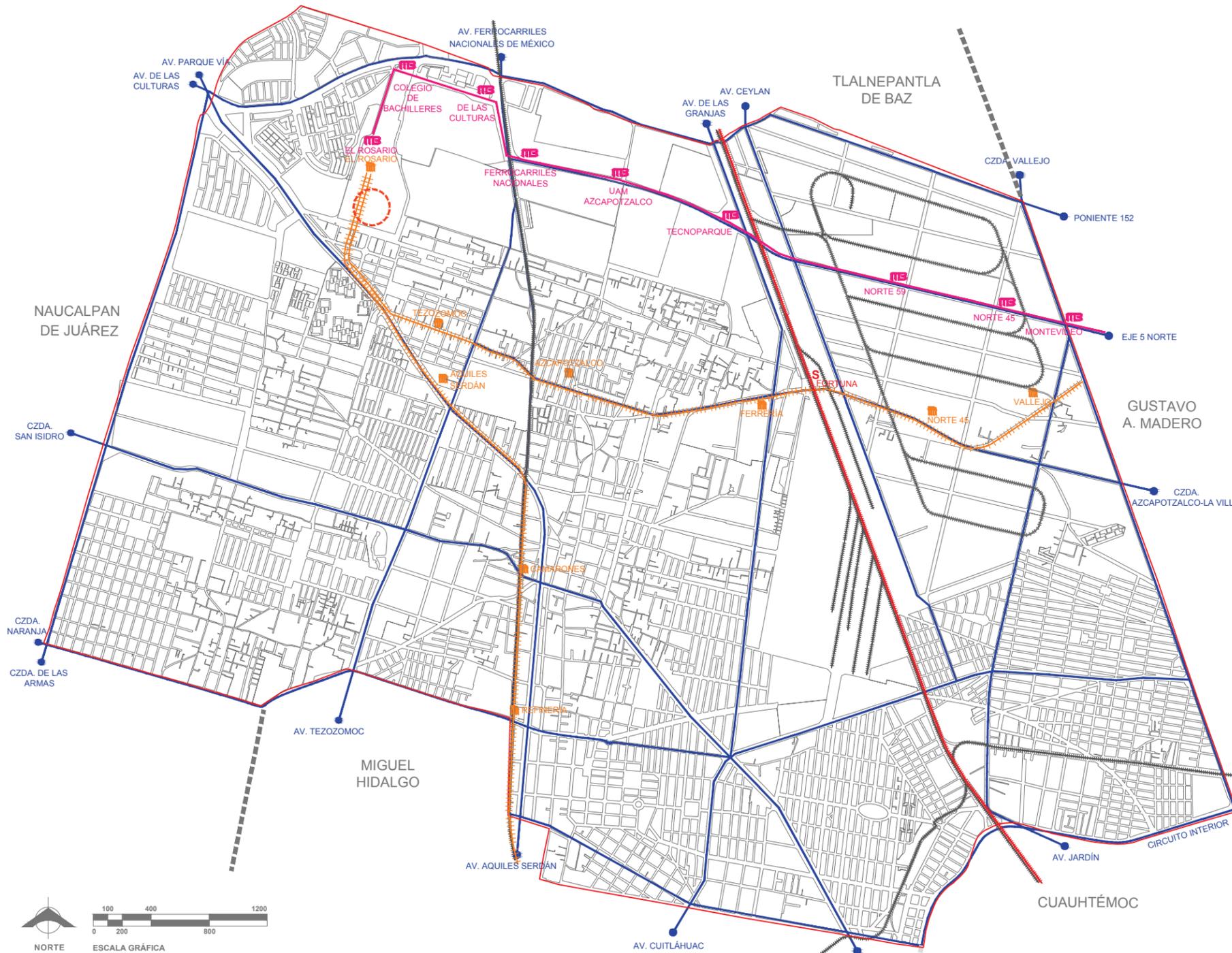
Existen importantes vialidades en Azcapotzalco, sin las cuales, el sistema vial de la ciudad no sería el mismo, tal es el caso de la Av. Río Consulado como parte del Circuito Interior, considerada una de las seis vías rápidas de la ciudad y la Av. Aquiles Serdán, una arteria principal de la misma. (**Fig. 2.12**)



Figura 2.11 Casa de la Cultura Azcapotzalco. El inmueble de valor histórico alberga el recinto donde se realizan exposiciones y se imparten talleres y cursos. Fuente: Casandra Badillo, 2015.



Figura 2.12 Av. Aquiles Serdán. Uno de los principales conectores viales en la Ciudad de México. Fuente: Casandra Badillo, 2015.



NOMBRE	
PRINCIPALES VIALIDADES	
[Blue line]	VIALIDAD
[Dashed line]	LÍMITE ENTIDAD FEDERATIVA
[Red line]	LÍMITE DEMARCACIÓN
TRANSPORTES	
[Orange line]	CETRAM
[Yellow line]	METRO
[Pink line]	METROBÚS
[Red line]	FERROCARRILES SUBURBANOS
[Black line]	VÍAS FÉRREAS

Existen también, avenidas que desempeñan un papel esencial en la comunicación de los extremos de la ciudad, tal es el caso de la Av. Vallejo, que enlaza el principal sector industrial de la ciudad en sentido norte-sur, la Calzada Azcapotzalco-La Villa conectando la demarcación con Gustavo A. Madero; también, la Calzada Camarones, que conecta el centro de Azcapotzalco con las instalaciones de la Unidad Profesional “Lázaro Cárdenas” del Instituto Politécnico Nacional y posteriormente también con el Circuito Interior, interconectando así la demarcación con su homóloga Miguel Hidalgo. **(Plano 2.4)**

Plano 2.4 Principales vialidades y transportes. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008) y del Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, (2009-2012). Autor: Casandra Badillo, 2014.

2.4 PROBLEMÁTICA HÍDRICA Y SU RELACIÓN CON LOS SERVICIOS

Para abordar la problemática hídrica presente en Azcapotzalco se utilizó el *Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, (2009-2012)*, la *Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, (2002)* y el *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008)*.

Se decidió abordar la problemática hídrica pues es un tema de actualidad que afecta seriamente el desarrollo de la demarcación y de la Ciudad de México de manera generalizada, además de que está estrechamente relacionada con el tema de investigación de la presente tesis y es donde el fundamento de la misma, podría realizar aportes que contribuyan a la mejoría del aprovechamiento del recurso hídrico.

2.4.1 Extracción

La extracción de agua del subsuelo es uno de los factores que afectan seriamente a la demarcación Azcapotzalco, de acuerdo con datos obtenidos de la *Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, (2002)*, el volumen total de extracción para el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México (AZMCM) era de 507,364,770 m³ anuales, de los cuales Azcapotzalco extrajo 39,168,275 m³ anuales, que representan el 7.71% de la extracción total anual. (**Fig. 2.13**)

Si a lo anterior se suma, que el agua del AZMCM presenta un déficit en relación al agua que logra recargar, con aquella que es extraída anualmente, donde se calcula una sobreexplotación del 22%⁵⁰ y en donde según datos de la *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México (0901), Distrito Federal, (2015)*, la recarga inducida al AZMCM mediante pozos de inyección o áreas de riego es considerada nula, dejando en evidencia la falta de un balance hídrico que comprometerá cada vez más el agua subterránea de la CDMX.

Así también, la misma extracción está ocasionando que el nivel freático, antes disponible a escasos metros de la superficie, ahora oscile entre los 3.00 m y 10.00 m del nivel de suelo en la demarcación.⁵¹

Adicionado a todo lo anterior, el agua subterránea presente en la demarcación es de mediana calidad, donde, según estudios realizados en diversos pozos de muestreo, indican una alcalinidad que fluctúa entre las 100 y 300 ppm, mostrando así la presencia de minerales disueltos; un pH entre 6.9 y 7.8 indicando que es una zona de poco flujo al no recibir suficientes infiltraciones de agua de lluvia; los sólidos totales en el territorio varían desde las 100 ppm hasta 800 ppm en ciertas zonas de la demarcación, demostrando así, el arrastre de sólidos provenientes de la Sierra de Guadalupe; la concentración



Figura 2.13 Pozo de agua. El agua que se extrae en la demarcación proviene generalmente de pozos locales, no obstante, si se continúa extrayendo el recurso sin recargar los mantos freáticos, el agua se agotará y deberán hacerse perforaciones más profundas. Es por eso, que es vital proponer fuentes alternativas de obtención y a la vez, estrategias innovadoras de recarga. Fuente: Disponible en: <http://guiamexico.com.mx/empresas/pozos-y-bombas-peimbert-s-a-de-c-v-reparacion-de-bombas-sumergibles.html> Acceso en septiembre, 2015.

de sodio alterna entre 25 ppm hasta 125 ppm, exponiendo la baja presencia de arcillas subterráneas; el nitrógeno amoniacal demuestra la presencia de descargas de aguas residuales de 0.0625 ppm en la mayor parte de la demarcación hasta 0.5 ppm en la zona colindante con la demarcación Gustavo A. Madero y su zona cerril con deficiencias en la infraestructura sanitaria; presenta concentraciones de hierro de 0.0625 en el 90% de la extensión territorial y 0.125 en la zona colindante con Gustavo A. Madero, expresando la baja concentración de arcillas en el subsuelo y donde la concentración de cloruros varía de 10 a 150 ppm, demostrando la presencia de ciclos de evaporación e inundación periódicos.⁵²

También, para corroborar los datos presentados, se consultó la Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas⁵³, donde queda establecido que el suelo correspondiente a la demarcación, está clasificado como material no consolidado con posibilidades altas y medias, se tiene presencia de un área de concentración de pozos en el límite delegacional en el lado poniente y la existencia de un canal subterráneo que desaparece a la altura de la UAM-Azcapotzalco.

Es por todos los motivos anteriores, que se puede concluir que Azcapotzalco presenta un déficit hidrológico subterráneo, pues extrae cantidades mayores de agua del subsuelo de la que consigue recargar, por lo cual, es necesario participar con estrategias que logren recargar artificialmente los mantos freáticos de la demarcación, proponiendo el uso de los jardines de lluvia para dicho fin.

2.4.2 Agua potable

En materia de agua potable, la demarcación presenta una cobertura en el servicio del suministro del 100%.⁵⁴ (**Fig. 2.14**)

Sin embargo, existen unidades territoriales en donde el servicio es discontinuo e incluso falta el agua por períodos considerables, tales colonias son Santiago Ahuizotla, San Pedro Xalpa, San Sebastián y Sindicato Mexicano de Electricistas.⁵⁵ (**Plano 2.5**)

En Azcapotzalco, el suministro de agua potable captado desde fuentes externas, así como el volumen de agua extraída en fuentes internas, comprendía hasta el año 2009 una dotación promedio de 611 litros/habitante/día. Dicho indicador, comparado con la Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico, (2011), en donde se establece que la dotación mínima y recomendada para consumo es de 150 litros/habitante/día, hace ver que el suministro del agua potable cuenta con un volumen más que suficiente para satisfacer las necesidades de la población.



Figura 2.14 Agua potable. El servicio tiene cobertura del 100% en la demarcación, sin embargo, la falta del recurso por períodos determinados es una realidad presente que se incrementará en un futuro cercano. Fuente: Disponible en: <<http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/385546-miles-son-abastecidos-agua-potable-cisternas-escas/>> Acceso en septiembre, 2015.



COLONIAS CON FALTA DE AGUA OCASIONAL	
N°	NOMBRE
1	Santiago Ahuizotla
2	San Pedro Xalpa
3	San Sebastián
4	Sindicato Mexicano de Electricistas



Plano 2.5 Colonias con falta de agua ocasional. Fuente: Adaptado del Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, (2009-2012).
 Autor: Casandra Badillo, 2014.

2.4.3 Contaminación del agua

En Azcapotzalco la mayor **contaminación del agua** se origina a partir del uso del agua potable, la cual, una vez servida es vertida al drenaje sin ningún tratamiento, generando muchas veces la saturación del mismo.

Las principales fuentes de contaminación son las siguientes:

- Contaminación por uso doméstico: los contaminantes más frecuentes dentro de este tipo son: materia orgánica, detergentes y jabones, blanqueadores, limpiadores líquidos y sólidos, desinfectantes y colorantes.
- Contaminación por uso industrial: la zona industrial presenta un limitado uso de agua tratada, utilizando agua potable y contaminándola con la materia prima utilizada en sus procesos o por sustancias resultantes de los mismos.
- Contaminación por uso en servicios: el agua potable utilizada para la prestación de servicios dentro de la demarcación, es contaminada en su mayoría por: materia orgánica, aceite, grasas, detergentes, jabones, desinfectantes, blanqueadores, tintes, colorantes, solventes y aceites minerales.
- Contaminación por uso en comercios: los contaminantes principales que están presentes en el agua usada en estas actividades son: materia orgánica, jabones, detergentes, desinfectantes, grasas y aceites.⁵⁶

2.4.4 Drenaje

El sistema de alcantarillado presenta una cobertura del 100% del límite territorial, satisfaciendo las necesidades de la población.⁵⁷

En términos generales, se han instalado sistemas adecuados para la captación de las aguas residuales, apoyándose en 30 colectores que captan y conducen las aguas residuales en el sentido del escurrimiento de norte a sur y de poniente a oriente.

Se dispone de una planta de bombeo de aguas negras con capacidad de 3 m³/segundo, así como una serie de cuatro tanques de tormenta que manejan una capacidad de almacenamiento de 49,613 m³, complementándose con un total de 8 bombas con una capacidad de 1,630 litros/segundo, utilizadas para regular el excedente que en algunas ocasiones presentan los colectores.

En materia de agua residual tratada, se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales denominada “El Rosario” cuya capacidad es de 25 litros/segundo produciendo anualmente 510 m³ de agua tratada.

No obstante que la demarcación cuenta con una cobertura total de infraestructura de drenaje, en época de lluvias se presentan problemas de encharcamientos e inundaciones en algunas zonas de la jurisdicción, ocasionados por la insuficiencia de las tuberías y el mal funcionamiento del sistema de drenaje, exhibiendo como causa fundamental, la existencia de contrapendientes en las mismas, producidas por los asentamientos diferenciales y regionales sufridos en el terreno.

⁵⁰ Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años, (2012).

⁵¹ Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años, (2012).

⁵² Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años, (2012).

⁵³ Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas *Ciudad de México* (E14-2), escala 1:250,000, INEGI.

⁵⁴ Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, (2009-2012)

⁵⁵ Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, (2009-2012)

⁵⁶ Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, (2009-2012)

⁵⁷ Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, (2009-2012)

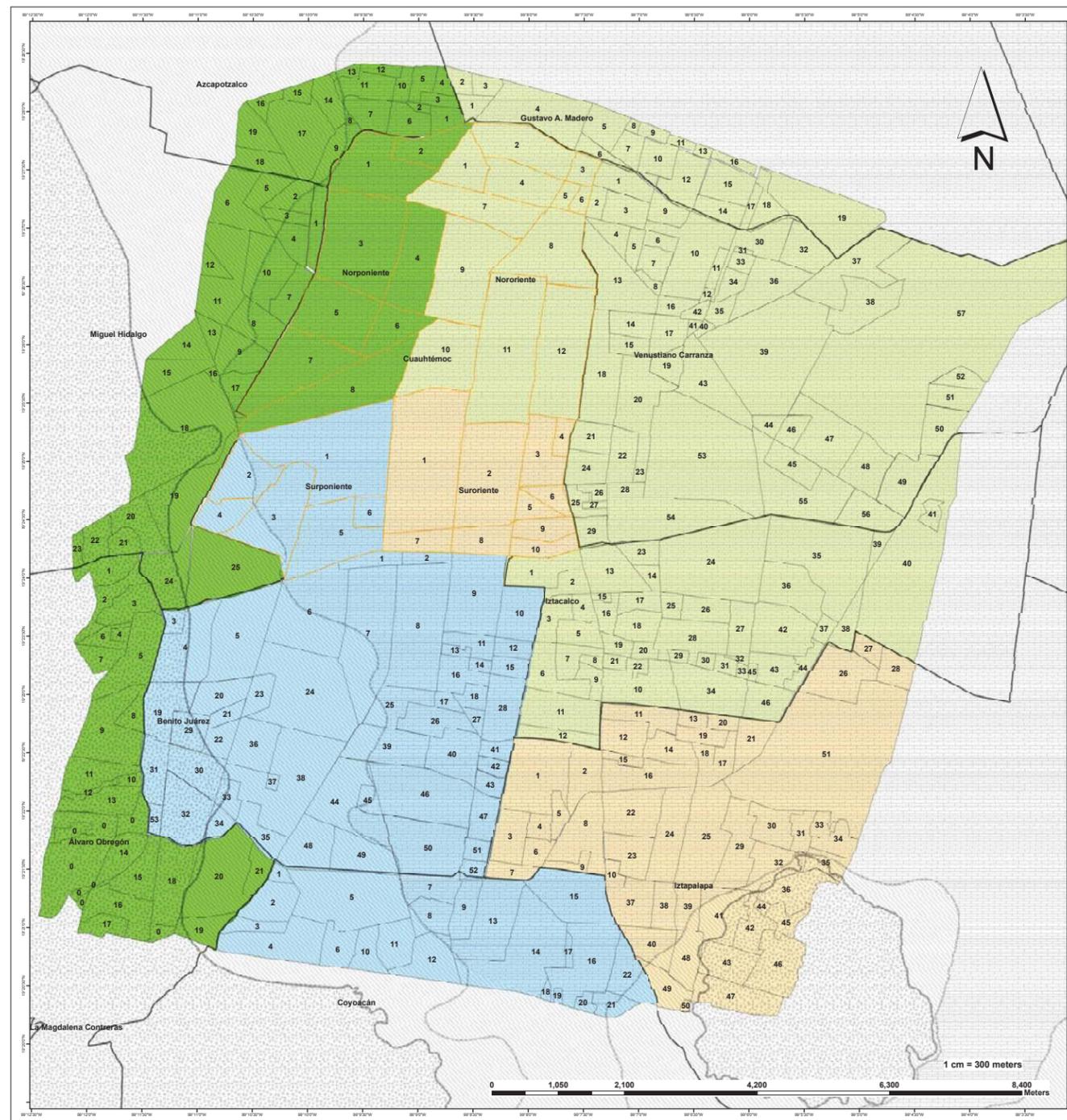
2.5 RIESGOS Y VULNERABILIDAD

La demarcación Azcapotzalco está sometida a riesgos de origen geomorfológico, hidrometeorológico y sanitario-ecológico, todos relacionados con el agua y con las metodologías incorrectas que han sido utilizadas para obtenerla, canalizarla y desalojarla.

Si bien la vulnerabilidad geomorfológica se presenta de forma natural, pues es parte de la conformación del terreno sobre el que está asentada la demarcación, se ve agravada al extraer constantemente y en grandes cantidades, agua de los pozos subterráneos dentro de los límites territoriales; así también, la posibilidad de padecer riesgos de origen hidrometeorológico que tienen una base en la naturaleza, es un hecho que podrían verse disminuidos si se diera apoyo al sistema de drenaje convencional, mediante sistemas que logren retener el agua y canalizarla con lentitud a la red general o aprovecharla en otros usos.

Aunque los riesgos de origen sanitario-ecológico, tienen una base totalmente antropogénica, son mencionados pues también, podrían hacer uso de los sistemas presentados, para disminuir la vulnerabilidad a la que someten a la población de Azcapotzalco.

Los datos anteriores fueron obtenidos del *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco*, (2008), en apoyo con datos presentados por la Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE) de la Ciudad de México.



Azcapotzalco		
# COL.	COLONIAS	ZONA SISMICA ÁREA_KM²
1	LA RAZA	Z3 / 0.202
2	PATRIMONIO FAMILIAR	Z3 / 0.043
3	SN FRANCISCO XOCOTTLA	Z3 / 0.117
4	PORVENIR	Z3 / 0.114
5	ALDANA	Z3 / 0.183
6	ARENAL	Z3 / 0.307
7	AMPL DEL GAS	Z3 / 0.322
8	ALLENDE	Z3 / 0.018
9	TLATILCO	Z2 / 0.322
10	LIBERACION	Z3 / 0.130
11	DEL GAS	Z3 / 0.334
12	AGUILERA	Z3 / 0.103
13	AMPL COSMOPOLITA	Z3 / 0.074
14	VICTORIA DE LAS DEMOCRACIAS	Z2 / 0.283
15	HOGAR Y SEGURIDAD	Z2 / 0.126
16	SAN BERNABE	Z2 / 0.119
17	NVA STA MARIA	Z2 / 0.893
18	SAN SALVADOR XOCHIMANCA	Z2 / 0.328
19	OBREIRO POPULAR	Z2 / 0.340

Zonificación del DF

- Zona I Lomas:
Formadas por rocas o suelos generalmente firmes.
- Zona II Transición:
Los depósitos profundos están a 20 m
- Zona III Lacustre:
Integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible

Zonas de Actuación Prioritarias 347 Colonias

- Zona Poniente
- Zona Norte
- Zona Sur
- Zona Oriente
- Zona Centro
 - Cuauhtémoc Nororiental
 - Cuauhtémoc Norponiente
 - Cuauhtémoc Suroriental
 - Cuauhtémoc Surponiente

2.5.1 Origen geomorfológico

Conforme a la zonificación geotécnica del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, (2004) y en virtud de que los eventos sísmicos que inciden con mayores daños, son aquellos que suceden en zona geotécnica lacustre (clasificación III) ⁵⁸, el 30% de la demarcación se encuentra en condición de peligro sísmico alto. (Fig. 2.15)

Debido a la plasticidad del suelo, relacionada con la extracción de agua y al paso continuo de vehículos pesados, se han reportado tanto en las inmediaciones de las áreas de uso intenso donde circula el tráfico pesado, como en la zona de Pantaco y en Industrial Vallejo, desniveles y pequeños agrietamientos que afectan principalmente a pavimentos, tuberías de agua, alcantarillado y viviendas contiguas, ocasionados por las vibraciones producidas por los vehículos.

Este efecto ha tenido repercusiones también en la infraestructura, muy particularmente en el alcantarillado y en las tuberías, que en diversas partes de la demarcación, observan contrapendientes o continuas fracturas, exponiendo a la población a riesgos de índole sanitaria por la contaminación de mantos freáticos o por el simple encharcamiento de los residuos. ⁵⁹

Figura 2.15 Mapa de zonificación geotécnica. Fuente: Disponible en: <http://www.obras.cdmx.gob.mx/contingencia/plano_zonificacion.pdf> Acceso en septiembre, 2015.

2.5.2 Origen hidrometeorológico

Dentro de la diversidad de afectaciones existentes, las de origen hidrometeorológico son las que más daños causan, debido a su incidencia periódica.

Este tipo de fenómenos destructivos comprende: inundaciones, granizadas, lluvias torrenciales, temperaturas extremas, tormentas eléctricas, entre otros.

En el caso de la demarcación, se considera debido a su topografía, que los riesgos de este tipo son básicamente los encharcamientos e *inundaciones*,⁶⁰ provocados en la vía pública por períodos de máxima precipitación y que llegan a generar primordialmente caos vial.

Existen 12 unidades territoriales o zonas específicas con riesgo: Santiago Ahuizotla, Nueva Santa María, San Pedro Xalpa, Pro-Hogar, Unidad Cuitláhuac, Industrial Vallejo, El Rosario, San Salvador Xochimanca, Clavería, Conjunto Manuel Rivera Anaya, Santo Tomás y Tlatilco.

Los encharcamientos frecuentes suceden a lo largo de la Av. Tezozómoc y en las unidades territoriales: San Miguel Amantla, Santa Lucía, Industrial San Antonio, Ampliación Petrolera, Tezozómoc, La Preciosa, Santo Domingo y en El Rosario.⁶¹

Conforme a los eventos pluviales ocurridos en los últimos años, las principales vialidades con tendencia a encharcamientos leves causados por el taponamiento de las coladeras son: Av. Cuitláhuac, Av. de las Granjas, Av. Ceylán y Eje 3 Norte, además, por su cercanía con el río Hondo, la Calzada de las Armas presenta una gran vulnerabilidad en temporada pluvial.

Las colonias con mayor historial de inundación son: Libertad, Nextengo, San Mateo, Pro-Hogar, Santa Lucía, El Rosario, Providencia, Santa Apolonia y Ampliación San Pedro Xalpa.⁶² (**Plano 2.6**) (**Plano 2.7**)

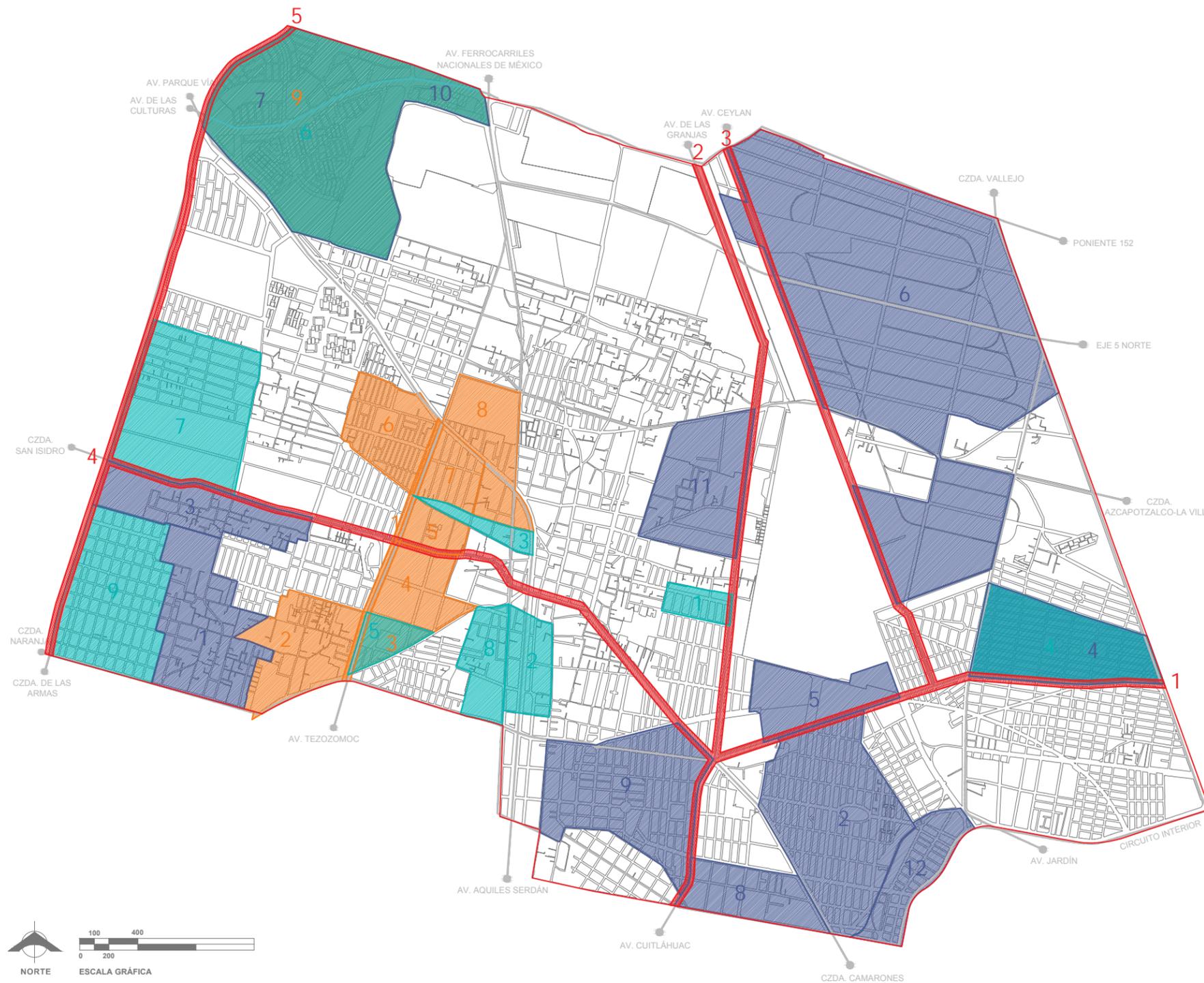
⁵⁸ Información disponible en: <http://www.obras.df.gob.mx/contingencia/plano_zonificacion.pdf> Acceso en septiembre, 2015.

⁵⁹ Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008).

⁶⁰ De acuerdo con el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), se considera *inundación* al flujo o a la invasión de agua por exceso de escurrimientos superficiales o por acumulación en terrenos planos ocasionada por falta o insuficiencia de drenaje, tanto natural como artificial.

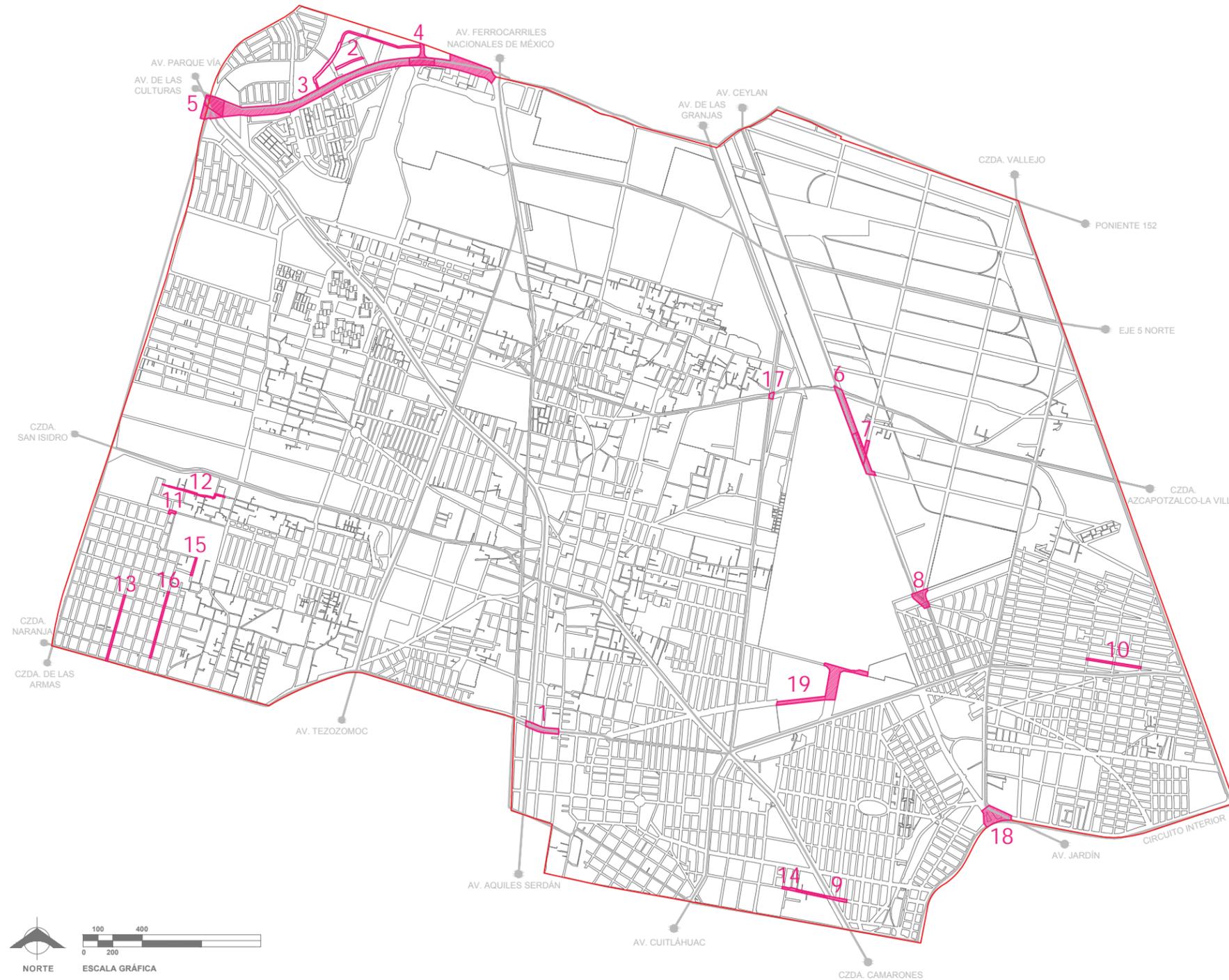
⁶¹ Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008).

⁶² Información disponible en: <<http://www.sdpnoticias.com/notas/2011/07/01/descartan-desbordamiento-del-rio-hondo-en-azcapotzalco>> Acceso en septiembre, 2015.



N°	NOMBRE
UNIDADES TERRITORIALES CON RIESGO A INUNDACIONES	
1	Santiago Ahuizotla
2	Nueva Santa María
3	San Pedro Xalpa
4	Pro-Hogar
5	Unidad Cuitláhuac
6	Industrial Vallejo
7	El Rosario
8	San Salvador Xochimanca
9	Clavería
10	Conjunto Manuel Rivera Anaya
11	Santo Tomás
12	Tlatilco
ENCHARCAMIENTOS FRECUENTES	
1	Av. Tezozómoc
2	San Miguel Amantla
3	Santa Lucía
4	Industrial San Antonio
5	Ampliación Petrolera
6	Tezozómoc
7	La Preciosa
8	Santo Domingo
9	El Rosario
VIALIDADES CON TENDENCIA A ENCHARCAMIENTOS	
1	Av. Cuitláhuac
2	Av. de las Granjas
3	Av. Ceylán
4	Eje 3 Norte
5	Calzada de las Armas
COLONIAS CON HISTORIAL DE INUNDACIÓN	
1	Libertad
2	Nextengo
3	San Mateo
4	Pro-Hogar
5	Santa Lucía
6	El Rosario
7	Providencia
8	Santa Apolonia
9	Ampliación San Pedro Xalpa

Plano 2.6 Principales inundaciones en Azcapotzalco. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2014.



PRINCIPALES ENCHARCAMIENTOS O INUNDACIONES DETECTADOS EN EL PROGRAMA HIDRÁULICO 2000			
N°	UNIDAD TERRITORIAL	TIPO	CAUSA
1	Clavería	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Entre Aquiles Serdán y Heliópolis		
2	El Rosario	Calles	Insuficiencia de red de drenaje
	Orión; Mercaderes y Tejedores		
3	El Rosario	Calle	Insuficiencia de red de drenaje
	Av. de las Culturas y Eje 5 Norte		
4	El Rosario	Cruce	Insuficiencia de red de drenaje
	Av. de las Culturas y Cultura Griega		
5	El Rosario	Cruce	Insuficiencia de red de drenaje
	Aquiles Serdán y Av. de las Culturas		
6	Industrial Vallejo	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Av. Ceylán, entre Calzada Azcapotzalco y Poniente 116		
7	Industrial Vallejo	Cruce	Insuficiencia de colector de 0.60 m de ø
	Av. Ceylán y Norte 59		
8	Industrial Vallejo	Cruce	Insuficiencia de red de drenaje
	Av. Ceylán y Norte 45		
9	Nueva Santa María	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Clavel, entre Piñón y Juan Sarabia		
10	Pro Hogar	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	15, entre 16 y 24		
11	San Pedro Xalpa	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Manuel Bauche, entre Elpidio Cortés y Abraham Sánchez		
12	San Pedro Xalpa	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Francisco Javier Mina, entre Lázaro Cárdenas y Juan Sierra		
13	San Pedro Xalpa	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Adrián Castrejón, entre Calzada de la Naranja y Plutarco Elías Calles		
14	San Salvador Xochimanca	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Poniente 44, entre Norte 55 y Calzada Camarones		
15	Santiago Ahuizotla	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Rosas Moreno, entre Francisco Bertani y 2da. Priv. De Rosas		
16	Santiago Ahuizotla	Tramo	Insuficiencia de red de drenaje
	Emilio Carranza, entre Francisco I. Madero y José Cardel		
17	Santo Tomás	Cruce	Insuficiencia de red de drenaje
	Granjas y Calzada Azcapotzalco la Villa		
18	Tlatilco	Cruce	Insuficiencia de red de drenaje
	Jardín y Circuito Interior		
19	Unidad Cuitláhuac	Calles	Azolvamiento de tanques de tormenta
	Salónica, entre Rabaul y Av. de las Nueces		

Plano 2.7 Principales encharcamientos detectados en el Programa Hidráulico 2000. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2014.

2.5.3 Origen sanitario-ecológico

Debido a que Azcapotzalco es una demarcación con una gran planta industrial y de alto flujo vehicular, la presencia de agentes contaminantes con índices superiores a los límites tolerables, es un evento común que provoca desequilibrio ecológico y daño a la salud de la población. (**Tabla 2.2**) (**Tabla 2.3**)

CONTAMINANTE		UNIDAD DE MEDIDA	ZONA NOROESTE	AZCAPOTZALCO	NOM
O ₃	Ozono	Ppm/hora	0.008-0.163	0.20-0.25 ^{2.1}	0.11 ^{3.1}
NO ₂	Dióxido de nitrógeno	Ppm	0.01-0.15	0.13-0.19 ^{2.1}	0.21 ^{3.2}
CO	Monóxido de carbono	Ppm	0.30-3.00	8-11 ^{2.1}	11 ^{3.3}
SO ₂	Dióxido de azufre	Ppm	0.00-0.079	0.12-0.14 ^{2.1}	0.11 ^{3.4}
PST**	Partículas suspendidas totales	µg/m ³ /24h	34-236	380-420 ^{2.2}	210 ^{3.5}
PM ₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros	µg/m ³ /24h	16-119	48.2 ^{2.3}	75 ^{3.6}
PM _{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros	µg/m ³ /24h	6-50	26.2 ^{2.3}	45 ^{3.7}
FUENTE:			1	2	3

CONTAMINANTE	PRINCIPAL FUENTE DE EMISIÓN	TIPO	EFFECTOS NOCIVOS A LA SALUD
O ₃	Industria	Fuente fija	Irritación en ojos y garganta
NO ₂	Vehículos motorizados	Fuente móvil	Enfermedades respiratorias
CO	Taxis, microbuses, vehículos particulares	Fuente móvil	Intoxicación por monóxido de carbono que dependiendo de la cantidad inhalada, puede llegar a ser mortal
SO ₂	Industria	Fuente fija	Enfermedades respiratorias, precursor de la lluvia ácida que afecta la salud de la población
PST (Incluye PM ₁₀ y PM _{2.5})	Industria (producción de acero y cemento)	Fuente fija	Enfermedades respiratorias
Residuos sólidos	Industria, asentamientos humanos	Fuente fija	Enfermedades gastrointestinales Fauna nociva que afecta la salud de la población

Tabla 2.3 Principales contaminantes de Azcapotzalco. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008).

Tabla 2.2 (izquierda) Cuadro comparativo de los principales contaminantes atmosféricos (volúmenes de concentración máxima y mínima) entre la zona noroeste de la Ciudad de México, la estación Azcapotzalco y la Norma Oficial Mexicana (NOM).

¹ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI), (2014). *Cuaderno estadístico y geográfico de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2014*. INEGI. México. Volúmenes de concentración máxima y mínima de los principales contaminantes atmosféricos en las estaciones de registro de la zona metropolitana de la Ciudad de México por zona 2013, p. 64.

Disponible en: <http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/valle_mex/702825068318.pdf> Acceso en septiembre, 2015.

² Estación Camarones (CAM), Azcapotzalco, Ciudad de México.

N° ID: 484090020301, Domicilio: Malvón No. 20, Col. Hogar y seguridad, C.P. 02820, Subred: RAMA.

^{2.1} Los datos corresponden al Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). p. 42. Disponible en: <http://centro.paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/GODF/GODF_24_09_2008_ANEXO_01.pdf> Acceso en septiembre, 2015.

^{2.2} El dato corresponde a la Estación Tlalnepantla (TLA) que es la única en la zona con capacidad para medir el contaminante.

^{2.3} El dato corresponde a la información obtenida de Calidad del aire en la Ciudad de México, informe 2014. (2014). Estación Camarones (CAM) p. 66-67. Disponible en: <http://sedema.df.gob.mx/flippingbook/informe_anual_calidad_aire_2014/informe-calidad-aire-2014.pdf> Acceso en septiembre, 2015.

³ Norma Oficial Mexicana (NOM)

^{3.1} Norma Oficial Mexicana-NOM-020-SSA1-2014 (Norma: 0.110 partes por millón)

^{3.2} Norma Oficial Mexicana-NOM-023-SSA1-1993 (Norma: 0.21 partes por millón)

^{3.3} Norma Oficial Mexicana-NOM-021-SSA1-1993 (Norma: 11.00 partes por millón)

^{3.4} Norma Oficial Mexicana-NOM-022-SSA1-2010 (Norma: 0.110 partes por millón)

^{3.5} Norma Oficial Mexicana-NOM-025-SSA1-1993 (Norma: PST: 210 microgramos por metro cúbico) **

**El término está derogado

^{3.6} Norma Oficial Mexicana-NOM-025-SSA1-2014 (Norma: PM10: 75 microgramos por metro cúbico)

^{3.7} Norma Oficial Mexicana-NOM-025-SSA1-2014 (Norma: PM2.5: 45 microgramos por metro cúbico)

Fuente: Disponible en: <<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc='ZaBhnmI'&dc=Yw==>> Acceso en septiembre, 2015.

Es un hecho que tras eventos prolongados, la lluvia logra arrastrar a su paso una proporción de partículas contaminantes con diámetros mayores a PM_{10} ; sin embargo, el contar con mecanismos como los jardines de lluvia que logren retener parte de esos contaminantes una vez que hacen contacto con el suelo, mediante agentes fitorremediadores que capturen e impidan el paso de los contaminantes a nivel subsuelo o antes de entrar en contacto con agua que no ha sido contaminada, es una estrategia que permitirá obtener una mejor calidad de agua pluvial y mitigar los efectos de la contaminación atmosférica en las urbes.

Aunado a la alta contaminación del aire, en Azcapotzalco pueden darse condiciones de encharcamientos de duración prolongada que pueden provocar la proliferación de fauna nociva generando riesgo sanitario en la población, un área en el que se presenta este problema con frecuencia, son los sitios de mantenimiento del ferrocarril; también, la ruptura de las redes de alcantarillado, provoca encharcamientos de aguas negras, emanando malos olores, contaminando mantos freáticos y poniendo en riesgo la salud de las personas.

Contribuir con estrategias como los jardines de lluvia que consideran al paisaje como parte de la infraestructura misma, permitirá que las inundaciones se vean atenuadas y que el riesgo a padecerlas sea menor, al localizar cada una de estas herramientas, sobre áreas estratégicas que han sido detectadas con problemática previa.

2.6 USO POTENCIAL Y SU RELACIÓN CON EL FUTURO

Azcapotzalco es considerada una zona de crecimiento y con gran potencial de desarrollo, proyecciones que datan de 1976 a 1979, anunciaban un incremento en la intensidad del uso de suelo y un futuro en el que existiría deficiencia de agua.⁶³

Ahora, 40 años después, el pronóstico se ha convertido en una realidad: cada año se desarrollan nuevas y densas unidades habitacionales y se establecen nuevas o crecientes industrias en la zona de Vallejo y Pantaco, lo anterior, aunado al crecimiento generalizado de la urbe, está provocando una demanda creciente del recurso agua, en donde una parte de la población, empieza a resentir su deficiencia por determinados periodos anuales.

Dentro de las áreas con mayor potencial de desarrollo, se encuentran los Almacenes Nacionales de Depósito S.A. (ANDSA), la terminal de carga de los ferrocarriles de Pantaco y la zona industrial de Vallejo, que con un correcto y oportuno uso del suelo, podrían convertirse en importantes zonas que detonarían el crecimiento económico de la demarcación.

No obstante del importante crecimiento que está teniendo la demarcación, presenta así mismo numerosos problemas ecológicos estrechamente relacionados con la vulnerabilidad natural que sufre, pero también, con el daño antropogénico causado, donde en el contexto y en las situaciones ya descritas, surge la aplicación de los jardines de lluvia como una estrategia paisajística, para recalificar las áreas verdes y aprovechar el agua pluvial desde una perspectiva integral, evitando que el escurrimiento sea canalizado hacia el drenaje, saturando la red y mezclando el importante recurso hídrico con aguas servidas.

Se plantea la aplicación de los jardines de lluvia como una técnica para el manejo de las aguas pluviales urbanas, cuyos beneficios podrían verse reflejados en la mitigación de las inundaciones, en impedir la saturación del sistema de drenaje, en recargar los mantos freáticos, en favorecer la implementación de ecosistemas saludables que respeten el ciclo hidrológico natural, entre muchos otros beneficios sociales, ambientales y económicos.

Para proponer el uso de los jardines de lluvia como estrategia paisajística en Azcapotzalco, se desarrolló el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, el cual fue monitoreado por periodo de un año y cuyos resultados obtenidos, definirían los ejes rectores de diseño de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, los cuales están propuestos para ser aplicados en la escala urbana y arquitectónica de la demarcación Azcapotzalco.

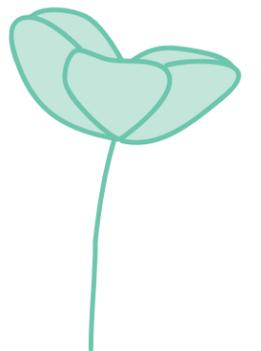
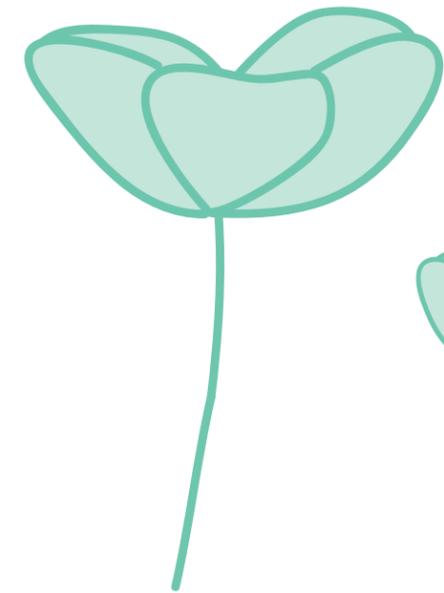
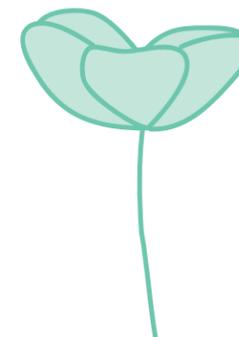
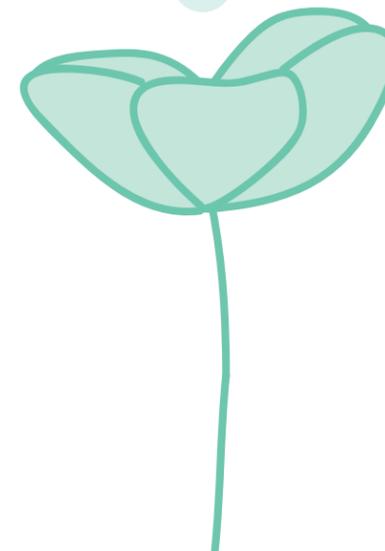
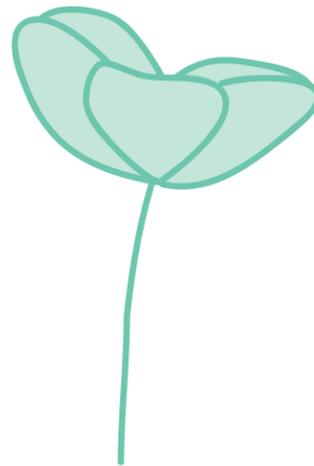
⁶³ Carta de Uso Potencial *Cuautitlán* (E14-A29) escala 1:50,000, INEGI y Carta de Uso Potencial *Ciudad de México* (E14-A39) escala 1:50,000, INEGI.

CAPÍTULO III

PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

«(...) ;Oh lluvia silenciosa que los árboles aman
y eres sobre el piano dulzura emocionante;
das al alma las mismas nieblas y resonancias
que pones en el alma dormida del paisaje!»

FEDERICO GARCÍA LORCA
LLUVIA



CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

Una vez realizado el análisis urbano-paisajístico, provino el proceso de diseño del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, cuya finalidad fue aportar un fundamento teórico-práctico de la implementación de un jardín de lluvia en el entorno de Azcapotzalco, aunado al objetivo de demostrar la eficiencia de los jardines de lluvia como estrategia paisajística para el aprovechamiento del agua pluvial urbana.

El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* debía reproducir lo que acontecería en una realidad urbana, por lo que se buscó desde su planeamiento, construcción y evaluación, una metodología que asemejara las técnicas que podrían ser utilizadas en caso de implementarse en el entorno construido de Azcapotzalco.

Fue por ello que, tanto las pruebas, el diseño, la construcción y el mantenimiento del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, resultan de una simpleza esencial que sería utilizada como base, para posteriormente, diseñar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* y así, originar propuestas que contemplan los materiales y técnicas constructivas ya disponibles, además de considerar las condiciones locales y el contexto en el que estarían inmersas.

El proceso de diseño del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* consistió en seis etapas constructivas, las cuales han sido empleadas en manuales de diseño de jardines de lluvia, propuestos por diversas universidades (WASHINGTON STATE UNIVERSITY *et al.*, 2007): estudios preliminares, diseño, planeamiento, construcción, selección de la paleta vegetal y mantenimiento, cada una de las cuales se realizó en base a un cronograma desarrollado para cumplirse en tiempo exacto.

3.1 ESTUDIOS PRELIMINARES

La etapa de estudios preliminares abarcó la elección de un *Sitio de Estudio* (SE) que resultara idóneo para desarrollar el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*; además, fue la etapa en la que se realizaron los estudios para determinar si el suelo natural del SE seleccionado presentaba la adecuada capacidad de infiltración, los parámetros físicos, químicos y pH requeridos para instalar un jardín de lluvia, o si debía de mejorarse previo a la construcción del objeto experimental.

3.1.1 Elección del sitio de estudio

Para elegir el *Sitio de Estudio* (SE) se consideraron los siguientes factores determinantes:

- Encontrarse cercano a puntos de descarga pluvial proveniente de techos, andadores, estacionamientos o algún área pavimentada, para poder encaimarla y aprovecharla.
- Debía ser un SE dentro de la universidad que tuviera una pendiente natural o construida, para poder canalizar por gravedad el escurrimiento pluvial en una sola dirección.
- Contar con un asoleamiento mínimo de ocho horas diarias para garantizar la subsistencia de las especies vegetales y representar así, el asoleamiento promedio requerido para el desarrollo de la vida vegetal.
- Localizarse por lo menos a una distancia de 3.00 metros de cualquier construcción, así como al menos a 2.00 metros de distancia de árboles o arbustos para evitar el sombreado excesivo que pudiera afectar el desarrollo de la vegetación.
- Debía encontrarse al menos a 3.00 metros de distancia de infraestructura subterránea (hidrosanitaria, eléctrica o de riego), que pudiera comprometer la instalación del modelo experimental y viceversa una vez instalado, las raíces de los elementos vegetales, la excesiva humedad y otros factores, no afectaran las instalaciones existentes.
- Contar con un suelo natural con permeabilidad suficiente y bajo contenido de arcilla.
- Debía tratarse de un SE cercano a las vialidades peatonales primarias o secundarias de la universidad, encontrándose de este modo lo suficientemente expuesto para simular la realidad urbana.
- Debía proponerse un SE que fuera aprobado por las autoridades de la universidad para la construcción del modelo experimental.
- Debía ser un SE que no afectara el desarrollo de la vida universitaria diaria.

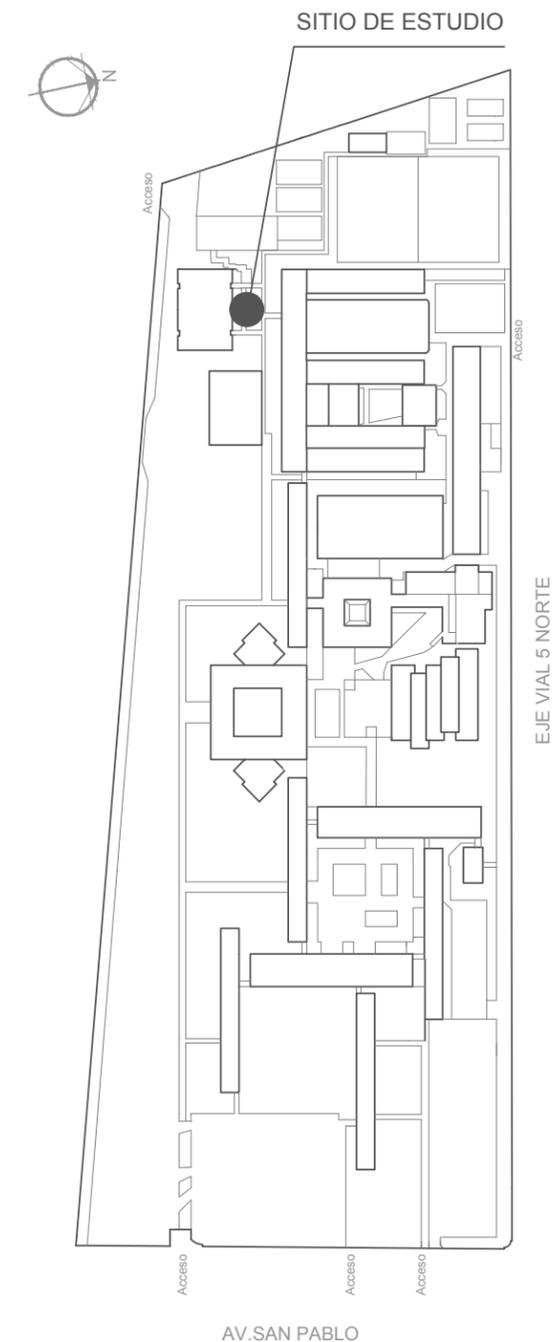


Figura 3.1 Ubicación del Sitio de Estudio. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

3.1.2 Localización del sitio de estudio

Una vez considerados los factores anteriores, se decidió que el *Sitio de Estudio* (SE) idóneo se encontraba en los límites del perímetro del *Edificio R-Gimnasio de duela*, en el parterre que da entrada a las instalaciones del mismo. (**Fig. 3.1**) (**Fig. 3.2**) (**Fig. 3.3**)

La decisión anterior se basó en la suficiencia del área para poder generar escurrimientos y canalizarlos a través de una pendiente en un solo sentido, además de ser un área en donde no se tiene proyectada la futura construcción de edificios; así también, mediante una breve identificación visual, no se contaba aparentemente con infraestructura subterránea que llegara a afectar el desarrollo del proyecto.

3.1.3 Pruebas, análisis y estudios

Con la propuesta de *Sitio de Estudio* (SE) se procedieron a realizar las pruebas pertinentes para asegurar que se trataba de un terreno que presentaba una buena permeabilidad, como requerimiento indispensable para continuar con el desarrollo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

Las pruebas que se realizaron abarcaron tres diferentes campos: infiltración, tipo de suelo y pH, así como una serie de pruebas más detalladas que incluyeron un análisis de laboratorio de la calidad del agua de lluvia y del suelo natural existente.

Las pruebas anteriores estuvieron basadas en las recomendaciones establecidas en los manuales de diseño de jardines de lluvia (WASHINGTON STATE UNIVERSITY *et al.*, 2007), las cuales, se caracterizan por su simplicidad y la capacidad de ser realizadas por cualquier usuario, lo cual fue un objetivo perseguido en el proceso de diseño del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, al asemejar el proceso analítico y constructivo que cualquier usuario llevaría a cabo para instalar un jardín de lluvia propio.



Figura 3.2 Delimitación del Sitio de Estudio. Coordenadas 19° 30' 12.08" N y 99° 11' 22.50" O, elevación 2253 msnm. Fuente: Aerofoto de Google Earth® (diciembre, 2009).



Figura 3.3 Sitio de Estudio. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.1.3.1 Prueba de infiltración básica

Se realizó una prueba de infiltración básica para determinar la capacidad natural del terreno para infiltrar agua al subsuelo.

Para lo anterior, se excavó un cuadrante de 25 x 25 cm en el suelo natural a una profundidad de 16 cm, el cual fue inundado para determinar el tiempo requerido para drenar la columna de agua; al momento de la excavación, se observó que la capa superficial y rica en materia orgánica estaba presente únicamente en los 9 cm superiores, por lo que desde un inicio se planteó la posibilidad de mejorar el suelo natural con tierra rica en materia orgánica.

El resultado de dicha prueba fue una infiltración total en un periodo de 2 horas y 10 minutos, lo cual supone una excelente infiltración y colocó al suelo natural del *Sitio de Estudio* apto para los fines requeridos. (**Tabla 3.1**) (**Fig. 3.4**)

HORA		TIEMPO TRANSCURRIDO (min)	DISTANCIA DE DRENAJE (cm)
Inicio	13:00	0	0
Término	15:10	130	16
Total 130 min= 2 horas y 10 minutos			

TIEMPO	PARÁMETRO
< 6 horas	Sitio excelente para instalar un jardín de lluvia
6-18 horas	Permeabilidad regular, necesitará agregados como composta o grava fina
> 18 horas	Elegir un sitio diferente para instalar un jardín de lluvia

Tabla 3.1 Prueba de infiltración básica (superior izquierdo). Día de prueba: 15/04/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014; Parámetros para prueba de infiltración básica (superior derecho). Fuente: Michael Dietz, 2007.



Figura 3.4 Prueba de infiltración básica (de arriba hacia abajo) 13:00 (previo inundación), 13:00 (inicio de inundación) y 15:10 (término de inundación). Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.1.3.2 Prueba de infiltración detallada

Para desarrollar la prueba de infiltración detallada, se procedió a inundar el agujero utilizado en la prueba de infiltración básica, inmediatamente después de concluir ésta, con la finalidad de crear las condiciones de saturación de suelo que asemejaran el comportamiento posterior a un gran evento pluvial.

El resultado obtenido fue un promedio de infiltración de 5.2 cm/hora obteniendo una infiltración total en 3 horas y 30 minutos, lo cual representó una excelente capacidad de infiltración del suelo natural del *Sitio de Estudio*, ideal para los fines requeridos. (**Tabla 3.2**)

Los resultados que arrojaron ambas pruebas demostraron la alta capacidad de infiltración del suelo natural del SE, el cual, con una ligera mejora mediante materia orgánica y granulometrías finas, actuaría como sustrato apto para recibir al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

HORA	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)	DISTANCIA DE DRENAJE (cm)	TASA DE INFILTRACIÓN (cm)	PROMEDIO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DETALLADA	PARÁMETRO
15:30	0	0	---	< 1.25 cm/ hora	Suelo regular. Debe ser mejorado con sustratos que aumenten la porosidad, previo a la instalación de un jardín de lluvia
16:00	30	8.5	8.5	1.25 cm/ hora - 5.00 cm/hora	Suelo ideal para la instalación de un jardín de lluvia
16:30	60	11.0	2.5		
17:00	90	12.5	1.5		
17:30	120	13.8	1.3		
18:00	150	14.8	1.0		
18:30	180	15.8	1.0		
19:00	210	16.0	0.2	> 5.00 cm/ hora	Suelo bueno. Se deberá elegir vegetación que absorba con rapidez el torrente pluvial
Promedio			4.57 cm/h		

Tabla 3.2 Prueba de infiltración detallada (superior izquierdo). Día de prueba: 15/04/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014; Promedio de la tasa de infiltración detallada (superior derecho). Fuente: Michael Dietz, 2007.

3.1.3.3 Prueba de puño

Se realizó una prueba de puño para determinar el tipo de suelo existente en el SE, la cual consistió en tomar una porción del suelo natural, humedecerla y formar con ella una pelota observando la plasticidad del material, para determinar la composición predominante en el mismo. (Fig. 3.5)

El resultado fue una tendencia limosa-arenosa, la cual es adecuada para la instalación de un jardín de lluvia pues favorece la infiltración en el terreno. La importancia de la prueba radica en el equilibrio de la composición del suelo natural como indicador base, pues el exceso o carencia de componentes, reflejados en la textura y plasticidad del mismo, indica si es apto o no, para la instalación de un jardín de lluvia. (Tabla 3.3)

MATERIAL	EN CANTIDAD NORMAL	EN EXCESO
Limo	Textura suave al tacto, no es pegajoso. Presenta drenaje moderado	Exceso de humedad y materia orgánica, restando inestabilidad al suelo
Arena	Textura arenosa al tacto, se separa con facilidad. Presenta un buen drenaje	Impedirá el desarrollo correcto del sistema radicular de la vegetación
Arcilla	Textura pegajosa al tacto, es suave y se puede moldear con facilidad. Presenta drenaje deficiente	Actuará como cementante reduciendo la permeabilidad del suelo

Tabla 3.3 Componentes del suelo natural y sus efectos en la textura y plasticidad. Fuente: Michael Dietz, 2007.



Figura 3.5 Prueba de puño. Día de prueba: 15/04/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.1.3.4 Prueba de pH de suelo

Con la finalidad de conocer el **pH** del suelo natural, se realizaron cinco tomas de muestras de suelo para determinar el pH promedio y así poder establecer si la adición de materia orgánica o de algún agregado, era necesaria para mejorar y equilibrar las propiedades del mismo y favorecer así, el desarrollo de la vida vegetal.

La primera muestra se obtuvo a partir del punto inicial (P1) utilizado para realizar las dos pruebas de infiltración y cuatro puntos más que fueron establecidos alrededor de éste, a dos metros de distancia, en sentido de las manecillas del reloj. (**Fig. 3.6**)

Las mediciones de las muestras se realizaron con ayuda de un conductímetro marca HM Digital, modelo AP-2, con rango 0-9999 μS y 0-80 $^{\circ}\text{C}$ y un pH-metro marca HM Digital, modelo PH-80, con rango 0.0-14.0 pH y 1-80 $^{\circ}\text{C}$; obteniendo un pH promedio de 8.0, demostrando con esto una tendencia alcalina del suelo natural del SE; una temperatura promedio de 19.7 $^{\circ}\text{C}$ y un promedio de conductividad de 528 μS . (**Tabla 3.4**)

A pesar de no tener variaciones considerables en el pH, posiblemente debido a la cercanía de un punto con otro, sí hubo variaciones en la humedad observada, logrando determinar las áreas donde se concentraban naturalmente los escurrimientos pluviales en el SE, factor que influiría directamente en el diseño del jardín de lluvia.

MUESTRA	pH	TEMPERATURA	μS	HUMEDAD	GRANULOMETRÍA	COLOR
P1	7.9	19.9	486	ligeramente húmeda ++++	fina	negro
P2	7.9	19.7	532	ligeramente húmeda ++++	muy fina	negro
P3	8.1	19.7	546	seca +++	muy fina	café oscuro
P4	8.1	19.6	537	seca ++	fina	café grisáceo
P5	8.1	19.7	542	casi seca +	fina	café grisáceo
Promedio	8.0	19.7	528	N/A	N/A	N/A

Tabla 3.4 Prueba de pH en cinco muestras de suelo natural. Se midieron también, temperatura y conductividad y se consideró la humedad, la granulometría y el color de cada muestra. Día de prueba: 15/04/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

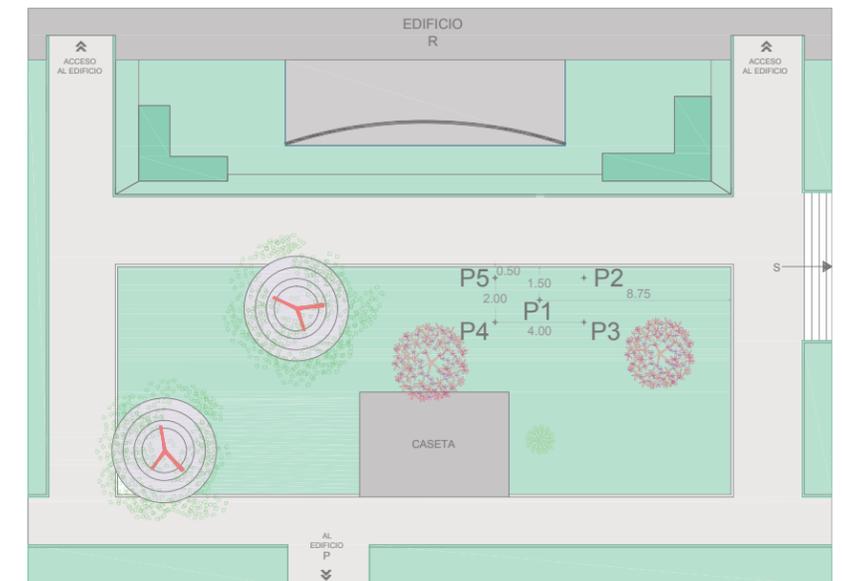


Figura 3.6 Localización de los puntos de muestra para prueba de pH de suelo. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.1.3.5 Análisis de suelo en laboratorio

Se realizó un análisis de dos muestras de suelo en laboratorio, con la intención de diagnosticar con mayor detalle los componentes, la fertilidad y algunos parámetros físicos y químicos del suelo natural y del suelo mejorado que intervinieron en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

Para esto, se colectaron dos muestras de poco más de un kilogramo, y se mandaron analizar en las instalaciones del Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. (**Tabla 3.5**)

El análisis de suelo en laboratorio es considerado un estudio adicional, puesto que contrario a las pruebas anteriores que pueden ser realizadas por cualquier usuario, involucró procedimientos especializados y costos que no podrían ser replicados en una realidad constructiva; sin embargo, se decidió realizar el estudio para determinar si se lograba un mejoramiento substancial del suelo natural mediante agregados simples que estuvieran al alcance de cualquier usuario.

El análisis realizado demostró que una vez mejorado el suelo con tierra negra con materia orgánica, arena y gravilla de tezontle, el pH pasó de 9.03 a 8.36 (**Ver anexo B**), volviéndola más neutra, pero aún ligeramente alcalina, como es recomendado para vegetación cubresuelos.

MUESTRA	MT1	MT2
Clave	3772	3771
Denominación	Tierra <i>in situ</i>	Tierra mejorada
Composición	Tierra derivada de la excavación	Mezcla de suelo natural, arena de tezontle, gravilla de tezontle y tierra negra con materia orgánica
Día de toma	22/08/2014	08/09/2014
Peso	1.310 kg	1.002 kg

Tabla 3.5 Análisis de suelo en laboratorio. Día de análisis: 02/10/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.1.3.6 Análisis de agua en laboratorio

Se realizó un análisis de dos muestras de agua en laboratorio (**Tabla 3.6**), con el propósito de conocer los parámetros diferenciales entre el agua pluvial que se precipita y el agua pluvial una vez que ha tocado el suelo, lo anterior con la finalidad de determinar si existían diferencias sustanciales entre los elementos de una muestra y otra.

Se colectaron dos muestras de 600 mililitros, las cuales se envasaron en botellas plásticas, se etiquetaron según su procedencia y fueron conservadas en refrigeración a 4°C; después, fueron llevadas al laboratorio en un lapso no mayor a las 24 horas después de la colecta, garantizando así la preservación del material colectado.

El análisis de agua en laboratorio fue considerado un estudio adicional, puesto que el conocer la diferenciación de las muestras fue un objetivo propio de la investigación y no representa parte de las pruebas sugeridas para determinar si es conveniente un SE para instalar un jardín de lluvia.

Los resultados obtenidos no demostraron considerables diferencias (**Ver anexo B**), dejando únicamente en evidencia, la acidez de ambas muestras, refiriendo así, la presencia de contaminantes en el agua pluvial.

MUESTRA	MA1	MA2
Clave	3769	3770
Denominación	Agua pluvial	Agua entrante
Procedencia	Precipitación directa sobre el cuenco colector	Agua pluvial entrante al <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i> por medio de las canaletas
Día de toma	01/10/2014	01/10/2014
Volumen	0.6 L	0.6 L

Tabla 3.6 Análisis de agua en laboratorio. Día de análisis: 02/10/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.1.3.7 Estudio de asoleamiento

Se realizó un estudio de asoleamiento de doce horas en las que a partir de los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este y oeste) y dos de los ángulos con mayor visual paisajística (noroeste-sureste y suroeste-noreste) (**Tabla 3.7**), se tomaron fotografías a cada hora para verificar que la incidencia solar fuera la adecuada y estuviera presente en al menos ocho horas, como es recomendado para el sano desarrollo de la vegetación.

El resultado fue una incidencia solar directa en ocho de las doce horas, y una incidencia parcial en otras cuatro horas, lo cual coincide con el requerimiento solar necesario para que la vegetación se desarrollara correctamente en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

En vista de los resultados positivos en las pruebas, análisis y estudios anteriores, se decidió que el *Sitio de Estudio* planteado para la instalación del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* era idóneo, pues no sólo presentaba una excelente infiltración y calidad de suelo natural, mostraba también el pH requerido para los fines deseados, tenía los componentes físicos y químicos necesarios para permitir el crecimiento de la vegetación y contaba con una excelente incidencia solar y óptimas visuales paisajísticas.

HORA / ÁNGULO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE	NOROESTE-SURESTE	SUROESTE- NORESTE
7:00						
8:00						
9:00						

Tabla 3.7 Estudio de asoleamiento. Las fotografías fueron tomadas en el sentido mencionado (Ejemplo Norte= desde el norte-hacia el sur) Día de toma: 23/04/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

HORA / ÁNGULO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE	NOROESTE-SURESTE	SUROESTE- NORESTE
10:00						
11:00						
12:00						
13:00						
14:00						

(Continúa) Tabla 3.7 Estudio de asoleamiento. Las fotografías fueron tomadas en el sentido mencionado (Ejemplo Norte= desde el norte=hacia el sur) Día de toma: 23/04/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

HORA / ÁNGULO	NORTE	SUR	ESTE	OESTE	NOROESTE-SURESTE	SUROESTE- NORESTE
15:00						
16:00						
17:00						
18:00						
19:00						

(Continúa) Tabla 3.7 Estudio de asoleamiento. Las fotografías fueron tomadas en el sentido mencionado (Ejemplo Norte= desde el norte-hacia el sur) Día de toma: 23/04/2014. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.2 DISEÑO

Una vez realizadas las pruebas que confirmaron adecuada la selección del *Sitio de Estudio* (SE), se procedió a delimitar y posterior dimensionar el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

Establecido lo anterior y con la ubicación y las dimensiones que debería tener, se consideraron los ejes rectores y la dirección en la que el agua pluvial debía ser concentrada y se propusieron diversos modelos hasta llegar a la forma concluyente.

3.2.1 Delimitación espacial

La delimitación espacial del SE comprendió del *Edificio P* al norte y hasta el *Edificio R* al sur, mientras que limitaría al este y oeste con el cambio del parterre; así también, se identificaron los ejes rectores que regirían al proyecto, considerando al ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) como el eje principal en sentido norte-sur, y los dos ejemplares de sangre de cristo (*Euphorbia cotinifolia*) como el eje este-oeste. (**Fig. 3.7**)

Fue determinante al momento de establecer los límites espaciales, el que existiera una caseta de lámina como construcción próxima, puesto que marcó una restricción del área que ocuparía el jardín de lluvia (JLI).

También, fue importante considerar la línea de riego que corre paralela al eje este-oeste, pues cualquier afectación sobre las raíces de la vegetación o en las capas subterráneas del proyecto, podría interferir en el desarrollo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

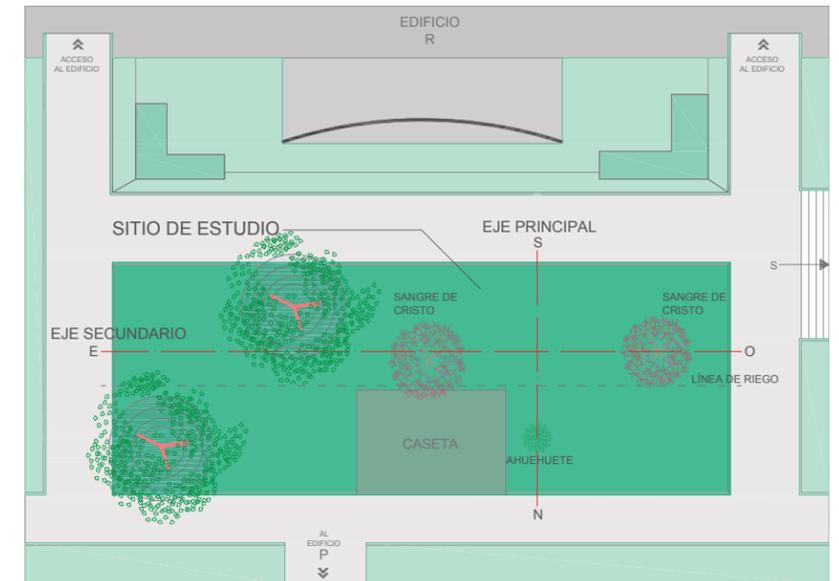


Figura 3.7 Delimitación espacial y ejes rectores del Sitio de Estudio.
Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.2.2 Dimensionamiento

El dimensionamiento del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* fue la etapa en que se determinó el volumen pluvial que el jardín de lluvia tendría que infiltrar, fue una etapa clave que determina las dimensiones que debería tener el mismo.

En vista de que contiguo al *Sitio de Estudio* se cuenta con un gran murete curvo que oculta el tanque de gas que da servicio a las regaderas del *Edificio R-Gimnasio de duelo*, se decidió elegir dicha área pavimentada obteniendo un área impermeable de 48.50 m² de la que se canalizaría su escurrimiento pluvial, además de adicionar el área verde contigua de 50.50 m² y un área correspondiente a 7.40 m² derivada de la instalación de las canaletas que dirigirían el escurrimiento pluvial hacia el objeto experimental, sumando un total de 106.40 m² de área de captación. (**Fig. 3.8**)

Algunos autores consideran que el tamaño que se debe adoptar para un JLI debe ser del 5% al 10% del área impermeable de la que se quiere captar el agua pluvial (LI & ZHAO, 2008); sin embargo, para el presente estudio se decidió utilizar la metodología descrita en algunos de los más importantes manuales de diseño de jardines de lluvia (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007) simplificando las fórmulas descritas en ellos para realizar un dimensionamiento con cálculos esenciales que pudieran ser replicados por los usuarios potenciales de los jardines de lluvia.

Así, la superficie del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* sería definida para recibir el volumen de escurrimiento de un área de captación equivalente a 106.40 m², generando un área efectiva del jardín de lluvia de 14.00 m² que representan el 13% del área de captación. (**Tabla 3.8**)

El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* tiene la capacidad de almacenar en la Lámina de Retención Superficial (LRS) 1,812 L y el Volumen de Almacenamiento Subterráneo (VAS) que puede ser acumulado corresponde a 520 L. (**Fig. 3.9**)

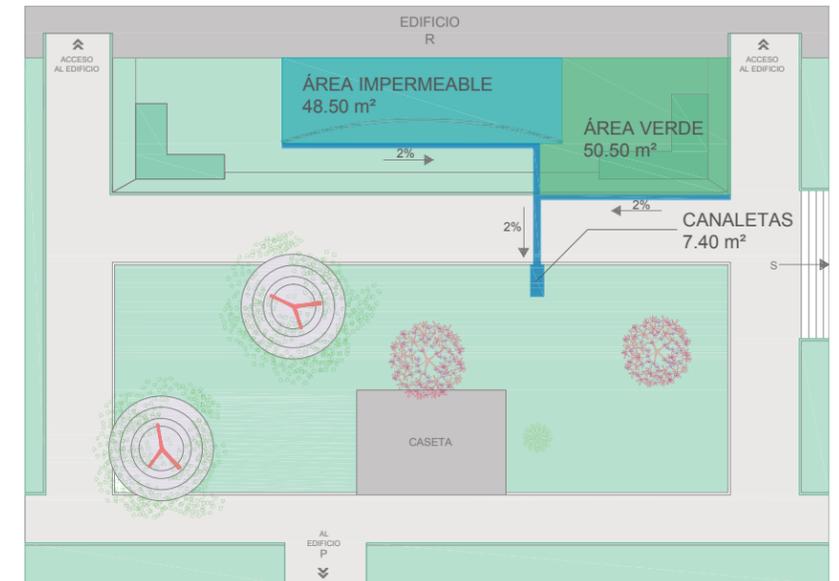


Figura 3.8 Área de captación. Área destinada para aprovechar sus escurrimientos pluviales en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

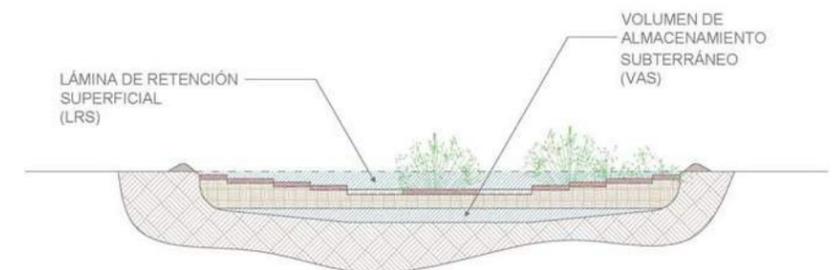


Figura 3.9 Lámina de retención superficial (LRS) y Volumen de almacenamiento subterráneo (VAS). Fuente: Casandra Badillo, 2014.

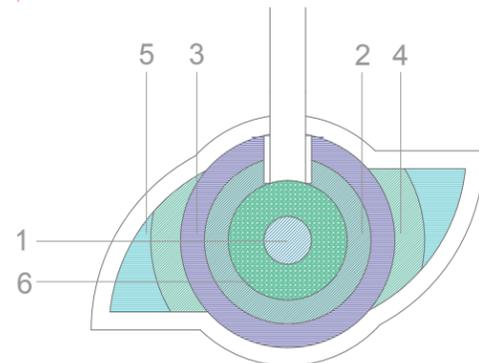
CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

PASO	CONCEPTO	CÁLCULO	VALOR
1	ÁREA DE CAPTACIÓN	Se definió el área de la que se obtendrían los escurrimientos pluviales: 48.50 m ² área con concreto + 7.40 m ² canaletas + 50.50 m ² área verde=	106.40 m ²
2	RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO	Se consideró un evento pluvial promedio=una pulgada (0.025 m) (Nota 1)	0.025 m
3	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	Coeficiente de escurrimiento (C) para concreto= 0.875 Coeficiente de escurrimiento (C) para pasto= 0.20	0.875 concreto 0.20 pasto
4	ALTURA	Altura del jardín de lluvia	0.19 m
5	ÁREA DEL JARDÍN DE LLUVIA	$\frac{\text{ÁREA DE CAPTACIÓN (106.40 m}^2) \times \text{RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO (0.025 m)} \times \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (Nota 2)}}{\text{ALTURA (0.19 m)}}$	14.00 m ²
6	LÁMINA DE RETENCIÓN SUPERFICIAL (LRS)	AHA (0.50 m ²) x ALTURA (0.19 m)= 0.095 m ³ AHB (2.70 m ²) x ALTURA (0.15 m)= 0.405 m ³ AHC (3.70 m ²) x ALTURA (0.11 m)= 0.407 m ³ AHD (2.16 m ²) (2) x ALTURA (0.07 m)= 0.302 m ³ AHE (1.70 m ²) (2) x ALTURA (0.03 m)= 0.102 m ³ AAC (2.64 m ²) x ALTURA (0.19 m)= 0.501 m ³	1.812 m ³ = 1,812 L
7	VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO (VAS)	1.00 m ³ de grava de tezontle x 52% de porosidad del material=	0.52 m ³ =520 L

Tabla 3.8 Proceso de dimensionamiento del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Se decidió realizar un dimensionamiento con cálculos básicos. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

DONDE:

- AHA= Área de la Hidrozona A (1)
- AHB= Área de la Hidrozona B (2)
- AHC= Área de la Hidrozona C (3)
- AHD= Área de la Hidrozona D (4)
- AHE= Área de la Hidrozona E (5)
- AAC= Área del Andador Circular (6)



NOTAS:

(Nota 1) De acuerdo con recomendaciones establecidas por (DIETZ, 2007) para representar un evento pluvial tipo, se considera el valor de una pulgada equivalente a 0.025 m.

(Nota 2) Se recomienda que para hacer el cálculo del dimensionamiento de un jardín de lluvia se utilice el Coeficiente de escurrimiento (C) adecuado al material con el que se trate; sin embargo, para el estudio de la presente tesis se decidió no utilizar pues reducía significativamente las dimensiones y limitaba el carácter experimental del mismo.

3.2.3 Diseño de la forma

Una vez que se obtuvieron las dimensiones que debía tener el jardín de lluvia y ya con el *Sitio de Estudio* delimitado, se procedió a diseñar el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

Para lo anterior, se elaboraron diversos bocetos conceptuales en los que se consideraron los ejes rectores y de composición, además de los principales elementos del entorno considerando el sentido en el que se debería de canalizar el flujo del agua y fundamentado en un orden ascendente de la altura de la vegetación y decreciente en el requerimiento hídrico. (**Fig. 3.10**)

De los numerosos bocetos, surgió la idea base del proyecto, la cual consistió en las cuatro direcciones rectoras unidas por un mismo centro, es decir, la forma base sería un *quincunce*⁶⁴ que se desarrollaría hasta llegar al proyecto concluyente.

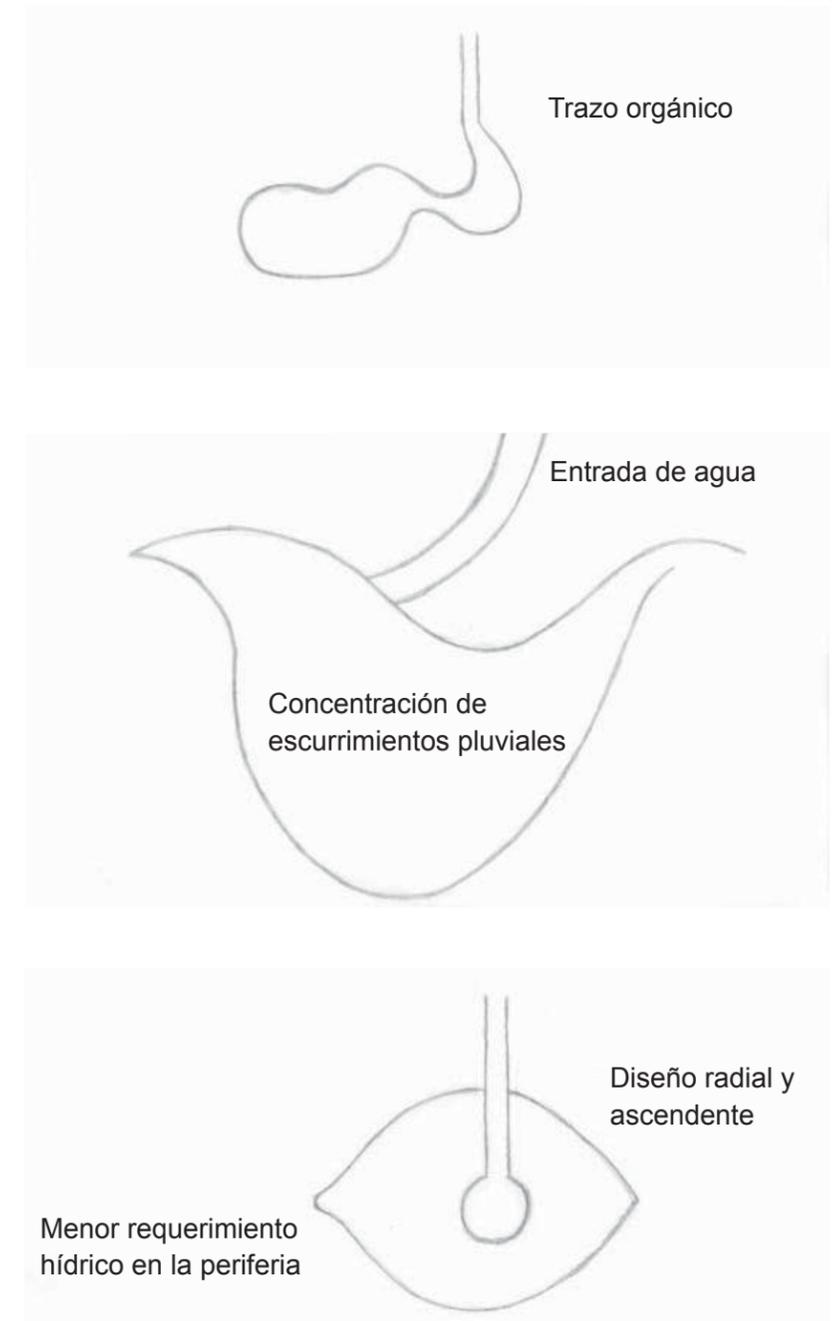


Figura 3.10 Diseño de la forma. La forma base consistió en un quincunce. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

⁶⁴ *Quincunce* (Del latín *Quincunx*) es una disposición geométrica constituida por cuatro elementos formando un cuadrilátero, unidas por un quinto elemento en el cruce de sus diagonales.

3.2.4 Identidad del proyecto

Con la idea base del proyecto y siguiendo el objetivo de otorgarle al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* una referencia fundamentada en la cultura nacional, se optó por desarrollar un concepto presente en las culturas mesoamericanas que hace evocación a los cuatro puntos cardinales o cuatro elementos esenciales (agua, tierra, fuego y viento) unificados por un centro. La figura anterior conocida como *nahui ollin*⁶⁵ o cuarto movimiento (del náhuatl *nahui* “cuatro o cuarto” y *ollin* “movimiento”) simboliza el equilibrio del universo y de la vida. (Fig. 3.11)

Para llegar al diseño final, se abstrajo el trazo base del *nahui ollin* y después se desarrolló el concepto, teniendo presente que se trataba del diseño de un jardín, por lo que se decidió que su forma fuera radial y su trazo orgánico.

Así mismo, para el trazo de los canales, se buscó hacer una referencia de la cultura mexicana al aludir a los *apantles*⁶⁶ o líneas de agua (del náhuatl *atl* “agua” y *pantli* “hilera o fila”). (Fig. 3.12)

3.2.5 Diseño del proyecto

El diseño del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* consistió en dos etapas: anteproyecto y proyecto ejecutivo, las cuales estuvieron conformadas a su vez, por dos y seis subfases respectivamente.

La etapa del anteproyecto, abarcó las subfases del análisis del sitio de estudio y levantamiento del sitio de estudio, fue la etapa en la que se identificó la infraestructura existente, así como un análisis sintético del *Sitio de Estudio* en el que se diseñó.

La segunda etapa fue el proyecto ejecutivo, en esta etapa se conceptualizó formalmente el proyecto, desarrollando los planos necesarios para lograr su construcción, abarcando seis subfases (trazo y nivelación, cortes y secciones, detalles constructivos, planeación hídrica, plantación y vegetación). (Ver *anexo A*)

⁶⁵ *Nahui ollin* también es conocido como Signo de Venus o Cruz de Quetzalcóatl.

⁶⁶ Los *apantles* fueron pequeñas acequias de origen precolombino encargadas de transportar el agua de un punto a otro (generalmente hacia una pila o fuente) mediante la gravedad, fueron utilizados como canales de riego en zonas bajas que aprovecharon el deshielo de las montañas.

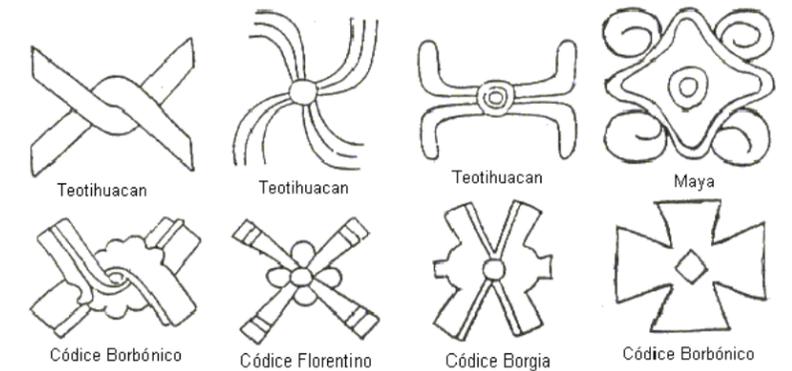


Figura 3.11 Identidad del proyecto. Nahui ollin. Se tomó el *nahui ollin* con sus cuatro direcciones unidas por un centro, como base de la forma del proyecto. Fuente: Disponible en: <<http://viajesmisticosdeevolucion.blogspot.mx>> Acceso en abril, 2014.



Figura 3.12 Identidad del proyecto. Apantle. Se buscó hacer una referencia de los *apantles* en los canales que dan entrada al flujo de agua en el proyecto. Fuente: Disponible en: <<http://lexicoon.org/es/apantle>> Acceso en abril, 2014.

3.3 PLANEAMIENTO

La etapa de planeamiento fue aquella en la que se realizó una proyección de los costos, el tiempo de ejecución, el volumen de tierra excavada y el requerimiento de materiales necesarios, para llevar a cabo la ejecución del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

La fase fue dividida en un cronograma de actividades en donde se muestran los tiempos requeridos para desarrollar cada una de las etapas, un catálogo de conceptos, un catálogo de volúmetrías y las partidas de obra en las que fue dividido el proyecto.

3.3.1 Cronograma de actividades

Fue necesario elaborar un cronograma de actividades para poder ejecutar la obra en tiempo y forma, abarcando el periodo lluvioso estacional y conforme a las disposiciones establecidas por la universidad.

Se decidió que el periodo de construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, abarcaría las vacaciones entre los trimestres 14-P y 14-O, posterior a la etapa de desarrollo del proyecto ejecutivo y logrando que después de su construcción, comenzara el periodo de evaluación del mismo.

La construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se realizó conforme a lo establecido en el cronograma de actividades que, a pesar de la serie de contratiempos, cumplió con el objetivo de monitorear dos periodos de lluvia correspondientes al 2014 y 2015. (**Tabla 3.9**)

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2013									Inicio de la Maestría Clases teóricas	Planeación del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>		
2014	Planeación del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>				Proyecto ejecutivo del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>			Construcción del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>	1° Evento pluvial Periodo de evaluación del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>			
2015	Periodo de evaluación del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>				2° Evento pluvial 3° Evento pluvial	Término del periodo de evaluación del <i>Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A</i>			Revisión de los datos colectados			
2016	Redacción de la tesis											
2017	Redacción de la tesis		Tesis en revisión por sinodales					Corrección de la tesis			Disertación de tesis	
Estación de Lluvias												

Tabla 3.9 Cronograma de actividades académicas y de investigación realizadas durante el desarrollo de la tesis. Fuente: Adaptado de: BECKER, 2013. Autor: Casandra Badillo, 2017.

3.3.2 Catálogo de conceptos

Se realizó un catálogo en el que se desglosaron todos los conceptos involucrados en la preparación, construcción, evaluación y mantenimiento del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, permitiendo de este modo, registrar la cantidad requerida, así como el precio unitario y el importe total, de cada uno de los conceptos relacionados, llevando también un reporte de la fecha de compra y del proveedor al que fue adquirido cada uno de los materiales.

El costo total del proyecto fue de \$26,820.65 MXN, de los cuales \$13,681.50 MXN corresponden al coste básico del proyecto que incluye los conceptos C,D,E y F (**Tabla 3.10**), donde los conceptos A,B y G de la misma tabla, no fueron considerados básicos por tratarse de construcción de elementos adicionales, análisis de laboratorio y equipo especializado, que los usuarios potenciales de los jardines de lluvia no utilizarían; si se considera a lo anterior, que el área efectiva del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* corresponde a 14.00 m², se obtiene un precio promedio de \$1,000.00 MXN por m² por la construcción y mantenimiento de sus elementos básicos.

Así mismo, la (**Tabla 3.11**) corresponde al desglose de los elementos antes mencionados, considerando todas las partidas anteriores, excepto aquella que fue costada por la universidad (A-Construcción de la *canaleta D*).

CLAVE	ETAPA	ORIGEN DE LOS RECURSOS	INVERSIÓN
A	CONSTRUCCIÓN DE LA CANALETA D	Sección de Obras y Proyectos-Coordinación de Espacios Físicos Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco	\$9,149.15
B	ANÁLISIS DE LABORATORIO	Recursos personales	\$2,090.00
C	MATERIALES CONSTRUCTIVOS	Recursos personales	\$4,864.00
D	MATERIALES OTROS	Recursos personales	\$1,856.00
E	VEGETACIÓN	Recursos personales	\$1,461.50
F	MANO DE OBRA	Recursos personales	\$5,500.00
G	EQUIPO E INSTRUMENTOS PARA MONITOREO	Recursos personales	\$1,900.00
TOTAL=			\$26,820.65 MXN

Tabla 3.10 Distribución de los recursos para la implementación y monitoreo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL	FECHA	PROVEEDOR
A	ESTUDIOS PRELIMINARES						
01	Estudio de suelo y agua	-	-	anticipo 50%	\$1,045.00	02/10/2014	Universidad Autónoma Chapingo
02	Estudio de suelo y agua	-	-	liquidación 50%	\$1,045.00	13/11/2014	
					SUBTOTAL= \$2,090.00		
B	PREPARACIÓN DEL TERRENO						
01	Carrete de hilo para medición	unidad	1	\$60.00	\$60.00	10/08/2014	Mercado
02	Estacas de madera	unidad	10	\$1.00	\$10.00	10/08/2014	
03	Aerocomex blanco mate	unidad	1	\$42.00	\$42.00	11/08/2014	Comex
					SUBTOTAL=\$112.00		
C	MANO DE OBRA						
01	1° Pago	pago	1	\$800.00	\$800.00	12/08/2014	Trabajador
02	2° Pago	pago	1	\$2,200.00	\$2,200.00	15/08/2014	
03	3° Pago	pago	1	\$2,500.00	\$2,500.00	22/08/2014	
					SUBTOTAL=\$5,500.00		
D	AGREGADOS Y GRANULOMETRÍAS (PRIMERA PARTE)						
01	Piedra mármol blanca de 1 ½"	unidad (bolsa de 20 kg)	7	\$130.00	\$910.00	15/08/2014	Comercializadora Decorativa Esquivel S.A. de C.V.
02	Piedra negra de río de ½"	unidad (bolsa de 10 kg)	1	\$250.00	\$250.00	15/08/2014	
03	Piedra bola de río del N°1, color gris	unidad (bolsa de 20 kg)	8	\$85.00	\$680.00	15/08/2014	
04	Tezontle (sello)	m ³	1	\$300.00	\$300.00	15/08/2014	
05	Arena de tezontle	m ³	1	\$280.00	\$280.00	15/08/2014	
06	Cemento gris <i>Tolteca</i>	bulto	1	\$124.00	\$124.00	15/08/2014	
07	Mortero	bulto	2	\$100.00	\$200.00	15/08/2014	
					SUBTOTAL=\$2,744.00		
					ENVÍO=\$350.00		
					SUBTOTAL=\$3,094.00		

Tabla 3.11 Catálogo de conceptos del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL	FECHA	PROVEEDOR
E	VEGETACIÓN						
	RED VIVERISTA						
01	<i>Cedronella mexicana</i>	unidad	4	\$19.50	\$78.00	20/08/2014	Red Viverista
02	<i>Ipomoea batatas</i> "Black"	unidad	4	\$26.00	\$104.00	20/08/2014	
03	<i>Ipomoea batatas</i> "Chartreuse"	unidad	4	\$26.00	\$104.00	20/08/2014	
04	<i>Ruellia brittoniana</i> "Compacta"	unidad	6	\$14.00	\$84.00	20/08/2014	
05	<i>Salvia leucantha</i>	unidad	1	\$17.00	\$17.00	20/08/2014	
06	<i>Salvia microphylla</i>	unidad	1	\$15.50	\$15.50	20/08/2014	
07	<i>Sprekelia formosissima</i>	unidad	4	\$19.50	\$78.00	20/08/2014	
08	<i>Tradescantia pallida</i> "Purpurea"	unidad	6	\$14.00	\$84.00	20/08/2014	
					SUBTOTAL=\$564.50		
					ENVÍO=\$500.00		
					SUBTOTAL=\$1,064.50		
	MERCADO MADRESELVA						
09	<i>Ageratum houstonianum</i>	unidad	12	\$5.00	\$60.00	21/08/2014	Mercado MadreSelva
10	<i>Canna indica</i>	unidad	3	\$20.00	\$60.00	21/08/2014	
11	<i>Dahlia variabilis</i>	unidad	4	\$20.00	\$80.00	21/08/2014	
12	<i>Equisetum hyemale</i>	unidad	3	\$15.00	\$45.00	21/08/2014	
13	<i>Tigridia pavonia</i>	unidad	4	\$18.00	\$72.00	21/08/2014	
14	<i>Tradescantia zebrina</i>	unidad	4	\$20.00	\$80.00	21/08/2014	
					SUBTOTAL=\$397.00*		
F	AGREGADOS Y GRANULOMETRÍAS (SEGUNDA PARTE)						
01	Tierra negra	costal	20	\$25.00	\$500.00	21/08/2014	Mercado MadreSelva-Vivero Ángeles
02	Piedra bola de río del N°3, color gris	costal	2	\$85.00	\$170.00	21/08/2014	
03	Piedra volcánica	pieza	5	\$20.00	\$100.00	21/08/2014	
					SUBTOTAL=\$770.00		
					*SUBTOTAL MERCADO MADRESELVA=\$397.00		
					ENVÍO=\$1,000.00		
					SUBTOTAL=\$2,167.00		

(Continúa) Tabla 3.11 Catálogo de conceptos del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL	FECHA	PROVEEDOR
G	CÉDULA DE IDENTIFICACIÓN Y BOTÁNICAS						
01	Aceite de linaza	unidad	1	\$41.00	\$41.00	15/09/2014	Farmacia París S.A. de C.V.
02	Polín de madera de pino 4x4"	unidad	1	\$280.00	\$280.00	19/09/2014	Triplay, Madera Aglomerados S.A. de C.V.
03	Thinner estándar	litro	3	\$26.00	\$78.00	22/09/2014	Comex Industrial Vallejo
04	Prymer de piroxilina	litro	0.5	\$158.00	\$79.00	22/09/2014	
05	Lija de agua N°320	unidad	2	\$5.00	\$10.00	29/09/2014	
06	Thinner americano	litro	3	\$40.00	\$120.00	25/09/2014	Pinturas Cuatepec S.A. de C.V.
07	Discos del N°80	unidad	2	\$12.00	\$24.00	25/09/2014	
08	Discos del N°220	unidad	2	\$12.00	\$24.00	25/09/2014	
09	Poliuretano con catalizador	litro	0.5	\$320.00	\$160.00	25/09/2014	
10	Laca en color SW6751	litro	0.5	\$154.00	\$77.00	25/09/2014	Acrílico P.V.C. Estireno
11	Corte y grabado en acrílico cristal 4 mm	unidad	1	\$550.00	\$550.00	22/10/2014	
12	Corte y grabado en acrílico cristal 4 mm	unidad	1	\$150.00	\$150.00	28/10/2014	
					SUBTOTAL=\$1,593.00		
H	EVALUACIÓN MENSUAL						
01	Pluviómetro	unidad	1	\$155.00 + \$160.00 (envío)	\$315.00	11/09/2014	Serviagrícola del Bajío, S.A. de C.V.
02	Medidor de PH-80, marca HM Digital	unidad	1	\$0.00	\$0.00	30/10/2014	Río y Montaña Shop S.A. de C.V.
03	Medidor de CE AP-2	unidad	1	\$1,187.00	\$1,187.00	30/10/2014	
04	Solución calibradora NaCl para calibrar TDS y CE	unidad	1	\$0.00	\$0.00	30/10/2014	
05	Solución buffer para calibrar PH	unidad	1	\$288.00 + \$110.00 (envío)	\$398.00	30/10/2014	
					SUBTOTAL=\$1,900.00		
I	MANTENIMIENTO						
01	Tabla de madera de pino	unidad	1	\$97.00	\$97.00	22/08/2014	Triplay, Madera Aglomerados S.A. de C.V.
02	Rollo de alambre	unidad	1	\$33.00	\$33.00	22/10/2014	Joyería Tyrot S.A. de C.V.
03	Escobetilla para bureta	unidad	1	\$21.00	\$21.00	26/03/2015	Aparatos e Instrumentos Científicos S.A. de C.V.
					SUBTOTAL=\$151.00		
					TOTAL=\$17,671.50 MXN		

(Continúa) **Tabla 3.11** Catálogo de conceptos del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.3.3 Catálogo de volumetrías

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
A	LIMPIEZA DEL TERRENO		
01	Deshierbe del terreno para la construcción del jardín de lluvia	m ²	14.00
02	Deshierbe del terreno para la construcción de la <i>canaleta A</i>	m ²	2.30
03	Deshierbe del terreno para la construcción de la <i>canaleta B</i>	m ²	0.65
04	Deshierbe del terreno para la construcción de la <i>canaleta C</i>	m ²	1.80
05	Deshierbe del terreno para la construcción de la <i>canaleta E</i>	m ²	0.85
B	EXCAVACIÓN Y MOVIMIENTO DE TIERRAS		
01	Excavación del suelo natural para la construcción del jardín de lluvia	m ³	7.30
02	Excavación del suelo natural para la construcción de la <i>canaleta A</i>	m ³	0.20
03	Excavación del suelo natural para la construcción de la <i>canaleta B</i>	m ³	0.15
04	Excavación del suelo natural para la construcción de la <i>canaleta C</i>	m ³	0.25
05	Demolición de la guarnición para el paso de la <i>canaleta D</i>	m ³	0.01
06	Demolición del andador para la construcción de la <i>canaleta D</i>	m ³	0.12
07	Excavación del suelo natural para la construcción de la <i>canaleta D</i>	m ³	0.40
08	Demolición de la guarnición para el paso de la <i>canaleta E</i>	m ³	0.01
09	Excavación del suelo natural para la construcción de la <i>canaleta E</i>	m ³	0.25
C	SUSTITUCIÓN DE SUSTRATOS		
01	Capa de agregado de tezontle (sello)	m ³	1.00
02	Sustrato de arena de tezontle	m ³	1.00
03	Sustrato de tierra negra mejorada con materia orgánica	m ³	0.50
04	Sustrato de suelo natural	m ³	0.90
D	ALBAÑILERÍA Y ACABADOS		
01	Piedra bola de río del N° 3 en la berma	m (linear)	16.00
02	Piedra bola de río del N°1 en la <i>canaleta A</i>	m ³	0.20
03	Piedra bola de río del N°1 en la <i>canaleta B</i>	m ³	0.05
04	Albañilería en concreto para las laterales de la <i>canaleta B</i>	m ³	0.01
05	Piedra bola de río del N°1 en la <i>canaleta C</i>	m ³	0.15
06	Albañilería en concreto para el acabado de la <i>canaleta D</i>	m ³	0.02
07	Albañilería en concreto para las laterales de la <i>canaleta D</i>	m ³	0.15
08	Piedra mármol blanca de 1 ½" en <i>canaleta E</i>	m ³	0.03
09	Albañilería en concreto para las laterales de la <i>canaleta E</i>	m ³	0.01
10	Piedra mármol blanca de 1 ½" en andador líneal y circular	m ³	0.14

Tabla 3.12 Catálogo de volumetrías del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

Se realizó un catálogo donde se expresan los volúmenes y movimiento de tierras que fueron requeridos de excavar y sustituir en la construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

Dentro de la volumetría más relevante, está el movimiento de tierras realizado para construir el modelo experimental, excavando un total de 7.30 m³ de suelo natural, de los cuales se sustituyeron por sustratos 2.50 m³, se reutilizaron 0.90 m³ y se reubicaron 3.90 m³ en las áreas verdes contiguas. (**Tabla 3.12**)

3.3.4 Programa de obra

El programa de obra fue desarrollado para esclarecer cada una de las etapas constructivas y lograr un mejor planeamiento de las mismas; abarcó las tres semanas en las que se llevó a cabo la construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* considerando a la construcción de la rejilla como la primera semana, la construcción del jardín de lluvia como la segunda y la construcción de las canaletas como la tercera y última etapa constructiva. (**Tabla 3.13**)

CLAVE	CONCEPTO	AGOSTO 2014																		
		04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
A	CONSTRUCCIÓN DE LA REJILLA																			
01	Preliminares																			
02	Albañilería																			
03	Herrería																			
04	Acabado																			
05	Limpieza																			
B	CONSTRUCCIÓN DEL JARDÍN DE LLUVIA																			
01	Preparación del terreno																			
02	Excavación																			
03	Mejoramiento del suelo natural																			
04	Sustitución de sustratos																			
05	Colocación de piedra de río en andador circular																			
06	Construcción de la berma																			
07	Plantación																			
C	CONSTRUCCIÓN DE LAS CANALETAS																			
01	Preparación del terreno																			
02	Excavación de la <i>canaleta E</i>																			
03	Albañilería en <i>canaleta E</i>																			
04	Excavación de las <i>canaletas A,B,C,D</i>																			
05	Albañilería en <i>canaletas A,B,C,D</i>																			

Tabla 3.13 Programa de obra del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

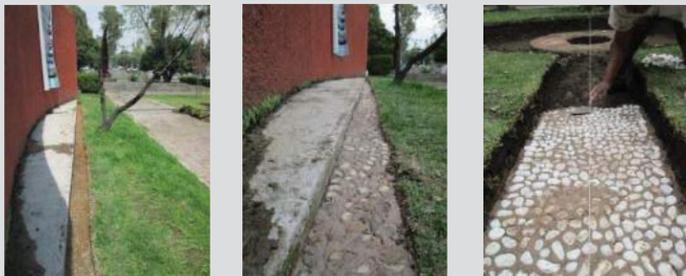
3.4 CONSTRUCCIÓN

En esta etapa fue cuando se construyó el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* logrando con su construcción la consumación de las etapas anteriores. La etapa fue dividida en las tres semanas que abarcó el desarrollo del modelo experimental, comenzando el día 04 de agosto del 2014 y concluyendo el 22 del mismo mes. (**Tabla 3.14**)

DÍA	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
AGOSTO/ 2014			
SEMANA 1			
04 al 08	Construcción de la <i>canaleta D</i>	Construcción de la <i>canaleta D</i> por parte de la empresa contratada. Destinada a dirigir el flujo de agua pluvial del área de captación hacia el jardín de lluvia, con un ancho libre de 30 cm y un ancho total de 54 cm, fue construida con guarniciones de concreto y una rejilla de hierro que permite el paso de la lluvia pero retiene parte de los sólidos arrastrados.	
SEMANA 2			
11	Trazo	Se realizó el trazo del jardín de lluvia sobre el <i>Sitio de Estudio</i> conforme a los planos realizados con anterioridad. Con ayuda de la cinta métrica, estacas de madera e hiladas, se definieron las hidrozonas; así también, con ayuda del nivel de manguera, se definieron los niveles que debía tener cada una de estas.	
12	Excavación de las <i>hidrozonas A y B</i>	Se realizó la excavación correspondiente a las <i>hidrozonas A y B</i> . La excavación se realizó manualmente con ayuda de pala, zapapico y carretilla. Se realizó una remoción de suelo natural de 2.20 m ³ aproximadamente.	

Tabla 3.14 Construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DÍA	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
13	Excavación de las hidrozonas C y E	Se realizó la excavación correspondiente a las hidrozonas C y E. La excavación se realizó manualmente con ayuda de pala, zapapico y carretilla. Se realizó una remoción de suelo natural de 2.50 m ³ aproximadamente.	
15	Excavación de la hidrozona D y canaleta E, andador circular y preparación para la berma	Se realizó la excavación de la hidrozona D, así como la excavación correspondiente a la canaleta E. Se hizo el retiro de la capa de pasto sobre el andador circular, así como la excavación en la misma para darle el nivel correspondiente. Se retiró el pasto sobre la zona que sería la berma. Se realizó una remoción de suelo natural de 2.10 m ³ aproximadamente.	
SEMANA 3			
19	Excavación de las canaletas A y B, colocación de material en canaletas A, B y E	Se realizó la excavación de las canaletas A y B, así como la colocación del acabado de piedra bola de río sobre las mismas. Colocación de piedra mármol blanca en canaleta E. Se realizó una remoción de suelo natural de 0.35 m ³ aproximadamente.	
20	Colocación de piedra mármol en andador circular, colocación de la capa de tezontle	Se coloca piedra mármol blanca en andador circular. Se realiza la sustitución de sustratos, colocando una capa de tezontle de 7 cm de espesor.	

(Continúa) Tabla 3.14 Construcción del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DÍA	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
21	Excavación y colocación de material en la <i>canaleta C</i> . Colocación de material en <i>canaleta D</i> . Construcción de la berma. Compra de vegetación.	Se realiza la excavación de la <i>canaleta C</i> y se coloca el acabado de piedra bola de río en la misma. Se coloca pavimento en la <i>canaleta D</i> . Se construye la berma. Es el día en que se compra la vegetación correspondiente al Mercado Madreselva. Se realizó una remoción de suelo natural de 0.25 m ³ aproximadamente.	
22	Sustitución de sustratos. Plantación.	Se realiza la sustitución de sustratos colando una capa de 9 cm de suelo <i>mejorado A</i> (tezontle, arena de tezontle, suelo natural y tierra negra mejorada con materia orgánica), una capa de 9 cm de suelo <i>mejorado B</i> (tezontle, arena de tezontle, suelo natural y tierra negra mejorada con materia orgánica) y una capa de 5 cm de tierra negra mejorada con materia orgánica. Se realiza la plantación de la vegetación correspondiente con cada hidrozona.	

(Continúa) **Tabla 3.14** Construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

A pesar de tener los atrasos comunes en las etapas de ejecución, así como el comienzo del periodo de lluvia más intenso de la estación pluvial a finales de agosto, la demora en la construcción de la primera etapa por parte del contratista convenido por la UAM-A para ejecutar la *canaleta D* y la interdependencia entre las etapas de la obra, se logró cumplir en tiempo y forma la construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Es importante destacar que dentro de la misma etapa, se debió elegir el tipo de sustrato con el que se construiría el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, para ello se explica el proceso de elección y la composición del mismo.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se construyó en base a un suelo mejorado con tezontle fino y arena de tezontle, habilitado para permitir una adecuada infiltración de 38 mm/h como es recomendado en el Manual de biorretención (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007).

En el mismo manual se cita que en el estado de Delaware el suelo fue compuesto de 1/3 de arena, 1/3 de turba material de origen vegetal y 1/3 de paja fina; en Carolina del Norte, la proporción fue de 85-88% de arena, 8-12% de una mezcla de limo y arcilla y 3-5% de materia orgánica.

Se decidió entonces hacer una composición propia pues no hay una metodología única de proyecto, así como tampoco una estructura tipo de las capas. A nivel subterráneo, el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* está compuesto por cuatro capas estructurales de sustrato con una profundidad de 0.30 m, además de tres capas no estructurales de espesor variable, formado por: (**Fig. 3.13**)

1. CUBIERTA VEGETAL (espesor variable).- Alberga catorce especies nativas arbustivas, herbáceas y cubresuelos, distribuidas en cinco hidrozonas.
2. MULCH VEGETAL (2- 5 cm).- Derivado de la poda arbórea, constituye un acolchado de mediano espesor que provee protección a las especies, además de ayudar a preservar la humedad y evitar la aparición de vegetación espontánea.
3. TIERRA NEGRA MEJORADA CON MATERIA ORGÁNICA (5 cm).- Actúa como el principal sustrato para las plantas, rico en materia orgánica y nutrientes para el óptimo desarrollo de la vegetación.
4. SUELO MEJORADO A (proporción 2:2, 9 cm).- Mezcla compuesta por 2 partes de agregados (½ de arena de tezontle, ½ de sello, 1 de tierra negra mejorada con materia orgánica) por 2 partes de suelo natural. Al tener arena y sello de tezontle, mejora la infiltración y el movimiento de las aguas.
5. SUELO MEJORADO B (proporción 3:2, 9 cm).- Mezcla compuesta por 3 partes de agregados (1 de arena de tezontle, 1 de sello y 1 de tierra negra mejorada con materia orgánica) por 2 partes de suelo natural. Al tener arena y sello de tezontle, mejora la infiltración y el movimiento de las aguas.
6. GRAVILLA DE TEZONTLE (sello) (7 cm).- Actúa como el filtro natural del sistema: retiene parte de los contaminantes que no fueron detenidos en las capas superiores; al ser una roca ígnea compuesta de piedra pómez, magma y arena, se vuelve porosa y ligera, ayudando a distribuir el agua en el subsuelo y actuando como reservorio.
7. SUELO NATURAL (espesor variable).- Es el suelo preexiste en el terreno.

La composición anterior fue de trascendental importancia, pues permitió que el desarrollo y funcionamiento del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* fuera el adecuado, además de que posibilitó los procesos correctos de bioinfiltración y biorretención, permitiendo que el agua pluvial se infiltrara en una tasa de infiltración promedio de 85 mm/h. (**Ver 4.2.5 Evaluación de tres eventos pluviales**)

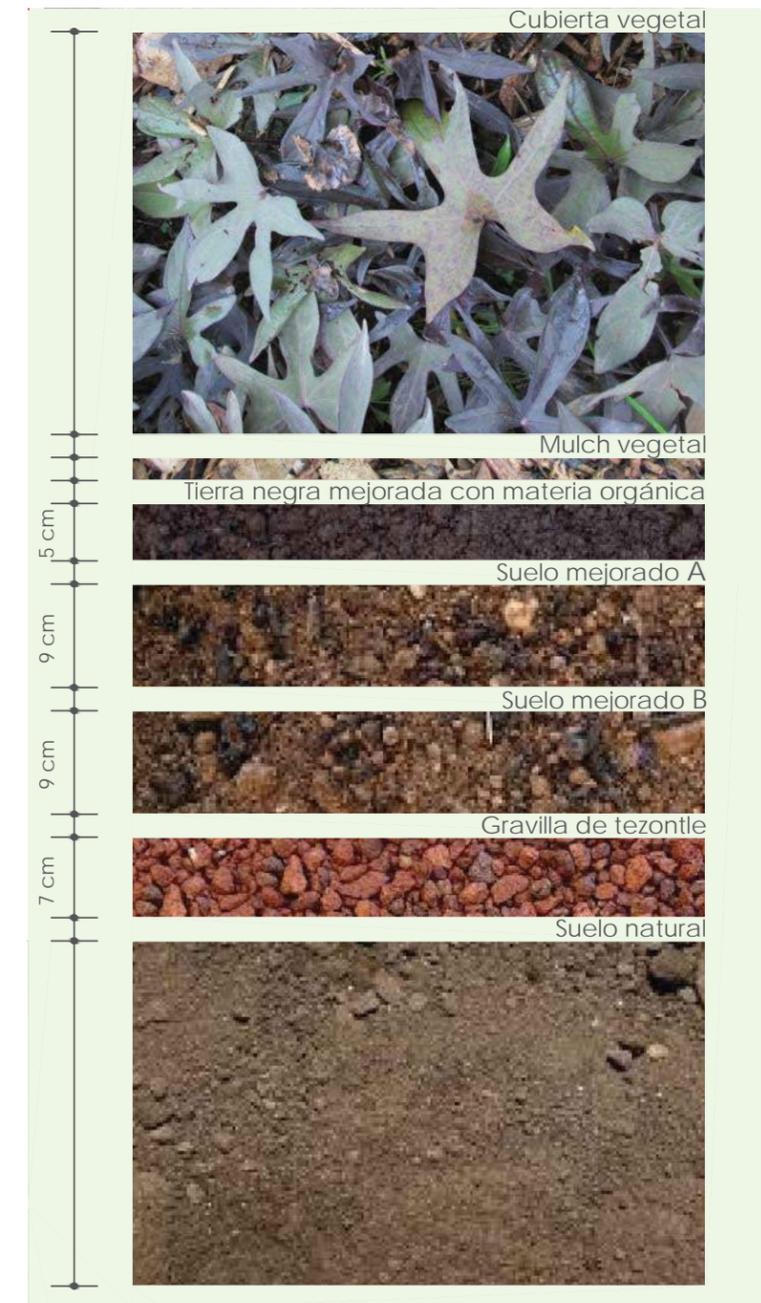


Figura 3.13 Capas de sustratos dispuestas en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

Así mismo, cuando se llevó a cabo la etapa de la construcción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, uno de los procesos clave fue el de diseñar señalética informativa que sirviera como fuente de información para comunicar a la comunidad académica y estudiantil sobre los jardines de lluvia y las características que los definen.

Para ello se diseñó una estela informativa (**Fig. 3.14**) en la que se plasmaron los conceptos anteriores, en la que además se incluyó el logotipo del proyecto y algunas recomendaciones a la comunidad para que el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* pudiera ser monitoreado con veracidad. (**Ver anexo A, planos D-07 y D-08**)

El objetivo de diseñar cuidadosamente dicha señalética se vería reflejado posterior, cuando al momento de diseñar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* se valoraría el potencial que tienen para contribuir a la educación ambiental, logrando no sólo la difusión de los jardines de lluvia como estrategia paisajística para hacer un mejor uso y manejo del agua pluvial en las ciudades, sino como parte de un criterio de sustentabilidad de información, en el que se involucra a la ciudadanía en los procesos que se están llevando a cabo en los espacios que están siendo diseñados para el uso de ellos mismos.

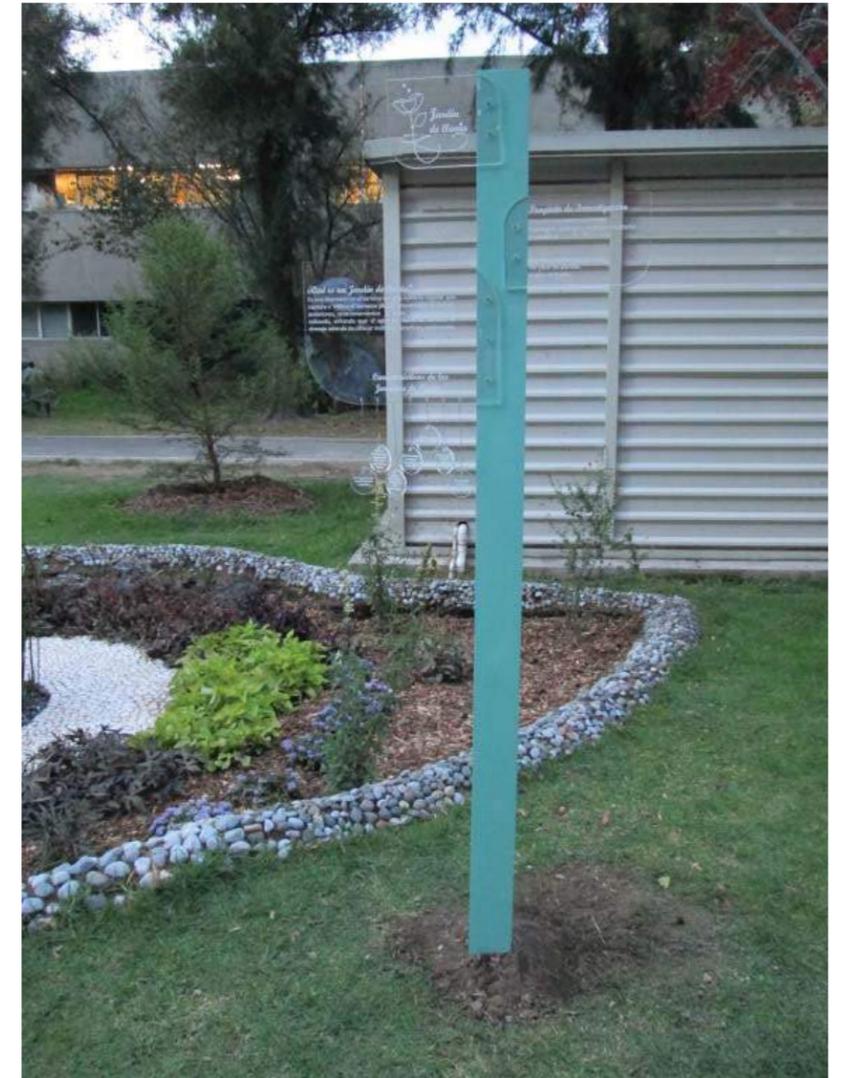


Figura 3.14 Estela informativa del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.5 PALETA VEGETAL SELECCIONADA

La elección de la paleta vegetal fue una etapa decisiva en el desarrollo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, pues en ella se definieron las especies que serían utilizadas, las cuales debieron tener como característica principal el ser especies nativas de la región, además de tener un requerimiento hídrico conforme a la ubicación que tendrían.

La vegetación fue obtenida de dos principales proveedores: el *mercado Madreselva* en la demarcación Xochimilco, por ser el principal centro de venta de flores y plantas de ornato en la Ciudad de México y a través de la *Red Viverista*, vivero con ventas por internet con sede en Cuernavaca, Morelos.

Del primer vivero se obtuvieron las especies que debido a su popularidad dentro de la producción de ornato, se encontraron con relativa facilidad; mientras que del segundo se mandaron traer aquellas especies que no fueron encontradas en el primero.

El resultado fue una selección de sesenta ejemplares de catorce especies elegidas. (**Tabla 3.15**) (**Fig. 3.19**)

3.5.1 Importancia de la vegetación nativa

Elegir una paleta vegetal completamente nativa fue un objetivo perseguido al momento de seleccionar las especies, pues además de otorgar al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* un carácter único cultural, la elección de las especies tendría una relación directa con su diseño. (**Fig. 3.15**)

Es necesario destacar que la importancia de contar con una paleta vegetal constituida por especies nativas radica no sólo en el uso de la vegetación local, sino también, en que se emplea vegetación que ha prevalecido a lo largo de los siglos, dejando constancia de la riqueza y diversidad vegetal existente.

Algunas de las ventajas que ofrece el uso de la vegetación nativa sobre la vegetación introducida son:

- ESTABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS.- Ayudan a mantener el delicado equilibrio de los ecosistemas, ya sean naturales o antropizados.
- CONTROL DE PLAGAS.- Poseen insectos asociados que controlan el crecimiento de las plagas al comerlas y evitar que se propaguen, a la vez estos insectos sirven como alimento para aves o reptiles que en conjunto forman el ecosistema.
- CONSUMO DE AGUA.- Las especies autóctonas son de modo natural eficientes con el consumo hídrico al haber adaptado su estructura biológica al régimen pluviométrico de la región a lo largo de generaciones.
- INFILTRACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA.- Al encontrarse las especies nativas adaptadas a una región, consumen menos agua de lluvia, dejando infiltrar una mayor cantidad de la misma al subsuelo.



Figura 3.15 Vegetación nativa. Ofrece múltiples ventajas sobre la vegetación introducida: menor consumo de agua, adaptabilidad al entorno, bajo mantenimiento, integración con el paisaje, entre otros. *Sprekelia formosissima*. Fuente: *Cassandra Badillo, 2014*.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

- RESISTENCIA AL SUELO.- Las especies autóctonas se encuentran adaptadas para crecer en suelos con carencias minerales, altamente salinos, en suelos rocosos, volcánicos, u otros según la región en la que se desarrollen; las especies exógenas, rara vez sobreviven al periodo de adaptación cuando son introducidas en un hábitat diferente.
- PROPAGACIÓN.- Como son plantas que se valen de los medios naturales para reproducirse como la polinización cruzada, mediante esporas, a través de **estolones** o por la división de bulbos, se pueden automultiplicar sin la ayuda del ser humano.
- MANTENIMIENTO.- Al haber sobrevivido sin la ayuda del hombre durante miles de años, requieren de un mantenimiento mínimo o nulo que puede verse traducido en la reducción de los costos de mantenimiento y en el tiempo invertido en el mismo.
- CUALIDADES ETNOBOTÁNICAS.- Las especies nativas tienen un fuerte vínculo con la sociedad en comparación con las especies introducidas, pues las primeras forman parte de la cultura de los habitantes de una región, al haberlas empleado para alimentarse, vestirse y curarse a lo largo de generaciones.
- INTEGRACIÓN AL PAISAJE.- Las especies autóctonas se integran con mayor facilidad al paisaje urbano y rural, al adaptarse al entorno armónica y paulatinamente.

3.5.2 Proceso de selección

Para la selección de la paleta vegetal se consideró el espacio disponible para realizar el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, en vista de que se contó con un área de 14.00 m², se decidió que por cada m² se alojaría una especie, generando así una paleta vegetal consistente en 14 especies, cada una de las cuales, fue elegida en base a los siguientes criterios:

CRITERIOS DE REQUERIMIENTO HÍDRICO

- REQUERIMIENTO HÍDRICO.- Fue necesario ubicar cada una de las especies según la **hidrozona** correspondiente, asociando de este modo las especies con mayor necesidad de agua en la depresión central (hidrozona A), seguido de las especies con requerimiento moderado (hidrozonas B y C), y las especies de bajo consumo de agua en los taludes laterales (hidrozonas D y E). (**Fig. 3.16**)

Es importante mencionar que, independientemente del requerimiento de agua de cada especie, el aporte hídrico sería proporcionado durante la temporada de lluvias, por lo que todas ellas deberían de sobrevivir con la reserva de agua acumulada en su estructura, durante los meses de mínima precipitación pluvial.

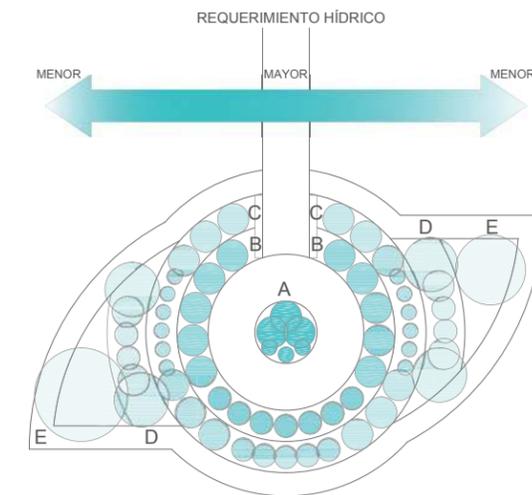


Figura 3.16 Proceso de selección. Criterios de requerimiento hídrico. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

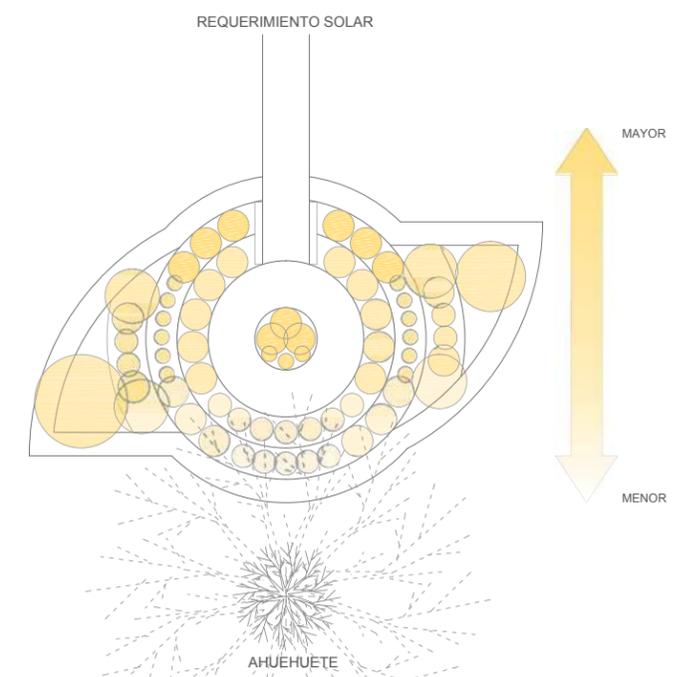


Figura 3.17 Proceso de selección. Criterios de requerimiento solar. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

CRITERIOS AMBIENTALES

- **ESPECIES NATIVAS.**- Se procuró que las catorce especies fueran nativas y de ser posible endémicas.
- **ATRACCIÓN DE FAUNA BENÉFICA.**- Se propusieron especies que atrajeran aves e insectos benéficos como colibríes, abejas y mariposas para permitir la polinización; para esto, se eligieron especies cuyas flores tuvieran un alto contenido de néctar y fueran de color rojizo para atraer a colibríes como la *Cedronella mexicana* y *Salvia microphylla*, y especies cuyo polen y colorido atrajeran a las abejas y mariposas como la *Tigridia pavonia* y *Salvia leucantha*.

CRITERIOS ECONÓMICOS

- **RELACIÓN COSTO-DISPONIBILIDAD.**- Después de comprobar la disponibilidad de especies nativas en los viveros de donde se adquirirían los ejemplares, se compararon los costos ofrecidos para obtenerlas al mejor precio posible.

Fue una etapa particularmente difícil de concretar, pues a pesar de requerir únicamente con catorce especies vegetales, fueron muy difíciles de hallar. Lo anterior, en base a que en el comercio de plantas cubresuelos, herbáceas y arbustivas con potencial ornamental en términos nacionales, son contadas las especies nativas que se producen y aprovechan con dichos fines, ya que los productores se enfocan en especies introducidas, que debido a la alta adaptación al suelo mexicano y a la popularidad entre los clientes, han remplazado a muchas de las especies nativas y/o **endémicas**.

CRITERIOS DE DISEÑO

- **MÁXIMO CRECIMIENTO.**- Fue imprescindible hacer una proyección del máximo crecimiento que llegarían a tener las especies vegetales seleccionadas, lo anterior con la finalidad de diseñar correctamente cada una de las hidrozonas, además de contemplar la compra del número de ejemplares de cada especie y para plantar las variedades vegetales según las distancias mínimas exigidas para su sano desarrollo.
- **REQUERIMIENTO SOLAR.**- Se eligió una paleta vegetal que incluyera especies de alto y bajo requerimiento solar, para distribuir las según la incidencia solar recibida: alta en la zona sur del proyecto, y considerando el crecimiento que tendrían el ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) se ubicaron las especies con tolerancia a la sombra en la región norte del *Modelo experimental de jardín de UAM-A*. (**Fig. 3.17**)
- **VISUALES Y EJES DE COMPOSICIÓN.**- Al momento de elegir la paleta vegetal se reparó en orientar las especies respetando el eje principal de composición, que dirige la visual paisajística hacia el remate visual conformado por el ahuehuete (*Taxodium mucronatum*). (**Fig. 3.18**)

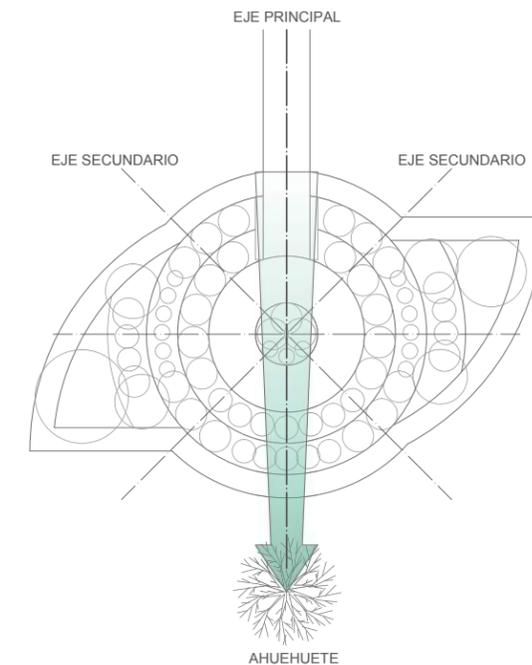


Figura 3.18 Proceso de selección. Visuales y ejes de composición.
Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

CRITERIOS ETNOBOTÁNICOS

- **IDENTIDAD CULTURAL.**- Uno de los principales objetivos de la presente investigación fue diseñar un modelo experimental de jardín de lluvia que reflejara sus raíces culturales por lo que, además de incluir especies nativas, se buscó que éstas tuvieran un profundo significado en la memoria colectiva de los usuarios.

Es por lo anterior, que la paleta vegetal fue seleccionada en base a especies con las que las personas se sienten identificadas, al tratarse de plantas que siempre han estado presentes en su cultura, las cuales asocian con algún uso medicinal, significado cultural o uso gastronómico.

CRITERIOS POLISENSORIALES

- **CONTRASTE CROMÁTICO.**- Cada una de las especies debía poseer un colorido característico y estacional; para ello se seleccionaron variedades que proporcionaran tonalidades contrastantes, eligiendo especies que se encontraran en floración, mientras otras estuvieran latentes.
- **DIFERENCIA DE ALTURAS.**- Requerida para estratificar cada una de las hidrozonas. Se procuró que la mayoría de las especies vegetales fueran visibles desde la parte central del modelo experimental, en sentido sur-norte como la principal visual existente; así, se eligieron especies que atrajeran la atención al centro debido a su verticalidad; después, desde el centro del diseño, la altura de las plantas asciende en los tres sentidos semejando un cuenco.
- **TEXTURA.**- Se consideraron diferentes texturas en cada una de las especies tanto en sus hojas, flores y tallos, para permitir el contraste visual y táctil.
- **OLOR.**- Se eligieron especies vegetales que estimularan los sentidos a través del olfato, seleccionando variedades aromáticas que resultaran placenteras para los usuarios.

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
MERCADO MADRESELVA	
<i>Ageratum houstonianum</i>	Hierba de zopilote
<i>Canna indica</i>	Platanillo
<i>Dahlia variabilis</i>	Dalia
<i>Equisetum hyemale</i>	Cola de caballo
<i>Tigridia pavonia</i>	Flor de tigre
<i>Tradescantia zebrina</i>	Zebrina
RED VIVERISTA	
<i>Cedronella mexicana</i>	Toronjil de monte
<i>Ipomoea batatas</i> "Black"	Ipomea negra
<i>Ipomoea batatas</i> "Chartreuse"	Ipomea limón
<i>Ruellia brittoniana</i> "Compacta"	Petunia mexicana compacta
<i>Salvia leucantha</i>	Salvia mexicana
<i>Salvia microphylla</i>	Mirto de montes
<i>Sprekelia formosissima</i>	Lirio azteca
<i>Tradescantia pallida</i> "Purpurea"	Niña en barco

Tabla 3.15 Paleta vegetal del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A



7 *Ipomoea batatas*
"Chartreuse"



8 *Ruellia brittoniana*
"Compacta"



9 *Salvia leucantha*



10 *Salvia microphylla*



11 *Sprekelia formosissima*



12 *Tigridia pavonia*



1 *Ageratum houstonianum*



2 *Canna indica*



3 *Cedronella mexicana*



4 *Dahlia variabilis*



5 *Equisetum hyemale*



6 *Ipomoea batatas*
"Black"



13 *Tradescantia pallida*
"Purpurea"



14 *Tradescantia zebrina*

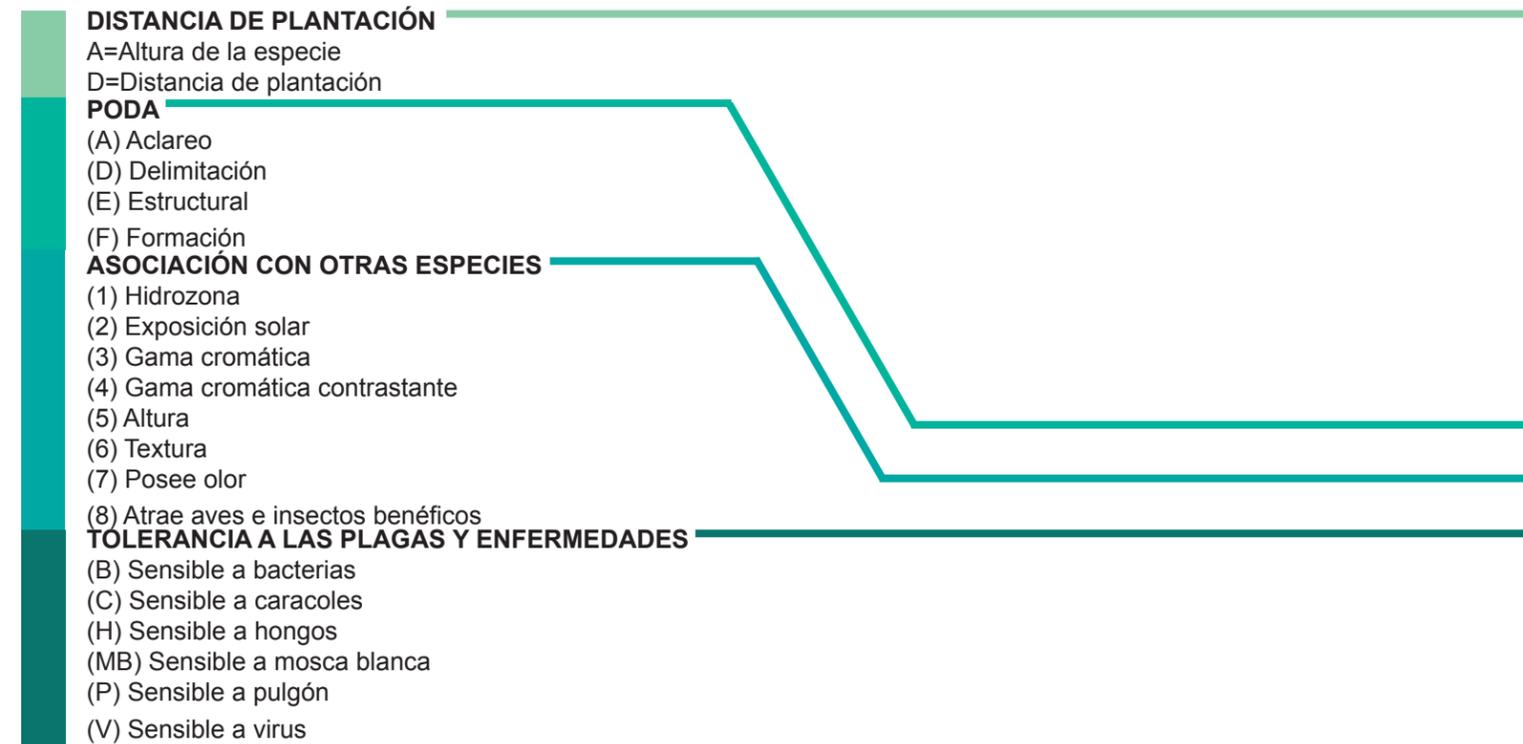
Figura 3.19 Paleta vegetal del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.5.3 Fichas etnobotánicas de la paleta vegetal seleccionada

Se elaboraron las fichas etnobotánicas de las catorce especies seleccionadas para la paleta vegetal del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, empleando un formato de diseño que incluye las características de cada especie: generales, desarrollo óptimo, plantación y significado cultural; la tabla cromática con la coloración de las hojas y flores; la tolerancia a la exposición solar, pH en suelo, poda, tolerancia a la contaminación atmosférica, y tolerancia a las plagas y enfermedades; demanda hídrica y uso paisajístico potencial. (Fig. 3.20)

Para elaborar dicho formato, se tomaron como base los lineamientos establecidos en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2012, que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes en el Distrito Federal,⁶⁷ adicionando contribuciones propias.

Se presentan las referencias para una mejor lectura de las *Fichas etnobotánicas de la paleta vegetal seleccionada*:



Tigridia pavonia Flor de tigre

Familia: Iridaceae
Distribución: México




Descripción: herbácea de bulbo carnoso y hojas largas y envainantes con flores de colores variados que van desde el rosa, amarillo, amarillo pálido, blanco, naranja y rojo, con manchas de aspecto atigrado.
Foliación: anual.
Clima: templado.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: se estima que un bulbo puede durar hasta 15 años.
Suelo: fértil, con materia orgánica, con buen drenaje y preferentemente esterilizado.
Fertilización: una vez al año cuando brota el tallo del bulbo.
Características generales: a principios de primavera a una profundidad de 10 a 15 cm.
Distancia: A=40 a 70 cm, D=15 a 60 cm, según la densidad deseada.
Trasplante: tolera bien el trasplante siempre y cuando se realice correctamente
Propagación: mediante la división del bulbo o por semillas.
Nombre náhuatl: Oceloxóchitl.
Referencia histórica: Códice Badiano, Códice Florentino y otros.
Uso tradicional cultural: ornamental, por la belleza y rareza de su flor. Alimenticio, el bulbo es empleado como alimento cocido. Medicinal, el bulbo se tiene registrado como antipirético.

	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas												
Flores												

DEMANDA HÍDRICA
HIDROZONA D Baja Media Alta
 Tolerancia a la sequía
 Tolerancia a la inundación

USO PAISAJÍSTICO POTENCIAL
Características paisajísticas: es una especie muy valorada debido a que su flor dura únicamente un día; es muy llamativa por su colorido y la rareza de sus manchas.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (8) Atrae aves e insectos benéficos
 (2) Exposición solar (5) Altura
Uso paisajístico: recomendada para macizos y/o arriates, para utilizarse en macetas de manera aislada o en grupo, ideal para camellones con una plantación escalonada.

TOLERANCIA

	Baja / * Ácido	Media / Neutro	Alta / Alcalino
Exposición solar			
pH en suelo*			
Poda		F	
Tolerancia a la contaminación atmosférica			
Tolerancia a las plagas y enfermedades			H

Figura 3.20 Ejemplo de Ficha etnobotánica de la paleta vegetal seleccionada. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

⁶⁷ Norma ambiental para el Distrito Federal que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes en el Distrito Federal. Norma Ambiental para el Distrito Federal. NADF-006-RNAT-2012. Diario Oficial de la Federación, 17 de Septiembre de 2013.

Ageratum houstonianum Hierba de zopilote

Familia: Asteraceae

Distribución: desde el sur de Arizona a Guatemala



SIGNIFICADO CULTURAL PLANTACIÓN OPTIMO DESARROLLO GENERAL

Descripción: herbácea con hojas **opuestas** y flores dispuestas en **corimbos** cuya forma es muy parecida a la de un pincel en color lila.
Foliación: anual.
Clima: templado húmedo/tropical.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: debido a que es una especie **anual** y en casos específicos **bianual**, su sobrevivencia máxima será de 2 años.
Suelo: poco compactado y húmedo.
Fertilización: una vez al año durante el período de floración.
Características generales: suelos normales preferentemente húmedos.
Distancia: A=30 a 50 cm, D=30 a 50 cm.
Trasplante: resiste medianamente el trasplante, de llevarlo a cabo, realizar con los especímenes a punto de florecer.
Propagación: por semilla
Nombre náhuatl: S/D
Referencia histórica: S/D
Uso tradicional cultural: medicinal, empleado para aliviar el dolor de garganta.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color scale from light to dark green]											
Flores	[Color scale from light to dark purple]											

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino			
	Exposición solar			
pH en suelo*				
Poda			F	
Tolerancia a la contaminación atmosférica				
Tolerancia a las plagas y enfermedades				MB

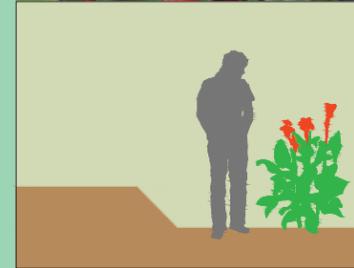
DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA C			
	Baja	Media	Alta	
Tolerancia a la sequía				
Tolerancia a la inundación				

Características paisajísticas: debido a la altura de la especie, es ideal para ser utilizada en áreas donde se requiera una máxima visibilidad.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (3) Gama cromática
 (2) Exposición solar (7) Posee olor
Uso paisajístico: recomendada para grandes extensiones (**parterres** o **arriates**) o de uso en **bordillos**: debido a la estructura de la especie, se recomienda para plantación a tresbolillo.

Canna indica Platanillo

Familia: Cannaceae

Distribución: de México a las Antillas



SIGNIFICADO CULTURAL PLANTACIÓN OPTIMO DESARROLLO GENERAL

Descripción: herbácea de vistosas tonalidades, dependiendo de la variedad que se trate, posee hojas color verde claro a marrón y grandes **flores** en tonos amarillos, rojos, naranjas y rosas.
Foliación: perenne.
Clima: tropical húmedo.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: se recomienda propagar una nueva generación mediante **rizomas** saludables cada 5 años.
Suelo: rico en materia orgánica con buen drenaje.
Fertilización: una vez al año durante su periodo de floración.
Características generales: plantar a principios de primavera a una profundidad de 10 cm.
Distancia: A=50 a 150 cm, D=40 a 60 cm.
Trasplante: toleran muy bien los trasplantes a través de rizomas.
Propagación: por rizomas o **semillas** previamente remojadas.
Nombre náhuatl: Acaxóchitl.
Referencia histórica: S/D
Uso tradicional cultural: alimenticio, del rizoma se extrae un almidón con el que se elaboran diversos panes (Colombia principalmente), en ocasiones se emplea su **hoja** para envolver tamales.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color scale from light to dark green]											
Flores	[Color scale from light to dark red]											

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino			
	Exposición solar			
pH en suelo*				
Poda			E	
Tolerancia a la contaminación atmosférica				
Tolerancia a las plagas y enfermedades				H/C

DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA A			
	Baja	Media	Alta	
Tolerancia a la sequía				
Tolerancia a la inundación				

Características paisajísticas: debido a que la especie presenta una estructura vertical, puede ser empleada en grandes grupos proporcionando una barrera vegetal o aislada como elemento a destacar.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (4) Gama cromática contrastante
 (2) Exposición solar (5) Altura
Uso paisajístico: recomendada para grandes extensiones (**arriates**) debido a su rápida autopropagación y su capacidad para formar matas densas; es común su uso junto a cuerpos de agua.

Figura 3.21 Fichas etnobotánicas *Ageratum houstonianum* y *Canna indica*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

Cedronella mexicana

Toronjil de monte

Familia: Lamiaceae

Distribución: de México a Guatemala



GENERAL
DESARROLLO
ÓPTIMO
PLANTACIÓN
SIGNIFICADO
CULTURAL

Descripción: herbácea de tallos cuadrados con hojas **aserradas** y flores dispuestas en **racimos** terminales en colores blanco, rosa o rosa-morado.

Foliación: perenne.

Clima: templado/tropical.

Crecimiento: rápido.

Longevidad: al ser una planta perenne presenta largos ciclos de crecimiento, se recomienda reproducir cada 2 años a partir de **esquejes** sanos.

Suelo: crece mejor en suelos con tendencia arenosa y con buen drenaje.

Fertilización: una vez al año durante el período de floración.

Características generales: plantar espaciando entre un ejemplar y otro debido a su desarrollo horizontal.

Distancia: A=90 a 200 cm, D=100 a 160 cm.

Trasplante: tolera bien el trasplante en edad adulta.

Propagación: por esquejes.

Nombre náhuatl: Tzonpilihui.

Referencia histórica: aparece en el Códice Badiano.

Uso tradicional cultural: medicinal, se utilizan las flores en infusión junto con otras hierbas para tratar enfermedades nerviosas o solas para tratar la tos.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas												
Flores												

DEMANDA HIDRICA	HIDROZONA D		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía			
Tolerancia a la inundación			

TOLERANCIA	Baja /	Media /	Alta /
	* Ácido	Neuro	Alcalino
Exposición solar			
pH en suelo*			
Poda		E	
Tolerancia a la contaminación atmosférica			
Tolerancia a las plagas y enfermedades			P

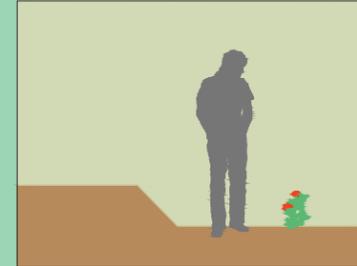
USO PAISAJISTICO POTENCIAL	Características paisajísticas:	
	posee un aroma característico que atrae insectos benéficos, mariposas y colibríes.	
Asociación con otras especies:	se recomienda relacionar con especies que compartan:	
	(1) Hidrozona (6) Textura	(7) Posee olor (8) Atrae aves e insectos benéficos
Uso paisajístico:	recomendado para proyectos en los que se necesite la presencia de agentes polinizadores.	

Dahlia variabilis

Dalia

Familia: Asteraceae

Distribución: de México a Guatemala



GENERAL
DESARROLLO
ÓPTIMO
PLANTACIÓN
SIGNIFICADO
CULTURAL

Descripción: herbácea con hojas dentadas color verde oscuro, posee flores en diversas tonalidades desde el rojo y amarillo hasta el naranja o rosa.

Foliación: anual.

Clima: templado.

Crecimiento: rápido.

Longevidad: propagar artificialmente nuevos ejemplares cada 2 años.

Suelo: prefiere los suelos ricos en arcilla y silicio, bien drenados, con materia orgánica y poco compactados.

Fertilización: una vez año agregando materia orgánica y potasio.

Características generales: en verano por esquejes o primavera por tubérculos.

Distancia: A=30 a 50 cm, D=50 a 65 cm.

Trasplante: soporta bien el trasplante y la división bianual del **tubérculo**.

Propagación: se puede propagar mediante esquejes o con la división del tubérculo.

Nombre náhuatl: Acocoxóchitl.

Referencia histórica: Códice Badiano. Historia natural de Nueva España.

Uso tradicional cultural: alimenticio, desde tiempos precolombinos la raíz y la flor han sido utilizados como alimento. Es la flor nacional de México.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas												
Flores												

DEMANDA HIDRICA	HIDROZONA D		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía			
Tolerancia a la inundación			

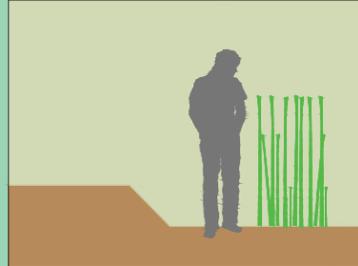
TOLERANCIA	Baja /	Media /	Alta /
	* Ácido	Neuro	Alcalino
Exposición solar			
pH en suelo*			
Poda		F	
Tolerancia a la contaminación atmosférica			
Tolerancia a las plagas y enfermedades			V/P

USO PAISAJISTICO POTENCIAL	Características paisajísticas:	
	posee flores muy vistosas y coloridas que crean puntos focales cuando son plantadas en macizos.	
Asociación con otras especies:	se recomienda relacionar con especies que compartan:	
	(1) Hidrozona (2) Exposición solar	(4) Gama cromática contrastante (5) Altura
Uso paisajístico:	recomendada para grandes extensiones (parterres) debido a su densidad floral, colorido y variedad.	

Figura 3.22 Fichas etnobotánicas *Cedronella mexicana* y *Dahlia variabilis*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

Equisetum hyemale Cola de caballo

Familia: Equisetaceae
Distribución: Norteamérica



Descripción: herbácea erecta en forma de **junco**, generalmente no ramificada con tallos acanalados y divididos por anillos, presenta un color verde oscuro.
Foliación: perenne.
Clima: templado/subtropical.

Crecimiento: rápido.
Longevidad: al ser una planta perenne presenta ciclos de crecimiento indefinidos, pero es recomendable realizar podas para quitar densidad cada año.
Suelo: húmedo, a orillas de cuerpos de agua.
Fertilización: se recomienda añadir materia orgánica una vez al año.
Características generales: plantar sobre sitios muy húmedos y con tierra no muy compacta.
Distancia: A=100 a 180 cm, D=30 a 50 cm.
Trasplante: resiste muy bien el **trasplante**.
Propagación: se propaga de manera natural mediante rizomas, para propagación artificial basta con trasplantar algunas matas a un nuevo sitio.

Nombre náhuatl: S/D
Referencia histórica: S/D
Uso tradicional cultural: medicinal, se le atribuyen propiedades diuréticas y es empleada para tratar problemas renales.

GENERAL
DESARROLLO ÓPTIMO
SIGNIFICADO CULTURAL PLANTACIÓN

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas												

TOLERANCIA	Baja / * Ácido	Media / Neutro	Alta / Alcalino
	Exposición solar		
pH en suelo*			
Podas		A/E	
Tolerancia a la contaminación atmosférica			
Tolerancia a las plagas y enfermedades			C

DEMANDA HIDRICA	HIDROZONA A		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía			
Tolerancia a la inundación			

Características paisajísticas: debido a su estructura vertical, puede ser empleada como barrera visual y/o divisoria.

Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
(1) Hidrozona (5) Altura
(3) Gama cromática (6) Textura

Uso paisajístico: recomendada para plantar junto a cuerpos de agua o en jardines acuáticos, es bastante utilizada en jardinería minimalista debido a su geometría sencilla.

Ipomoea batatas “Black” Ipomea negra

Familia: Convolvulaceae
Distribución: de México a Colombia



Descripción: herbácea **cubresuelos** con hojas de color violeta oscuro-negro y flores color rosa pálido rara vez visibles.
Foliación: perenne.
Clima: templado/subtropical.

Crecimiento: muy rápido.
Longevidad: al ser perenne, presenta ciclos de crecimiento indefinidos, reduciendo ligeramente su extensión durante el invierno.
Suelo: crece bien en cualquier tipo de suelo con buen drenaje.
Fertilización: se recomienda añadir materia orgánica una vez al año.
Características generales: deben enterrarse los tubérculos a una profundidad mínima de 30 cm.
Distancia: A=15 a 35 cm, D=70 a 160 cm, dependiendo la densidad deseada.
Trasplante: tolera muy bien el trasplante y la división del tubérculo.
Propagación: mediante tubérculos o esquejes.
Nombre náhuatl: el tubérculo es llamado Camohtli.
Referencia histórica: Historia Natural o Jardín Americano.
Uso tradicional cultural: alimenticio, posee tubérculos comestibles muy populares entre la población americana, según la variedad de la que se trate, pueden ser más o menos dulces.

GENERAL
DESARROLLO ÓPTIMO
SIGNIFICADO CULTURAL PLANTACIÓN

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas												

TOLERANCIA	Baja / * Ácido	Media / Neutro	Alta / Alcalino
	Exposición solar		
pH en suelo*			
Podas			D
Tolerancia a la contaminación atmosférica			
Tolerancia a las plagas y enfermedades			MB

DEMANDA HIDRICA	HIDROZONA B		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía			
Tolerancia a la inundación			

Características paisajísticas: posee un gran crecimiento horizontal (extensión) por lo que con pocos ejemplares se pueden cubrir amplias zonas.

Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
(1) Hidrozona (5) Altura
(4) Gama cromática contrastante

Uso paisajístico: recomendada para grandes extensiones (parterres) o para el uso en muros a modo de cascada (no muros verdes), es ideal para lugares donde se quiera crear contraste cromático.

Figura 3.23 Fichas etnobotánicas *Equisetum hyemale* e *Ipomoea batatas* “Black”. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

Ipomoea batatas “Chartreuse” Ipomea limón

Familia: Convolvulaceae

Distribución: de México a Colombia



SIGNIFICADO CULTURAL PLANTACIÓN DESARROLLO ÓPTIMO GENERAL

Descripción: herbácea cubresuelos con hojas de color verde limón y flores color rosa pálido rara vez visibles.
Foliación: perenne.
Clima: templado/subtropical.
Crecimiento: muy rápido.
Longevidad: al ser perenne, presenta ciclos de crecimiento indefinidos, reduciendo ligeramente su extensión durante el invierno.
Suelo: crece bien en cualquier tipo de suelo con buen drenaje.
Fertilización: se recomienda añadir materia orgánica una vez al año.
Características generales: deben enterrarse los tubérculos a una profundidad mínima de 30 cm.
Distancia: A=15 a 25 cm, D=90 a 120 cm, dependiendo la densidad deseada.
Trasplante: tolera muy bien el trasplante y la división del tubérculo.
Propagación: mediante tubérculos o esquejes.
Nombre náhuatl: el tubérculo es llamado Camohtli.
Referencia histórica: Historia Natural o Jardín Americano.
Uso tradicional cultural: alimenticio, posee tubérculos comestibles muy populares entre la población americana, según la variedad de la que se trate, pueden ser más o menos dulces.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color scale from light to dark green]											
Flores	[Color scale from light to dark purple]											

DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA B		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía	[Color scale from light to dark blue]		
Tolerancia a la inundación	[Color scale from light to dark blue]		

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino			
	Baja	Media	Alta	* Ácido / Neutro / Alcalino
Exposición solar	[Color scale from light to dark grey]			
pH en suelo*	[Color scale from light to dark grey]			
Poda	[Color scale from light to dark grey]			
Tolerancia a la contaminación atmosférica	[Color scale from light to dark grey]			
Tolerancia a las plagas y enfermedades	[Color scale from light to dark grey]			

USO PAISAJÍSTICO POTENCIAL
Características paisajísticas: posee un gran crecimiento horizontal (extensión) por lo que con pocos ejemplares se pueden cubrir amplias zonas.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (5) Altura
 (4) Gama cromática contrastante
Uso paisajístico: recomendada para grandes extensiones (parterres) o para el uso en muros a modo de cascada (no muros verdes), es ideal para lugares donde se quiera crear contraste cromático.

Ruellia brittoniana “Compacta” Petunia mexicana compacta

Familia: Acanthaceae

Distribución: México



SIGNIFICADO CULTURAL PLANTACIÓN DESARROLLO ÓPTIMO GENERAL

Descripción: herbácea con hojas en forma lanceolada estrechas color verde oscuro y flores compuestas de cinco pétalos en forma de trompeta color azul púrpura pálido.
Foliación: perenne.
Clima: tropical/subtropical.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: al ser perenne presenta ciclos indefinidos, pero se recomienda dividir el rizoma cada año obteniendo de este modo dos ejemplares por cada uno.
Suelo: fértil con buen drenaje.
Fertilización: una vez al año añadiendo fósforo a la mezcla de materia orgánica.
Características generales: plantar los ejemplares a una profundidad de 20 cm.
Distancia: A=20 a 35 cm, D=55 a 60 cm.
Trasplante: tolera bien el trasplante siempre y cuando se realice correctamente.
Propagación: mediante la división del rizoma (división de toda la mata) o por semillas que tienden a propagarse solas y proliferan con facilidad.
Nombre náhuatl: S/D
Referencia histórica: S/D
Uso tradicional cultural: ornamental, la especie tiene una gran capacidad de adaptación por lo que es usada en áreas verdes.
 Medicinal, tiene propiedades diuréticas y antioxidantes poco estudiadas.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color scale from light to dark green]											
Flores	[Color scale from light to dark purple]											

DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA C		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía	[Color scale from light to dark blue]		
Tolerancia a la inundación	[Color scale from light to dark blue]		

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino			
	Baja	Media	Alta	* Ácido / Neutro / Alcalino
Exposición solar	[Color scale from light to dark grey]			
pH en suelo*	[Color scale from light to dark grey]			
Poda	[Color scale from light to dark grey]			
Tolerancia a la contaminación atmosférica	[Color scale from light to dark grey]			
Tolerancia a las plagas y enfermedades	[Color scale from light to dark grey]			

USO PAISAJÍSTICO POTENCIAL
Características paisajísticas: debido al volumen reducido de la especie, es ideal para espacios limitados o donde se requiera una visual franca.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (8) Atrae aves e insectos benéficos
 (5) Altura
Uso paisajístico: recomendada para grandes extensiones (parterres) a modo de **tresbolillo** y en terrenos particularmente difíciles; recomendada para los bordes de los cuerpos de agua.

Figura 3.24 Fichas etnobotánicas *Ipomoea batatas* “Chartreuse” y *Ruellia brittoniana* “Compacta”. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

Salvia leucantha

Salvia mexicana

Familia: Lamiaceae
Distribución: México



GENERAL
DESARROLLO ÓPTIMO
SIGNIFICADO CULTURAL
PLANTACIÓN

Descripción: arbusto con hojas lanceoladas ásperas al tacto color verde oscuro, posee flores blancas que aparecen de un cáliz color lila azulado y que están cubiertas de pelos, las flores aparecen en grandes cantidades.
Foliación: perenne.
Clima: templado/semicálido/semiseco.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: los ejemplares viven de 10 a 30 años, es recomendable reducir a la mitad su tamaño mediante la poda invernal para optimizar su desarrollo.
Suelo: fértil, bien drenado y poco compactado.
Fertilización: una vez al año durante el período de floración.
Características generales: plantar espaciado adecuadamente los ejemplares.
Distancia: A=90 a 150 cm, D=140 a 200 cm, dependiendo la densidad deseada.
Trasplante: soporta bien el trasplante si se realiza correctamente.
Propagación: por división de la mata, esquejes o semillas.
Nombre náhuatl: Tochomixóchitl.
Referencia histórica: Historia natural de Nueva España y Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.
Uso tradicional cultural: medicinal, empleada para combatir enfermedades respiratorias; utilizada sola es abortiva.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color chart for leaves]											
Flores	[Color chart for flowers]											

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino			
	Exposición solar	[Tolerance level]		
pH en suelo*	[Tolerance level]			
Poda	A/E			
Tolerancia a la contaminación atmosférica	[Tolerance level]			
Tolerancia a las plagas y enfermedades	H			

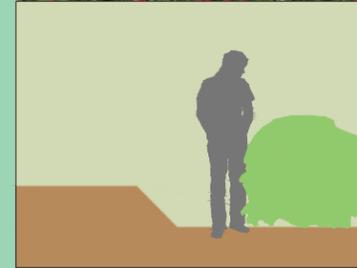
DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA E			
	Baja	Media	Alta	[Icon]
Tolerancia a la sequía	[Tolerance level]			
Tolerancia a la inundación	[Tolerance level]			

Características paisajísticas: posee un colorido y textura muy particulares que la hacen ideal para espacios de gran contraste cromático y/o donde se requiera una barrera visual.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
(1) Hidrozona (8) Atrae aves e insectos benéficos
(4) Gama cromática contrastante (5) Altura
Uso paisajístico: recomendada para bordes de senderos o macizos, en proyectos que involucren atracción de insectos benéficos y aves como colibríes; para utilizar ejemplares aislados de realce

Salvia microphylla

Mirto de montes

Familia: Lamiaceae
Distribución: desde el sur de Arizona hasta el sur de México



GENERAL
DESARROLLO ÓPTIMO
SIGNIFICADO CULTURAL
PLANTACIÓN

Descripción: arbusto de hojas pequeñas, ovaladas con aroma a menta, posee pequeñas flores con el cáliz coloreado de púrpura y con corola color carmín intenso que conforme envejece adquiere un color púrpura.
Foliación: perenne.
Clima: templado/semiseco.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: los ejemplares viven de 10 a 30 años; es recomendable realizar podas semestrales para quitar peso y aclarar las ramas.
Suelo: fértil y con buen drenaje.
Fertilización: una vez al año durante el período de floración.
Características generales: plantar espaciado adecuadamente, evitar el rozamiento entre las ramas principales pues pueden quebrarse debido al peso.
Distancia: A=100 a 180 cm, D=120 a 220 cm, según la densidad deseada.
Trasplante: soporta bien el trasplante si se realiza correctamente.
Propagación: esquejes durante la primavera o por semillas estratificadas.
Nombre náhuatl: S/D
Referencia histórica: S/D
Uso tradicional cultural: medicinal, es utilizada principalmente como somnifera preparada en infusión, también se le atribuyen propiedades para combatir problemas digestivos.

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color chart for leaves]											
Flores	[Color chart for flowers]											

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino			
	Exposición solar	[Tolerance level]		
pH en suelo*	[Tolerance level]			
Poda	A/E			
Tolerancia a la contaminación atmosférica	[Tolerance level]			
Tolerancia a las plagas y enfermedades	V			

DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA E			
	Baja	Media	Alta	[Icon]
Tolerancia a la sequía	[Tolerance level]			
Tolerancia a la inundación	[Tolerance level]			

Características paisajísticas: es una especie colorida, ideal para espacios de contraste cromático y/o donde se requieran barreras visuales.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
(1) Hidrozona (7) Posee olor
(5) Altura (8) Atrae aves e insectos benéficos
Uso paisajístico: recomendada para bordes de senderos o macizos, en proyectos que involucren atracción de insectos benéficos y aves como colibríes; para utilizar ejemplares aislados de realce

Figura 3.25 Fichas etnobotánicas *Salvia leucantha* y *Salvia microphylla*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

Sprekelia formosissima Lirio azteca

Familia: Amaryllidaceae

Distribución: de México a Guatemala



Descripción: herbácea bulbosa con tallos que terminan en flores solitarias con 6 **tépalos** color escarlata intenso, 3 de los cuales vueltos hacia arriba y 3 unidos en la base vueltos hacia abajo, posee hojas estrechas color verde intenso.
Foliación: perenne.
Clima: subtropical/templado.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: se estima que un **bulbo** tiene una duración de 5 a 10 años.
Suelo: se desarrolla de manera natural en lugares rocosos, en suelo artificial convienen sustratos con pedriscos o perlita, buen drenaje y ricos en nutrientes.
Fertilización: dos veces al año, en el periodo de floración y previo a éste.
Características generales: plantar los bulbos en otoño en un sustrato rico en nutrientes, dejando sobresalir la última parte del bulbo.
Distancia: A=30 a 55 cm, D=15 a 55 cm, según la densidad deseada.
Trasplante: tolera bien el trasplante siempre y cuando se realice correctamente
Propagación: a través de la división de los bulbos.
Nombre náhuatl: Atzcalxóchitl.
Referencia histórica: Códice Badiano e Historia natural de Nueva España.
Uso tradicional cultural: ornamental, es una especie muy cultivada debido a su belleza ornamental, su uso se ha extendido a Europa donde es muy valorada. Medicinal, los bulbos son empleados para problemas dermatológicos.

GENERAL
DESARROLLO
ÓPTIMO
PLANTACIÓN
SIGNIFICADO
CULTURAL

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas												
Flores												

TOLERANCIA	Baja / * Ácido	Media / Neutro	Alta / Alcalino
	Exposición solar		
pH en suelo*			
Poda		F	
Tolerancia a la contaminación atmosférica			
Tolerancia a las plagas y enfermedades			H/C

DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA C		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía			
Tolerancia a la inundación			

Características paisajísticas: la flor posee un colorido y porte vertical que la hacen muy llamativa, ha sido utilizada simbolizando un regalo especial debido a la corta duración de la flor (3 a 5 días).
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (8) Atrae aves e insectos benéficos
 (2) Exposición solar (5) Altura
Uso paisajístico: recomendada para macizos y/o arriates, para utilizarse en macetas de manera aislada o en grupo, ideal para camellones con una **plantación escalonada**.

USO PAISAJÍSTICO
POTENCIAL

Tigridia pavonia Flor de tigre

Familia: Iridaceae

Distribución: México



Descripción: herbácea de bulbo carnoso y hojas largas y envainantes con flores de colores variados que van desde el rosa, amarillo, amarillo pálido, blanco, naranja y rojo, con manchas de aspecto atigrado.
Foliación: anual.
Clima: templado.
Crecimiento: rápido.
Longevidad: se estima que un bulbo puede durar hasta 15 años.
Suelo: fértil, con materia orgánica, con buen drenaje y preferentemente esterilizado.
Fertilización: una vez al año cuando brota el tallo del bulbo.
Características generales: a principios de primavera a una profundidad de 10 a 15 cm.
Distancia: A=40 a 70 cm, D=15 a 60 cm, según la densidad deseada.
Trasplante: tolera bien el trasplante siempre y cuando se realice correctamente
Propagación: mediante la división del bulbo o por semillas.
Nombre náhuatl: Oceloxóchitl.
Referencia histórica: Códice Badiano, Códice Florentino y otros.
Uso tradicional cultural: ornamental, por la belleza y rareza de su flor. Alimenticio, el bulbo es empleado como alimento cocido. Medicinal, el bulbo se tiene registrado como antipirético.

GENERAL
DESARROLLO
ÓPTIMO
PLANTACIÓN
SIGNIFICADO
CULTURAL

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas												
Flores												

TOLERANCIA	Baja / * Ácido	Media / Neutro	Alta / Alcalino
	Exposición solar		
pH en suelo*			
Poda		F	
Tolerancia a la contaminación atmosférica			
Tolerancia a las plagas y enfermedades			H

DEMANDA HÍDRICA	HIDROZONA D		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía			
Tolerancia a la inundación			

Características paisajísticas: es una especie muy valorada debido a que su flor dura únicamente un día, es muy llamativa por su colorido y la rareza de sus manchas.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (8) Atrae aves e insectos benéficos
 (2) Exposición solar (5) Altura
Uso paisajístico: recomendada para macizos y/o arriates, para utilizarse en macetas de manera aislada o en grupo, ideal para camellones con una **plantación escalonada**.

USO PAISAJÍSTICO
POTENCIAL

Figura 3.26 Fichas etnobotánicas *Sprekelia formosissima* y *Tigridia pavonia*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

Tradescantia pallida “Purpurea”

Niña en barco

Familia: Commelinaceae

Distribución: México, de Tamaulipas a Yucatán



DESCRIPCIÓN: herbácea cubresuelos con hojas lanceoladas color púrpura con flores de 1 cm de diámetro con tres pétalos color rosa pálido y **estambres** amarillos.
Foliación: perenne.
Clima: tropical/subtropical.
Crecimiento: muy rápido.
Longevidad: los ejemplares viven de 2 hasta 10 años.
Suelo: bien drenado y fértil.
Fertilización: una vez al año durante el período de floración.
Características generales: plantar espaciando correctamente cada ejemplar.
Distancia: A=15 a 40 cm, D=60 a 100 cm, según la densidad deseada.
Trasplante: tolera bien el trasplante realizado correctamente.
Propagación: por esquejes de primavera a verano.
Nombre náhuatl: S/D
Referencia histórica: S/D
Uso tradicional cultural: ornamental, debido al colorido de sus hojas. Medicinal, se tiene registrada como antihermorrágica. Forraje, para ganado vacuno.

GENERAL
DESARROLLO ÓPTIMO
PLANTACIÓN
SIGNIFICADO CULTURAL

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color scale from light to dark purple]											
Flores	[Color scale from light to dark pink]											

DEMANDA HIDRICA	HIDROZONA C		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía	[Color scale from light to dark blue]		
Tolerancia a la inundación	[Color scale from light to dark blue]		

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino		
	Exposición solar	[Color scale from light to dark purple]	
pH en suelo*	[Color scale from light to dark purple]		
Poda	D		
Tolerancia a la contaminación atmosférica	[Color scale from light to dark purple]		
Tolerancia a las plagas y enfermedades	V		

USO PAISAJÍSTICO POTENCIAL
Características paisajísticas: posee un colorido muy particular que contrasta favorablemente con otras especies; como tolera bien la sombra puede ser utilizada bajo árboles o junto a edificios.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (5) Altura
 (4) Gama cromática contrastante
Uso paisajístico: recomendada para grandes extensiones (parterres) o bordes de senderos, puede ser utilizada en muros colgantes; últimamente ha sido introducida en muros verdes.

Tradescantia zebrina

Zebrina

Familia: Commelinaceae

Distribución: México, de Tabasco a Chiapas



DESCRIPCIÓN: herbácea cubresuelos con hojas alargadas color verde-púrpura con dos líneas plateadas, posee flores de 1 cm de diámetro con tres pétalos color rosa-púrpura.
Foliación: perenne.
Clima: tropical/subtropical/templado.
Crecimiento: muy rápido.
Longevidad: los ejemplares viven de 2 hasta 10 años.
Suelo: bien drenado y fértil.
Fertilización: una vez al año durante el período de floración.
Características generales: plantar espaciando correctamente cada ejemplar.
Distancia: A=15 a 45 cm, D=60 a 100 cm, según la densidad deseada.
Trasplante: tolera bien el trasplante realizado correctamente.
Propagación: por esquejes de primavera a verano.
Nombre náhuatl: Matlalin.
Referencia histórica: Códice Florentino e Historia natural de Nueva España.
Uso tradicional cultural: alimenticio, las hojas cocidas sirven para preparar una bebida refrescante. Textil, las hojas remojadas y después exprimidas sirven para teñir telas.

GENERAL
DESARROLLO ÓPTIMO
PLANTACIÓN
SIGNIFICADO CULTURAL

TABLA CROMÁTICA	Invierno			Primavera			Verano			Otoño		
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hojas	[Color scale from light to dark purple]											
Flores	[Color scale from light to dark pink]											

DEMANDA HIDRICA	HIDROZONA B		
	Baja	Media	Alta
Tolerancia a la sequía	[Color scale from light to dark blue]		
Tolerancia a la inundación	[Color scale from light to dark blue]		

TOLERANCIA	Baja / Media / Alta / * Ácido / Neutro / Alcalino		
	Exposición solar	[Color scale from light to dark purple]	
pH en suelo*	[Color scale from light to dark purple]		
Poda	D		
Tolerancia a la contaminación atmosférica	[Color scale from light to dark purple]		
Tolerancia a las plagas y enfermedades	V		

USO PAISAJÍSTICO POTENCIAL
Características paisajísticas: posee un colorido muy particular que contrasta favorablemente con otras especies; como tolera bien la sombra puede ser utilizada bajo árboles o junto a edificios.
Asociación con otras especies: se recomienda relacionar con especies que compartan:
 (1) Hidrozona (5) Altura
 (4) Gama cromática contrastante
Uso paisajístico: recomendada para grandes extensiones (parterres) o bordes de senderos, puede ser utilizada en muros colgantes; últimamente ha sido introducida en muros verdes.

Figura 3.27 Fichas etnobotánicas *Tradescantia pallida* “Purpurea” y *Tradescantia zebrina*. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

3.6 MANTENIMIENTO

Para conservar en óptimas condiciones al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, se propone un programa de mantenimiento que abarca los fundamentos mínimos requeridos para conservar en adecuado estado fitosanitario a la vegetación, así como para permitir el correcto funcionamiento del mismo.

3.6.1 Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento está contemplado para realizarse mensualmente, consiste en cinco pasos y fue desarrollado para ser realizado por una sola persona, sin necesidad de gran esfuerzo físico y con el uso de herramientas sencillas y accesibles como tijeras de poda, pala jardinera, pala de trasplante y rastrillo jardinero.

Los pasos que considera el programa de mantenimiento son:

1. INSPECCIÓN

Se realizaron inspecciones mensuales basadas en la observación, con la finalidad de detectar posibles problemas que pudieran llegar a afectar el desarrollo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

Aunado a la inspección visual, se realizaron una serie de fotografías obtenidas desde los mismos ángulos mostrando el desarrollo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* durante los doce meses del periodo de evaluación; también se realizó un registro en el que se anotaron los acontecimientos más relevantes en relación con el estado fitosanitario de la vegetación, el estado general de los canales, el estado y humedad contenida en el suelo, la limpieza del jardín de lluvia, la floración o marchitez de las plantas, el estado de la berma, acontecimientos de interés y observaciones.

La importancia de inspeccionar mensualmente el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* fue que así se detectó oportunamente la presencia de:

- Vegetación dañina⁶⁸ o invasiva.
- Posibles plagas y enfermedades que pudieran afectar la salud de la vegetación.
- Probable concentración de sedimentos arrastrados por el escurrimiento pluvial.

⁶⁸ La vegetación dañina considera a todas aquellas plantas invasoras que crecen en lugares indeseables (LORENZI, 2000).

Independientemente de la inspección mensual, fue importante evaluar el estado del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* en los siguientes eventos:

- Antes de la temporada de crecimiento.
- Al término de la temporada de crecimiento.
- Después de un evento pluvial de gran magnitud.
- Durante grandes oscilaciones térmicas.

2. RIEGO

Cuando un jardín de lluvia está recién plantado, necesita de riego semanal durante los primeros dos o tres años de vida posteriores a la instalación, hasta que la vegetación se encuentra totalmente adaptada y el sistema radicular de las plantas está completamente desarrollado.

Se recomienda el riego durante las temporadas prolongadas de sequía, aún si las plantas se encuentran establecidas, durante estos periodos se deben de observar los signos de estrés hídrico en la vegetación, tales como marchitez en las hojas o decoloración de las mismas.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, al tratarse de una investigación que simuló las condiciones reales en las que se desarrollaría un jardín de lluvia en el caso de estudio de Azcapotzalco, se consideró un riego artificial mínimo (**Ver 4.2.7 Riego artificial suministrado**) durante los meses de menor precipitación pluvial (diciembre a marzo), el resto del periodo de evaluación, el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* sobrevivió únicamente con el régimen pluviométrico precipitado.

3. DESHIERBE

Se debe realizar el retiro de la vegetación invasiva con la finalidad de que ésta no interfiera en el desarrollo de la vegetación que fue seleccionada.

El deshierbe será mayor durante los primeros tres años de vida, después se espera que las plantas nativas tengan mayor competencia sobre la maleza y que éstas muestren un crecimiento reducido.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se realizó un deshierbe mensual, poniendo especial interés en retirar la maleza competitiva del área, retirándola desde la raíz, para evitar su propagación.

4. PODA

La poda estimula el crecimiento de las plantas, mejora la salud de las mismas e incentiva la producción de flores.

Existen cinco tipos de poda que serán mencionados a continuación:

La poda rutinaria es recomendada para evitar que las plantas que presentan enfermedades infecten a otras, se realiza retirando las hojas o partes muertas de las mismas, así como de los capullos de flores secas; es un tipo de poda preventiva que además controla el crecimiento de las especies.

La poda verde consiste en el recorte de los brotes superiores para estimular el crecimiento de nuevos brotes.

La poda de aclareo se recomienda para eliminar ramas enteras que parten del tronco o de la rama principal; ayuda a obtener arbustos grandes, sanos y de estructura abierta; es una poda principalmente utilizada en árboles y arbustos.

La poda de formación es sugerida cuando se desea que algún arbusto o cubresuelos mantenga una forma y densidad adecuada, se logra recortando los tallos laterales desde las primeras etapas de desarrollo para estimular un crecimiento frondoso.

La poda topiaria es una poda estética con fines decorativos, está recomendada únicamente para especies cuya estructura así lo tolere, dependiendo por igual de los requerimientos paisajísticos de cada proyecto.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, se realizó una poda mensual para incentivar el óptimo desarrollo de las especies, teniendo preferencia por la poda rutinaria, la poda verde y la poda de formación, siendo aplicada principalmente en las especies arbustivas con ayuda de tijeras para poda.

5. LIMPIEZA DE CANALES Y BAJADAS PLUVIALES

Es normal que los sedimentos se acumulen en los jardines de lluvia debido al flujo de agua a través de los canales, siendo una buena señal de que los escurrimientos se están dirigiendo correctamente.

Se debe intentar monitorear la acumulación de sedimento, especialmente después de grandes eventos pluviales, para detectar posibles fallas en el diseño y hacer las correcciones pertinentes.

Es trascendental mantener los canales y bajadas pluviales libres de basura, hojas, pasto y lodo, por lo que se sugiere barrerlos mensualmente y mientras los residuos estén secos para facilitar su retiro.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se realizó una limpieza mensual que abarcó el barrido de las cinco canaletas (A,B,C,D y E), así como también, de las salidas pluviales del área de captación.

CAPÍTULO III PROCESO DE DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

Además de los cinco pasos de los que consta el programa de mantenimiento, se consideraron siete rutinas que ayudaron a evaluar el desarrollo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, las cuales han sido sugeridas en diversos manuales (THE STATE UNIVERSITY OF NEW JERSEY *et al.*, 2003).

1. REGISTRO DEL CRECIMIENTO

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* fue necesario llevar el registro del crecimiento de cada una de las especies, para determinar qué variedades fueron las que se desarrollaron mejor y bajo qué condiciones climáticas y pluviales.

Se llevó un registro mensual en el que se midieron las especies en su sentido vertical y longitudinal, tomando nota si presentaban floración; en los meses más secos se registró si mostraban signos de requerimiento hídrico.

2. REPLANTACIÓN

La replantación es necesaria cuando se tienen ejemplares muertos o enfermos los cuales son sustituidos con ejemplares sanos de especies exitosas; en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* no se sustituyeron ejemplares muertos debido al carácter experimental del mismo; no se tuvo necesidad de sustituir ejemplares enfermos pues la plaga que atacó a una de las especies (*Ipomoea batatas* “Chartreuse”) fue rápidamente controlada mediante trampas cromáticas y únicamente se sustituyeron dos ejemplares de lirio azteca (*Sprekelia formosissima*) que fueron robados.

3. PROPAGACIÓN

Se recomienda la propagación de las especies exitosas durante la primavera, mediante la recolección y siembra de semillas, así como mediante la división de bulbos, la siembra de esquejes y el trasplante de las especies que se hayan reproducido naturalmente.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se propagaron ejemplares de especies bulbosas (*Sprekelia formosissima*, *Dahlia variabilis* y *Tigridia pavonia*) así como de *Equisetum hyemale* y *Ruellia brittoniana* “Compacta” que se reprodujeron naturalmente.

4. RECOLOCACIÓN DE LOS ELEMENTOS

Comprende la recolocación y acomodo de los elementos del jardín de lluvia que hayan sido desplazados de su sitio original por causa del arrastre del agua.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se recolocaron los elementos desplazados como las piedras caídas de la berma y las áreas de suelo expuestas sin *mulch*.⁶⁹

⁶⁹ *Mulch* o acolchado consiste en cualquier material como paja, aserrín o troncos, que es esparcido en el terreno con la finalidad de proteger el suelo y las raíces de los impactos directos de las gotas de lluvia y rayos del sol, evitando la compactación superficial, evaporación y variación brusca de temperatura. (DUNNETT & CLAYDEN, 2007).

5. FERTILIZACIÓN

Se recomienda fertilizar el suelo una vez al año cuando termina la estación pluvial, con la finalidad de enriquecerlo y prepararlo para el invierno.

No se recomienda utilizar fertilizantes comerciales (PRINCE GEORGE'S COUNTY *et al.*, 2007), pues muchas veces contienen excesos de nutrientes o componentes sintéticos, que de ser mal empleados afectan el equilibrio de la vegetación.

Se sugiere el uso de lombricomposta casera o tierra mejorada con composta orgánica libre de agroquímicos.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* debido a su carácter experimental, se decidió no fertilizar con ningún agregado para obtener evaluaciones fieles y permitir un desarrollo natural de la vegetación, simulando la realidad urbana.

6. APLICACIÓN DE MULCH

Se aconseja aplicar *mulch* dos veces al año hasta que los cubresuelos hayan alcanzado su máximo crecimiento y se encuentren totalmente establecidos.

La aplicación de *mulch* es recomendada pues previene la erosión, controla la vegetación invasiva y añade materia orgánica al suelo.

En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se aplicó *mulch* dos veces al año en octubre y abril, coincidiendo con el término e inicio del periodo pluvial, el *mulch* aplicado provino de los troncos y ramas derivados de la poda de árboles de las áreas verdes de la universidad, los cuales son triturados y aprovechados con el mismo fin en las instalaciones universitarias.

7. MONITOREO DEL PH EN SUELO

Es necesario realizar pruebas del pH del suelo de un jardín de lluvia cada dos o tres años, considerando una muestra por cada m² de superficie, las pruebas podrán ser realizadas con tiras reactivas de pH, comparando los resultados con los siguientes parámetros y acciones a realizar:

- Si el pH es menor a 5.2, se trata de un suelo que se ha acidificado y por lo tanto se deberá aplicar piedra caliza para aumentar el pH.
- Si el pH es mayor a 8.5, se trata de un suelo muy alcalino y se deberá de añadir sulfato de aluminio o azufre para reducir el pH.

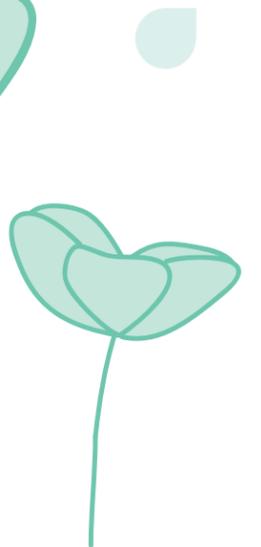
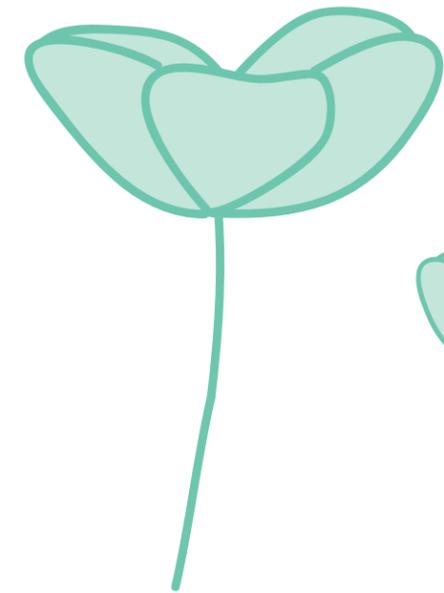
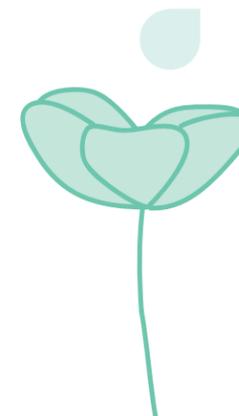
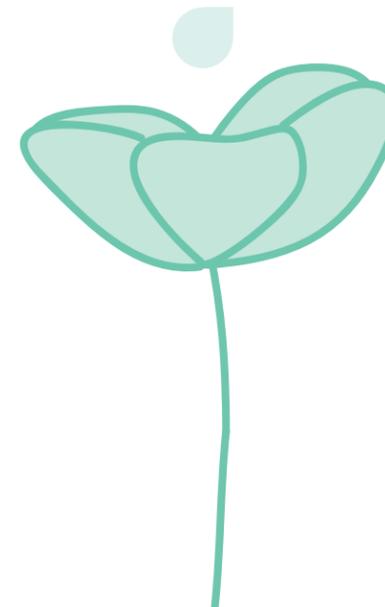
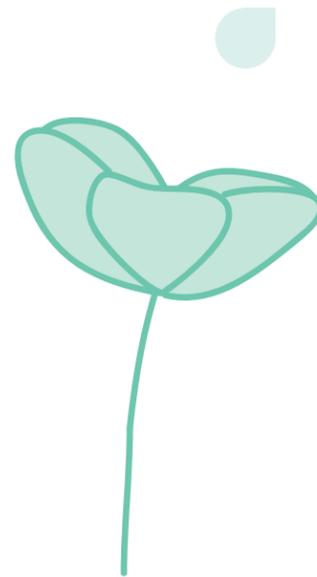
En el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se deberán obtener y analizar catorce muestras de suelo pues se cuenta con una superficie de 14.00 m², para posteriormente realizar las acciones que demande el suelo.

CAPÍTULO IV

MONITOREO DEL MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

“Llueven estrellas de agua
sobre el jardín amarillo;
las hojas tiemblan la luz
de las lunas de estos siglos (...)”

JUAN RAMÓN JIMÉNEZ
JARDINES LEJANOS



El cuarto capítulo comprendió el monitoreo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, el cual, se basó en la evaluación de siete parámetros que pudieran demostrar el comportamiento del mismo durante el periodo de evaluación.

El primer parámetro evaluó mediante un formato de reporte semanal, el estado de la vegetación y de los componentes del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, así como un registro de los principales eventos ocurridos entre un reporte y otro; el segundo parámetro fue una documentación fotográfica que acompañó al reporte semanal, donde se tomaron registros fotográficos desde los mismos ángulos para contar con una evidencia fotográfica que demostrara el desarrollo y evolución del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*; se realizó una evaluación fitosanitaria basada en el crecimiento de cada una de las especies y de la presencia casi nula de enfermedades que llegaron a afectar el desarrollo de la vegetación durante el periodo de evaluación; se llevó a cabo un registro del régimen pluviométrico precipitado sobre la Estación Meteorológica Automática (EMA) más cercana al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, pudiendo determinar a través de los milímetros diarios precipitados, los tres eventos pluviales de mayor magnitud registrados, logrando establecer así el quinto parámetro cuyo análisis consideró la medición de la altura de la Lámina de Retención Superficial (LRS) y el tiempo que tardó en infiltrarse, obteniendo con ello la tasa de infiltración y un aproximado del volumen precipitado recibido.

Se determinó el Volumen Pluvial Infiltrado Total (VPIT) aproximado que logró infiltrar el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* a lo largo del periodo de evaluación, el cual no consideró evaporación, evapotranspiración, coeficiente de escurrimiento o porosidad del suelo, por la obtención incompleta de los datos anteriores y por tratarse de apenas un aproximado.

Así mismo, se determinó el Riego Artificial Suministrado (RAS) al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* durante el periodo de evaluación.

4.1 METODOLOGÍA

Se realizó un monitoreo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* considerando la evaluación de situaciones reales fundamentadas en las condiciones hidrometeorológicas locales, con la finalidad de determinar su eficiencia como estrategia paisajística en el manejo de los escurrimientos de aguas pluviales urbanas.

A diferencia de algunos estudios realizados, en los que se han construido jardines de lluvia que son sometidos a numerosas pruebas y diagnósticos, evaluando la capacidad de los mismos como sistemas de bioinfiltración para eliminar los contaminantes y metales pesados presentes en la atmósfera, que llegan a la lluvia por el contacto directo de ésta con los gases atmosféricos; al ser el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* un estudio en el que no se contó con **caudales efluentes**, dichos parámetros no pudieron ser analizados; además, al disponer de un presupuesto muy limitado, no se discursió en el préstamo de equipos especializados, como estaciones meteorológicas, tensiómetros, pluviómetros automáticos y otros, que pudieran ayudar a realizar evaluaciones precisas del comportamiento del modelo experimental.

Por los motivos anteriores, el monitoreo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, se basó únicamente en evaluaciones diagnósticas fundamentadas en la observación y registro de sus componentes, que pudieran demostrar la eficiencia de los jardines de lluvia como elementos de bioinfiltración y biorretención en el caso de estudio de Azcapotzalco.

4.2 EVALUACIÓN

Una vez construido el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, se decidió realizar la evaluación del mismo por un periodo de doce meses, el cual comprendió desde el día de la construcción (22/08/2014) hasta un año posterior (22/08/2015).

Durante este periodo se evaluaron diferentes criterios relativos al funcionamiento y desarrollo del mismo, su correlación con la lluvia precipitada y su capacidad para infiltrarla.

Es necesario enfatizar que aunque el periodo de evaluación abarcó un año, contuvo a su vez una etapa denominada periodo de adaptación, que comprendió el primer mes posterior a la etapa constructiva (del 22/08/2014 al 22/09/2014), siendo el periodo en el que la vegetación se adaptó a su nuevo entorno, desarrollando rápidamente su sistema radicular y recibiendo riego artificial para lograr el objetivo.

La evaluación del *Modelo experimental del jardín de lluvia UAM-A* consistió en un reporte semanal, una documentación fotográfica, la evaluación fitosanitaria de las especies y un registro del régimen pluviométrico del periodo que duró la evaluación, además de la evaluación de los tres eventos pluviales de mayor magnitud; así mismo, se obtuvieron los valores estimados del volumen pluvial infiltrado total y del riego artificial suministrado.

4.2.1 Reporte semanal

Se realizó un reporte semanal cada vez que se inspeccionaba el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* con la finalidad de establecer el estado en el que se encontraba el mismo; el reporte semanal consistió en ocho secciones en las que se evaluaba el estado de las plantas, de la berma, de los canales, la floración y marchitez de la vegetación, la humedad y características visuales del suelo, la limpieza del jardín, así como las novedades generales y observaciones realizadas durante la visita. (**Fig. 4.1**)

Dentro del mismo reporte se registraba la fecha y hora de visita, así como un número-clave que después se relacionaba con la documentación fotográfica. Se realizaron en total 57 reportes semanales ordinarios, resultado del periodo de evaluación, además de 7 reportes semanales extratemorales posteriores al periodo de evaluación.

Las visitas para realizar el reporte semanal se efectuaron un día a la semana, el cual no fue definido, con la finalidad de establecer un sistema de monitoreo aleatorio y obtener así, resultados que representaran el desarrollo semanal total.

Durante y concluido el periodo de evaluación la vegetación elegida se desarrolló correctamente conforme a la hidrozona y según el requerimiento solar para el que se dispuso; las especies vegetales alcanzaron su máximo tamaño de desarrollo al concluir el periodo, presentando además un adecuado estado fitosanitario durante el mismo; el mantenimiento realizado resultó suficiente para mantener en óptimas condiciones a la vegetación y a los elementos que conformaron al modelo experimental y una vez concluido el periodo, la falta de éste no comprometió el funcionamiento ni eficiencia del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. (**Tabla 4.1**)

4.2.2 Documentación fotográfica

A la par del reporte semanal, en cada visita al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, se tomaban fotografías desde dos visuales paisajísticas: sureste-noroeste y noroeste-sureste, además de múltiples fotografías de los hechos que tuvieran mayor relevancia durante la semana.

Lo anterior sirvió para registrar fotográficamente los cambios que ocurrían semana tras semana en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, observados desde los mismos ángulos, registrando su evolución y crecimiento. (**Tabla 4.2**)

REPORTE SEMANAL					
MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A					
Fecha:				Hora:	Número:
Estado de las plantas:	Excelente	Óptimo	Bueno	Regular	Malo
Notas:					
Estado de la berma:	Excelente	Óptimo	Bueno	Regular	Malo
Notas:					
Estado de los canales:	Excelente	Óptimo	Bueno	Regular	Malo
Notas:					
Nueva Floración / Marchitez:					
Notas:					
Suelo:	Inundado	Muy húmedo	Húmedo	Seco	Muy seco
Notas:					
Limpieza:	Muy limpio	Limpio	Semi limpio	Sucio	Muy sucio
Notas:					
Novedades:					
Notas:					
Observaciones:					
Notas:					

Figura 4.1 Formato del reporte semanal. Fuente: Casandra Badillo, 2014.

ASPECTO	VEGETACIÓN	ADAPTACIÓN	DESARROLLO	MANTENIMIENTO	ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	PAISAJE	CONCLUSIONES
POSITIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de vegetación nativa. • Diversidad de especies vegetales con diferentes características paisajísticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vegetación se adaptó con rapidez al medio establecido. • El aspecto visual de la composición mejoró con rapidez. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vegetación conservó una buena apariencia en periodos lluviosos y secos. • Las especies se desarrollaron correctamente de acuerdo con las hidrozonas. • Las especies se desarrollaron correctamente de acuerdo a la incidencia solar. • Las especies se desarrollaron correctamente, alcanzando su tamaño máximo de crecimiento al término del periodo de evaluación. 	<ul style="list-style-type: none"> • El programa de mantenimiento fue fácil de realizar, utilizó herramientas sencillas y requirió de únicamente una persona. • No requirió de mano de obra especializada. • La falta de riego no comprometió el estado del jardín. • El jardín de lluvia se mantuvo limpio la mayor parte del tiempo; • los principales desechos fueron aquellos generados en el mismo jardín, en forma de material vegetal muerto acumulado, que después se convirtió en composta. 	<ul style="list-style-type: none"> • La berma y los canales se conservaron en óptimas condiciones durante el periodo de tiempo esperado; • una vez concluido este periodo y con los elementos complementarios ligeramente deteriorados, no se comprometió la visual paisajística del jardín. 	<ul style="list-style-type: none"> • Composiciones vegetales paisajísticas diversas dentro del jardín de lluvia. • Atrajo fauna benéfica, proporcionando un hábitat para la misma. • Durante toda la evaluación el jardín de lluvia mantuvo un aspecto agradable aún con bajo mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vegetación se desarrolló correctamente de acuerdo con la hidrozona y la incidencia solar para la cual fue elegida. • La vegetación se adaptó con rapidez al medio, alcanzando su máximo tamaño de crecimiento al concluir el periodo de evaluación. • El programa de mantenimiento mensual fue suficiente para mantener en óptimas condiciones al jardín de lluvia. • No demandó de riego frecuente, podas o limpieza para mantener su eficiencia y funcionamiento. • Los elementos complementarios se mantuvieron en óptimas condiciones durante el tiempo esperado, una vez que se empezaron a mostrar signos de desgaste, no comprometieron el funcionamiento del jardín de lluvia.
NEGATIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Poca disponibilidad de especies nativas en el mercado. • Precios unitarios de acuerdo a la disponibilidad de las especies. • Algunas de las especies fueron traídas de viveros especializados pues no se encontraron en los viveros de la CDMX. 	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el periodo de adaptación algunos ejemplares fueron objeto de robo al no encontrarse las raíces de las plantas establecidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a la autopropagación de algunas especies, los ejemplares nacientes tuvieron un desarrollo restringido por falta de espacio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a la falta de un geotextil en la capa superior, crecieron numerosas especies invasoras que demandaron más tiempo de mantenimiento. • El acceso para retirar los sedimentos traídos por los escurrimientos se dificultó por la propia vegetación del jardín. 	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el periodo de evaluación, algunas especies se autopropagaron en los límites del jardín, llegando a invadir la berma. • Después del periodo de evaluación, algunas de las especies se autopropagaron dentro los límites del jardín, ocasionando la fractura del andador circular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a la verticalidad de algunas especies y a la autopropagación de las mismas, en el periodo posterior a la evaluación, se crearon barreras visuales paisajísticas debido a la falta de poda, modificando la estructura paisajística inicial. 	

Tabla 4.1 Conclusiones del reporte semanal. Aspectos positivos y negativos observados durante el periodo de evaluación en el Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

FECHA	VISUAL SURESTE-NOROESTE	VISUAL NOROESTE-SURESTE	FECHA	VISUAL SURESTE-NOROESTE	VISUAL NOROESTE-SURESTE
27/08/2014			25/11/2014		
22/09/2014			31/12/2014		
24/10/2014			28/01/2015		

Tabla 4.2 Documentación fotográfica del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. Primer semestre del periodo de evaluación. Fuente: Casandra Badillo, 2017.

FECHA	VISUAL SURESTE-NOROESTE	VISUAL NOROESTE-SURESTE	FECHA	VISUAL SURESTE-NOROESTE	VISUAL NOROESTE-SURESTE
23/02/2015			20/05/2015		
23/03/2015			18/06/2015		
20/04/2015			22/07/2015		

(Continúa) Tabla 4.2 Documentación fotográfica del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Segundo semestre del periodo de evaluación. Fuente: Casandra Badillo, 2017.

FECHA	VISUAL SURESTE-NOROESTE	VISUAL NOROESTE-SURESTE	FECHA	VISUAL SURESTE-NOROESTE	VISUAL NOROESTE-SURESTE
18/09/2015			19/09/2016		
24/02/2016			24/03/2017		
02/05/2016			04/07/2017		

(Continúa) Tabla 4.2 Documentación fotográfica del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Meses posteriores al periodo de evaluación. Fuente: Casandra Badillo, 2017.

4.2.3 Evaluación fitosanitaria

Se realizó una evaluación fitosanitaria mensual en la que se registró el desarrollo vegetal de las quince especies,⁷⁰ para ello, se estableció un ejemplar de cada una que sería medido con ayuda de un flexómetro el día más próximo posible al 22 de cada mes, registrando sus dimensiones en sentido horizontal y vertical. (**Tabla 4.3 y 4.4**) (**Gráfica 4.1 y 4.2**)

Durante todo el periodo de evaluación las especies presentaron un correcto estado fitosanitario, con excepción de una pequeña infección por hongos (*Capnodium sp.*) que fue controlada con podas y una infección por mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) que fue controlada con trampas cromáticas (**Fig. 4.2**); no obstante, las infecciones fueron rápidamente controladas y nunca se aplicaron insecticidas químicos comerciales.

Los resultados obtenidos mostraron un crecimiento constante de las especies cubresuelos y un crecimiento vertical de las especies arbustivas, teniendo un periodo de nulo crecimiento en dos de las especies (*Dahlia variabilis* y *Tigridia pavonia*) por tratarse de especies bulbosas y del periodo invernal y el posterior a este en cuestión.

Como parte de la investigación, y para verificar el comportamiento de la cubierta vegetal, después de algunos meses de concluido el periodo de evaluación (01/02/2016 al 01/12/2016) el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, fue dejado intencionalmente sin mantenimiento por diez meses, en este periodo, no se le brindó ningún procedimiento de limpieza, poda o riego; transcurrido el periodo, las plantas presentaron un adecuado desarrollo de las especies.

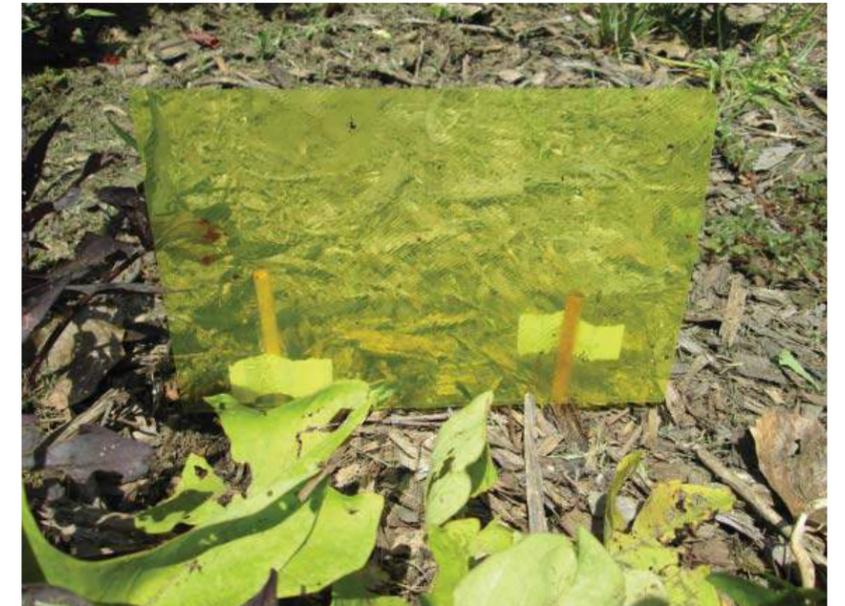


Figura 4.2 Trampa cromática aplicada en el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*. La trampa fue colocada para capturar ejemplares de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) que es atraída por la vegetación en colores amarillos, la cual una vez que entra en contacto con la superficie de la trampa, queda atrapada por ser un material pegajoso. La trampa fue colocada en la especie *Ipomoea batatas* “Chartreuse”. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

⁷⁰ Para la evaluación fitosanitaria se consideró al ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) como la especie número quince, al ser el eje rector de todo el proyecto.

N°	ESPECIE	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	<i>Ageratum houstonianum</i>	0.20	0.20	0.21	0.25	0.23	0.22	0.20	0.26	0.23	0.28	0.24	0.20	0.18
2	<i>Canna indica</i>	0.40	0.40	0.36	0.43	0.55	0.38	0.44	0.25	0.23	0.41	0.22	0.48	0.32
3	<i>Cedronella mexicana</i>	0.15	0.24	0.23	0.27	0.29	0.32	0.35	0.42	0.56	0.77	1.25	1.58	1.45
4	<i>Dahlia variabilis</i>	0.30	0.39	0.32	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.40
5	<i>Equisetum hyemale</i>	0.20	0.25	0.25	0.25	0.28	0.24	0.23	0.22	0.23	0.24	0.30	0.34	0.24
6	<i>Ipomoea batatas</i> "Black"	0.50	0.50	0.54	0.50	0.50	0.44	0.44	0.45	0.60	0.60	0.71	0.67	0.65
7	<i>Ipomoea batatas</i> "Chartreuse"	0.50	0.67	0.54	0.48	0.63	0.53	0.55	0.68	0.50	0.66	0.65	0.75	0.62
8	<i>Ruellia brittoniana</i> "Compacta"	0.30	0.33	0.33	0.27	0.20	0.21	0.24	0.25	0.34	0.46	0.47	0.46	0.43
9	<i>Salvia leucantha</i>	0.25	0.66	0.64	0.90	1.00	0.80	0.43	0.55	0.90	1.30	1.62	1.58	1.97
10	<i>Salvia microphylla</i>	0.40	0.64	0.85	0.90	0.63	0.76	0.93	1.10	1.41	1.62	2.00	2.25	2.50
11	<i>Sprekelia formosissima</i>	0.15	0.25	0.29	0.46	0.46	0.49	0.42	0.17	0.36	0.27	0.49	0.27	0.52
12	<i>Taxodium mucronatum</i>	1.49	1.52	1.55	1.70	1.90	2.00	2.00	2.06	2.25	2.33	2.80	2.94	3.10
13	<i>Tigridia pavonia</i>	0.26	0.26	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.26	0.36	0.47	0.69
14	<i>Tradescantia pallida</i> "Purpurea"	0.23	0.26	0.27	0.33	0.24	0.35	0.28	0.33	0.43	0.41	0.76	0.54	0.43
15	<i>Tradescantia zebrina</i>	0.50	0.46	0.54	0.57	0.52	0.55	0.53	0.50	0.55	0.55	0.65	0.74	0.60

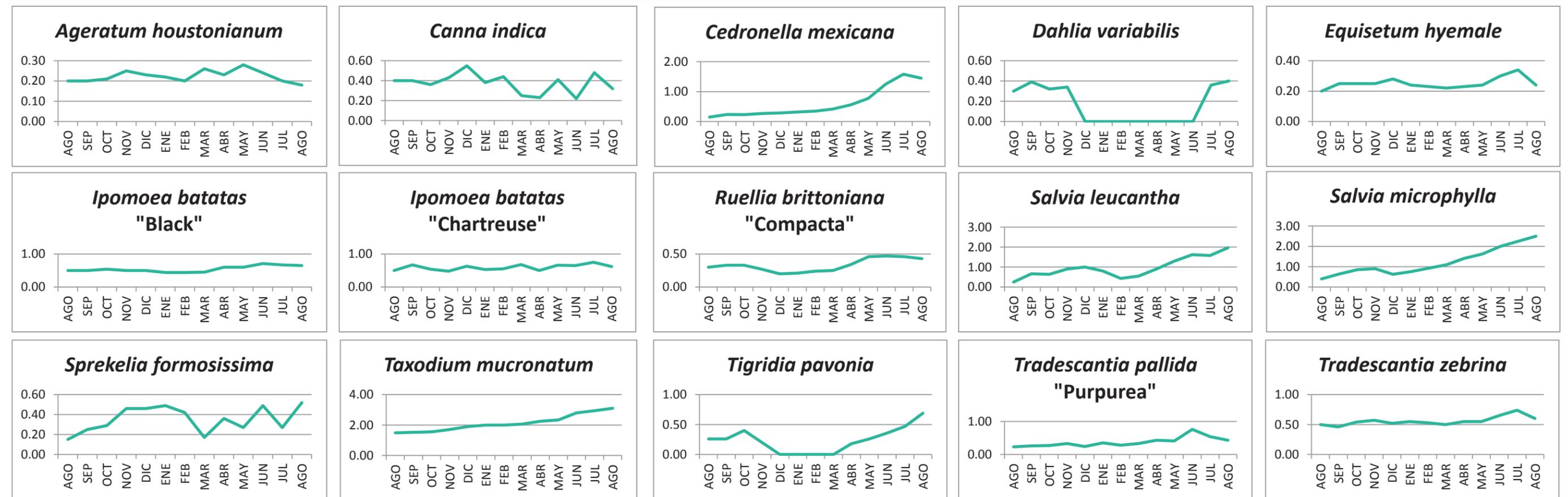


Tabla 4.3 Crecimiento horizontal de las especies del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

Gráfica 4.1 (arriba) Crecimiento horizontal de las especies del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

N°	ESPECIE	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	<i>Ageratum houstonianum</i>	0.14	0.15	0.15	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.12	0.13	0.13	0.13	0.11
2	<i>Canna indica</i>	1.20	1.10	1.10	1.10	1.03	0.93	1.00	0.43	0.84	1.30	1.43	1.40	1.46
3	<i>Cedronella mexicana</i>	0.60	0.90	1.00	1.04	1.02	1.10	0.88	0.69	0.77	1.39	1.83	1.87	1.97
4	<i>Dahlia variabilis</i>	0.50	0.39	0.37	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.41
5	<i>Equisetum hyemale</i>	1.10	1.28	1.28	1.28	1.28	1.24	1.25	1.25	1.21	1.09	1.64	1.38	1.45
6	<i>Ipomoea batatas</i> "Black"	0.40	0.20	0.20	0.20	0.20	0.18	0.20	0.13	0.16	0.23	0.16	0.23	0.23
7	<i>Ipomoea batatas</i> "Chartreuse"	0.20	0.22	0.20	0.17	0.17	0.15	0.17	0.17	0.18	0.18	0.21	0.22	0.24
8	<i>Ruellia brittoniana</i> "Compacta"	0.30	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.17	0.22	0.26	0.26	0.30	0.27	0.32
9	<i>Salvia leucantha</i>	0.90	0.94	0.97	0.97	0.90	0.92	0.30	0.56	0.84	1.15	1.29	1.34	1.30
10	<i>Salvia microphylla</i>	1.20	0.88	0.96	1.02	0.96	0.92	0.92	1.05	1.14	1.40	1.50	1.70	1.78
11	<i>Sprekelia formosissima</i>	0.27	0.28	0.32	0.36	0.37	0.50	0.42	0.46	0.38	0.23	0.43	0.52	0.50
12	<i>Taxodium mucronatum</i>	1.95	2.10	2.23	2.35	2.35	2.40	2.47	2.52	2.58	2.62	2.75	3.30	3.80
13	<i>Tigridia pavonia</i>	0.35	0.31	0.31	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.36	0.56	0.73	0.58
14	<i>Tradescantia pallida</i> "Purpurea"	0.30	0.16	0.16	0.16	0.16	0.18	0.16	0.25	0.34	0.39	0.42	0.32	0.23
15	<i>Tradescantia zebrina</i>	0.22	0.26	0.26	0.30	0.22	0.31	0.28	0.23	0.26	0.19	0.26	0.4	0.42

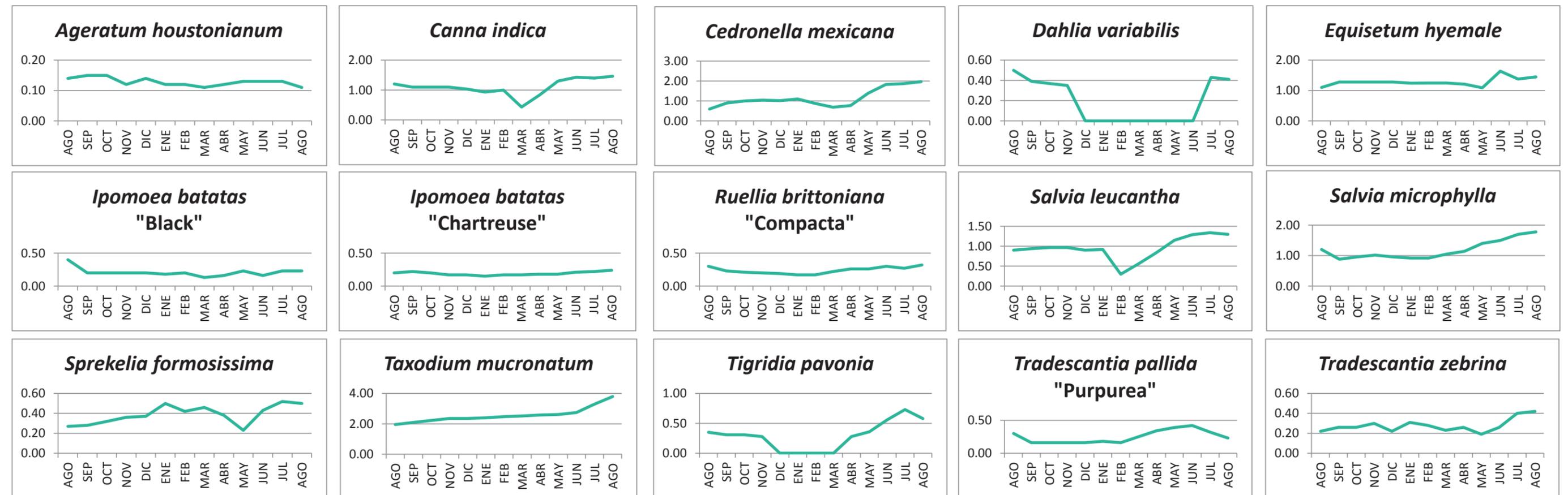


Tabla 4.4 Crecimiento vertical de las especies del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

Gráfica 4.2 (arriba) Crecimiento vertical de las especies del Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

4.2.4 Registro del régimen pluviométrico

El registro del régimen pluviométrico se obtuvo en base a los datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a través de su sitio de internet y de las visitas a sus instalaciones, de donde se obtuvieron los milímetros diarios precipitados en la Estación Meteorológica Automática (EMA)-Escuela Nacional de Ciencias Biológicas II, Zacatenco (ENCB II).

De acuerdo con el SMN, una EMA es un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática⁷¹; una EMA está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos en promedio a cada 10 minutos, siendo esta información enviada vía satélite en intervalos de 1 ó 3 horas por estación.⁷²

De acuerdo a la misma fuente, el área representativa de una estación es de 5 km de radio aproximadamente, por lo que al momento de elegir la EMA más cercana al sitio de estudio, se optó por la estación denominada Escuela Nacional de Ciencias Biológicas II, Zacatenco (ENCB II) al encontrarse a 4.650 km del sitio de estudio.

El desarrollar un registro del régimen pluviométrico fue esencial, pues permitió conocer con precisión el volumen de lluvia precipitado durante el periodo de evaluación en relación a la fuente de información más próxima al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*; para posteriormente poder realizar un análisis de esta precipitación y su relación con el desempeño del modelo experimental.

Del registro del régimen pluviométrico se localizaron los tres principales eventos pluviales ocurridos durante el periodo de evaluación los cuales quedaron registrados en un pluviograma⁷³ (**Gráfica 4.3**), así como el precipitado mensual y posteriormente el anual acumulado que correspondió a 249.30 mm (**Tabla 4.5**), observando así que se trató de un periodo particularmente seco en comparación con el régimen pluviométrico promedio registrado en años anteriores, no obstante, para los fines investigados se logró cumplir con el objetivo establecido.

⁷¹ Información disponible en: <<http://smn.cna.gob.mx/emas>> Acceso en agosto, 2014.

⁷² Información disponible en: <<http://smn.cna.gob.mx/emas>> Acceso en agosto, 2014.

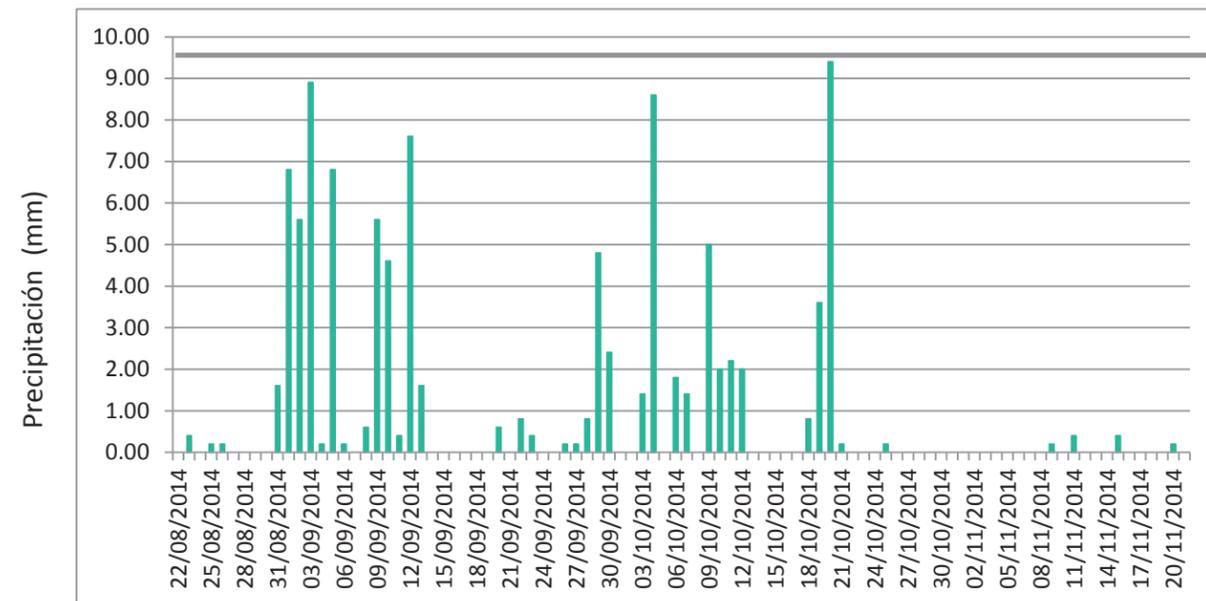
⁷³ Pluviograma es un diagrama que muestra la distribución de las alturas de lluvia acumuladas en el tiempo.

DÍA/MES	2014					2015							
	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	DNC	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.40
2	DNC	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.80	0.00
3	DNC	8.90	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.60	2.80	0.20
4	DNC	0.20	8.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.00	0.20	0.00
5	DNC	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.40	0.40	3.80	1.60
6	DNC	0.20	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	1.20	0.20	0.80
7	DNC	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	1.00	0.20	0.60
8	DNC	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.40	0.00	0.00
9	DNC	5.60	5.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	0.00	1.00	0.40
10	DNC	4.60	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	DNC	0.40	2.20	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
12	DNC	7.60	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	15.60	0.40	0.00	0.00
13	DNC	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00
14	DNC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	2.60	0.00	0.00
15	DNC	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.60	0.00	0.60	0.20
16	DNC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	2.80	0.80	1.20	0.00
17	DNC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	3.20	3.80	0.00	0.40
18	DNC	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	2.60	6.40
19	DNC	0.00	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.00	3.20
20	DNC	0.60	9.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.20	0.00
21	DNC	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	2.40	0.00	1.40
22	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	2.20	0.00	2.20	0.40
23	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.80	0.40	1.20	DNC
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	DNC
25	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.20	1.80	DNC
26	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.80	0.00	DNC
27	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.80	0.00	DNC
28	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	7.40	0.20	DNC
29	0.00	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.40	1.40	0.80	0.20	DNC
30	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	2.40	4.80	3.20	0.40	DNC
31	1.60		0.00		0.00	0.00		0.00		0.20		0.00	DNC
TOTAL	2.40	59.10	38.60	1.20	0.00	0.00	0.00	0.20	7.40	60.20	33.40	29.80	17.00
249.30 mm													

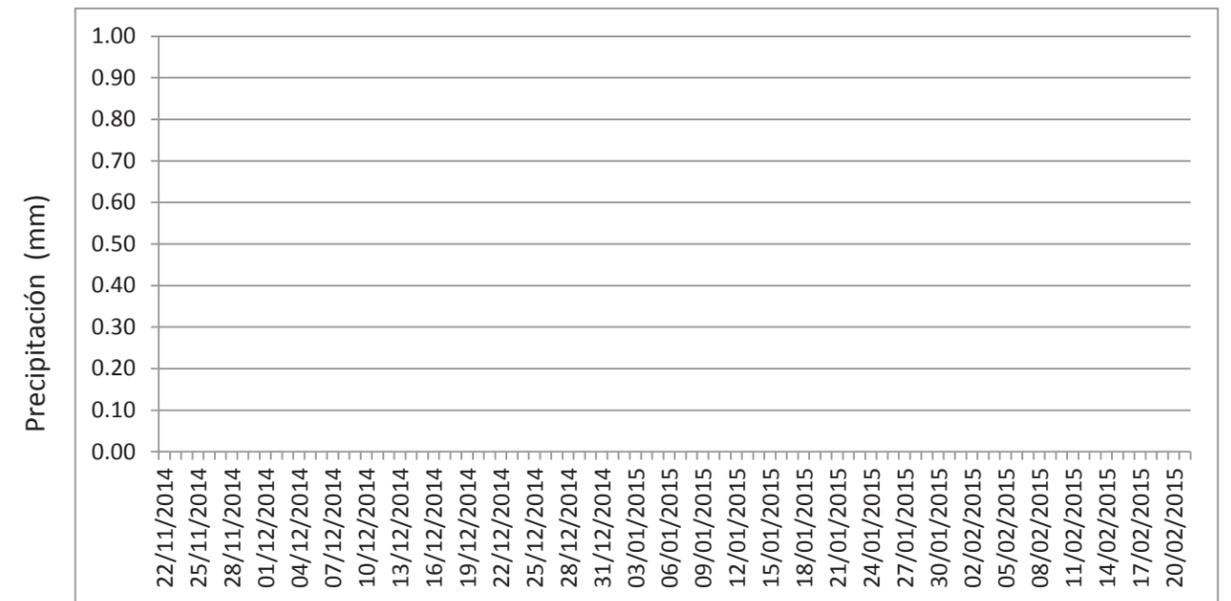
DNC Día No Contabilizado

Tabla 4.5 Registro del régimen pluviométrico EMA-ENCB II, periodo 22/08/2014-22/08/2015. Localización de los tres eventos pluviales de mayor magnitud. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015.

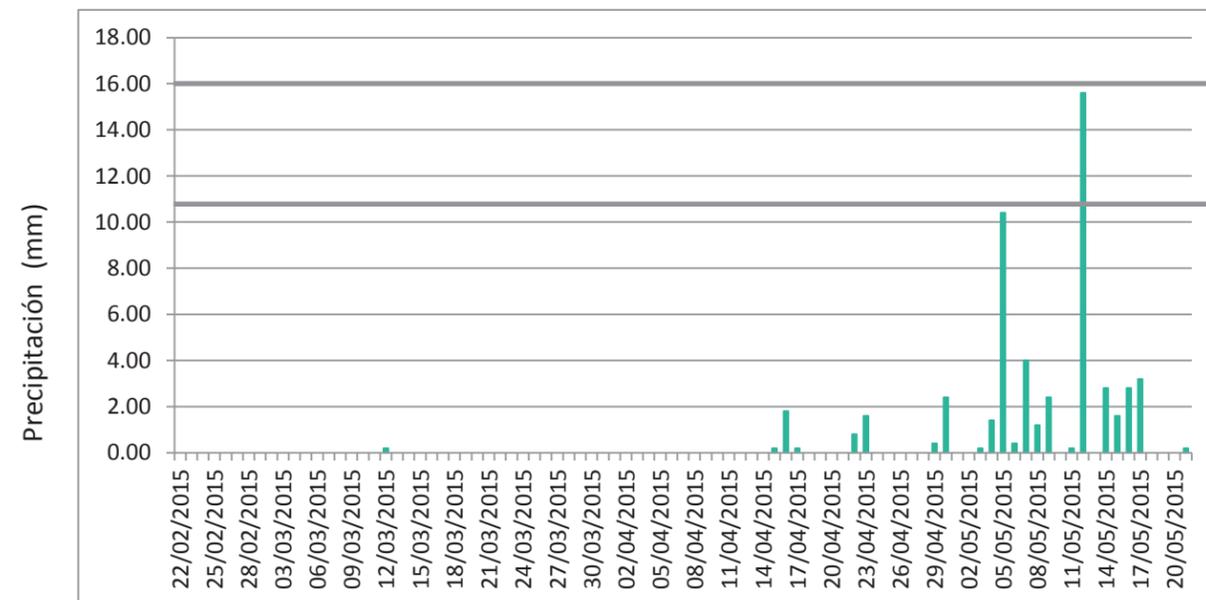
PRECIPITACIÓN 22/08/2014 - 21/11/2014



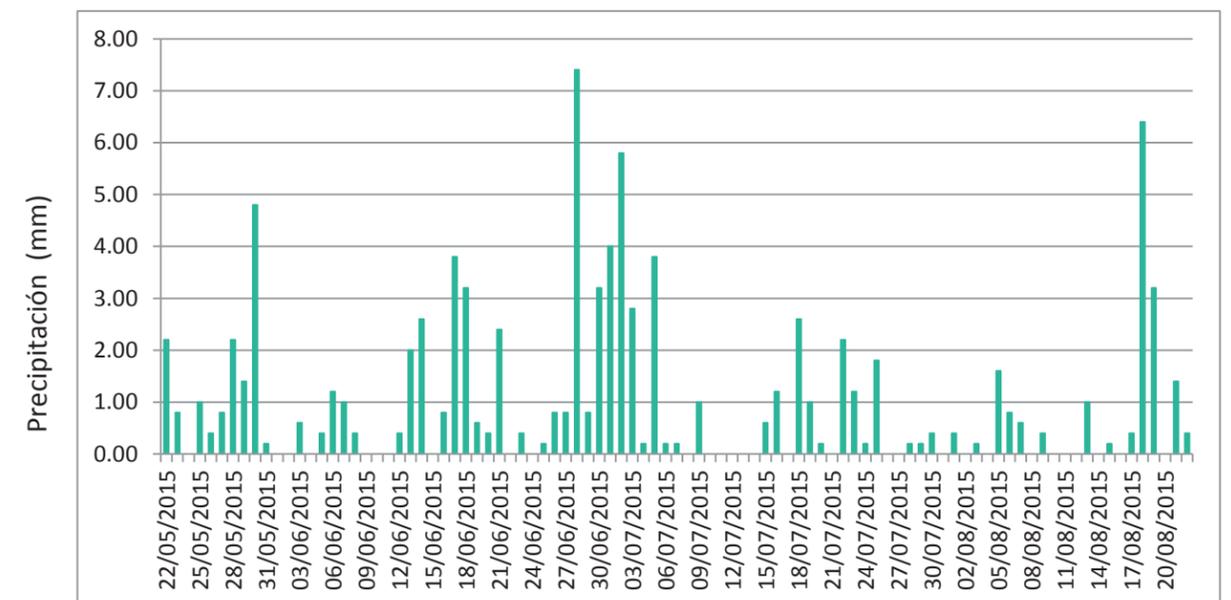
PRECIPITACIÓN 22/11/2014 - 21/02/2015



PRECIPITACIÓN 22/02/2015 - 21/05/2015



PRECIPITACIÓN 22/05/2015 - 22/08/2015



Gráfica 4.3 Pluviograma trimestral de la precipitación monitoreada en la EMA-ENCB II, periodo 22/08/2014-22/08/2015. Localización de los tres eventos pluviales de mayor magnitud. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015.

4.2.5 Evaluación de tres eventos pluviales

Se realizó el balance hídrico básico de los tres eventos con mayores valores de precipitación diaria (20/10/2014, 05/05/2015, 12/05/2015), ocurridos durante el periodo de evaluación, considerando una Precipitación sobre el Área de Captación Total (PACT) del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

El primer evento seleccionado corresponde al 20/10/2014, cuando se precipitaron 9.40 mm, el segundo evento ocurrió el día 05/05/2015 (04/05/2015) con una precipitación de 10.40 mm y el tercer evento seleccionado, fue el de mayor precipitación durante el periodo de evaluación, ocurrido el día 12/05/2015 (11/05/2015) con una precipitación de 15.60 mm.

La metodología empleada para obtener los resultados mostrados, se basó en la medición de la Lámina de Retención Superficial (LRS) con la ayuda de un flexómetro, registrando las mediciones en una tabla para posteriormente ser graficadas; a diferencia de otros estudios en los que el uso de un infiltrómetro, un piezómetro y otros instrumentos, son utilizados para medir la capacidad de infiltración de un jardín de lluvia, la medición de estos eventos se basó en una metodología de observación sistemática, en la que a través de una documentación fotográfica y con el apoyo de las mediciones *in situ* realizadas a cada 30 minutos, adicionadas a los datos otorgados por el SMN, correspondientes a las mediciones de precipitación de la EMA-ENCB II a cada 10 minutos, se lograron obtener los resultados presentados.

Así mismo, al no contar el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* con caudales efluentes que pudieran determinar el flujo de salida, se decidió realizar únicamente un balance hídrico básico, que no consideró parámetros hidráulicos como tiempo de retención o porcentaje de retención, que hubieran mostrado resultados complementarios.

Es importante destacar que los valores del registro del régimen pluviométrico no están en *Universal Time Coordinate* (UTC) Tiempo Universal Coordinado⁷⁴, pues así son calculados y proporcionados por el SMN, por lo que para efectuar el análisis de los tres eventos pluviales de mayor magnitud se realizó una conversión de los horarios, los cuales, al encontrarse en horario de verano, representaron un desfase de (-5) horas, dando como resultado que dos de los tres eventos, tuvieron sus valores máximos de precipitación un día anterior al establecido.

La evaluación de los tres eventos pluviales principales consistió en un análisis mediante un hietograma⁷⁵ que determinara los horarios diarios con mayor precipitación, para posteriormente, tabular algunos parámetros hidráulicos que ofrecieran un balance hídrico básico y poder acercarse a una evaluación simple, pero certera, del comportamiento del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*.

4.2.5.1 Evento 1

El evento ocurrido el día 20/10/2014 presentó una altura de precipitación diaria acumulada de 9.40 mm. (*Tabla 4.6 a*)

Como se aprecia en el gráfico (*Gráfica 4.4*), la precipitación se concentró en un periodo de hora y media (de 15:30 a 17:00), adicionado a una precipitación ligera al inicio del día.

El periodo elegido de mayor precipitación para ser analizado individualmente, considerando la precipitación acumulada en esas horas fue de:

- 9.20 mm=de 15:30-17:00 h.

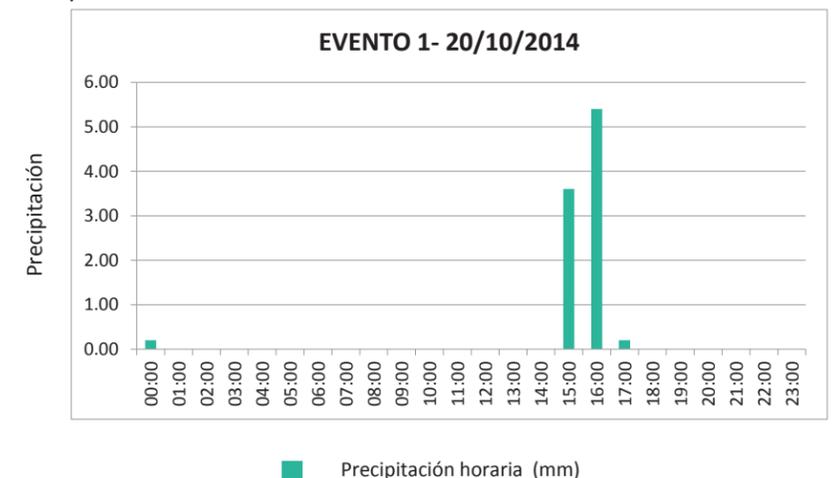
Donde, mediante las mediciones realizadas se determinó que la tasa de infiltración fue de 50 mm/h, logrando infiltrar una Lámina de Retención Superficial (LRS) de 150 mm de espesor, correspondiente a 1,107.68 L, en un tiempo de 180 minutos correspondiente a las tres horas desde que da inicio la precipitación, hasta el término de infiltración de la LRS. (*Tabla 4.6 b*)

HORA	PRECIPITACIÓN
00:00	0.20
01:00	0.00
02:00	0.00
03:00	0.00
04:00	0.00
05:00	0.00
06:00	0.00
07:00	0.00
08:00	0.00
09:00	0.00
10:00	0.00
11:00	0.00
12:00	0.00
13:00	0.00
14:00	0.00
15:00	3.60
16:00	5.40
17:00	0.20
18:00	0.00
19:00	0.00
20:00	0.00
21:00	0.00
22:00	0.00
23:00	0.00
TOTAL	9.40

Tabla 4.6 a Precipitación registrada el día 20/10/2014. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015.

FECHA	HORARIO DE INICIO DE PRECIPITACIÓN	HORARIO DE TÉRMINO DE PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN	ALTURA DE LA LÁMINA DE RETENCIÓN SUPERFICIAL (LRS)	TÉRMINO DE INFILTRACIÓN DE (LRS)	TIEMPO MONITOREADO (min)	TASA DE INFILTRACIÓN (mm/h)	EXTRAVASAMIENTO
20/10/2014	15:30	17:00	9.20 mm	150 mm	18:30	180	50	NO

Tabla 4.6 b Resumen del evento pluvial 1. Fuente: Casandra Badillo, 2015.



Gráfica 4.4 Hietograma del día 20/10/2014. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015.

⁷⁴ El Tiempo Universal Coordinado es la zona horaria de referencia, respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo.

⁷⁵ Forma gráfica de representación de los volúmenes precipitados, en forma de barras, en el que se muestra la intensidad de la lluvia a lo largo de su duración (TUCCI *et al.*, 1995).

4.2.5.2 Evento 2

El evento ocurrido el día 04/05/2015 presentó una altura de precipitación acumulada de 9.40 mm en un periodo de casi hora y media, por lo que fue elegido como el segundo evento a estudiar; dicho periodo se derivó de un acumulado de 10.60 mm pertenecientes a la precipitación de las 19:00 del día 04/05/2015 hasta las 24:00 del día 05/05/2015. (**Tabla 4.7 a**)

Observando el gráfico (**Gráfica 4.5**), se puede apreciar que la precipitación se concentró en un periodo de poco más de una hora (de 19:00 a 20:20), adicionando ligeras precipitaciones ocurridas al día siguiente.

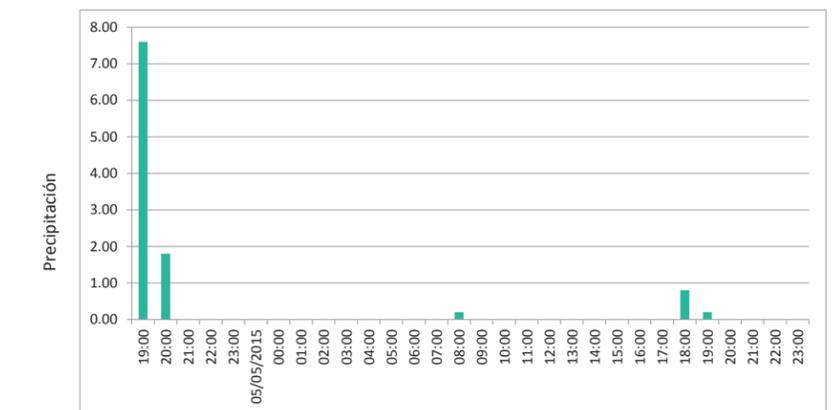
El periodo elegido para ser analizado individualmente fue:

- 9.40 mm=de 19:00-20:20 h.

Donde, mediante las mediciones realizadas se determinó que la tasa de infiltración fue de 90 mm/h, logrando infiltrar una Lámina de Retención Superficial (LRS) de 180 mm de espesor, correspondiente a 1,131.76 L, en un tiempo de 120 minutos correspondiente a las dos horas desde que da inicio la precipitación, hasta el término de infiltración de la LRS. (**Tabla 4.7 b**)

HORA	PRECIPITACIÓN
19:00	7.60
20:00	1.80
21:00	0.00
22:00	0.00
23:00	0.00
05/05/2015	
00:00	0.00
01:00	0.00
02:00	0.00
03:00	0.00
04:00	0.00
05:00	0.00
06:00	0.00
07:00	0.00
08:00	0.20
09:00	0.00
10:00	0.00
11:00	0.00
12:00	0.00
13:00	0.00
14:00	0.00
15:00	0.00
16:00	0.00
17:00	0.00
18:00	0.80
19:00	0.20
20:00	0.00
21:00	0.00
22:00	0.00
23:00	0.00
TOTAL	10.60

Tabla 4.7 a Precipitación registrada el día 04/05/2015. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015. EVENTO 2- 04/05/2015



FECHA	HORARIO DE INICIO DE PRECIPITACIÓN	HORARIO DE TÉRMINO DE PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN	ALTURA DE LA LÁMINA DE RETENCIÓN SUPERFICIAL (LRS)	TÉRMINO DE INFILTRACIÓN DE (LRS)	TIEMPO MONITOREADO (min)	TASA DE INFILTRACIÓN (mm/h)	EXTRAVASAMIENTO
04/05/2015	19:00	20:20	9.40 mm	180 mm	21:00	120	90	NO

Tabla 4.7 b Resumen del evento pluvial 2. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

Gráfica 4.5 (derecha) Hietograma del día 04/05/2015. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015.

4.2.5.3 Evento 3

El evento ocurrido el día 11/05/2015 presentó una altura de precipitación acumulada de 12.60 mm en un periodo casi una hora, por lo que fue elegido como el tercer y máximo evento a estudiar; dicho periodo se derivó de un acumulado de 15.60 mm pertenecientes a la precipitación de las 19:00 del día 11/05/2015 hasta las 24:00 del día 12/05/2015. (*Tabla 4.8 a*)

Observando el gráfico (*Gráfica 4.6*), se puede apreciar que la precipitación se concentró en un periodo de poco menos de una hora (de 19:20 a 20:10), adicionado a una precipitación breve ocurrida en la tarde del día siguiente.

El periodo elegido para ser analizado individualmente fue:

- 12.60 mm=de 19:20-20:10 h.

Donde, mediante las mediciones realizadas se determinó que la tasa de infiltración fue de 115 mm/h, logrando infiltrar una Lámina de Retención Superficial (LRS) de 230 mm de espesor, correspondiente a 1,517.04 L, en un tiempo de 120 minutos correspondiente a las dos horas desde que da inicio la precipitación, hasta el término de infiltración de la LRS. (*Tabla 4.8 b*)

Debido a que en ninguno de los dos primeros eventos se rebasó la capacidad de infiltración del suelo mejorado, no hubo extravasamiento en el sistema; sin embargo, en el tercer evento, el volumen precipitado fue mayor a lo que su capacidad de retención pudo resistir, derivando en el extravasamiento y sobresaturación del sistema; no obstante, el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* pudo infiltrar un torrente pluvial cercano a los 1,500 litros en apenas dos horas.

En los tres eventos se consideró un Volumen Pluvial Infiltrado Total (VPIT), valor que no contempla cálculos de evaporación, **evapotranspiración**, coeficiente de escurrimiento u otros, pues se trata de un balance hídrico básico; no obstante, la tasa de infiltración promedio de los tres eventos pluviales fue de 85 mm/h, signo de un correcto funcionamiento demostrando que las limitaciones en el cálculo del modelo experimental, no condicionaron su eficiencia.

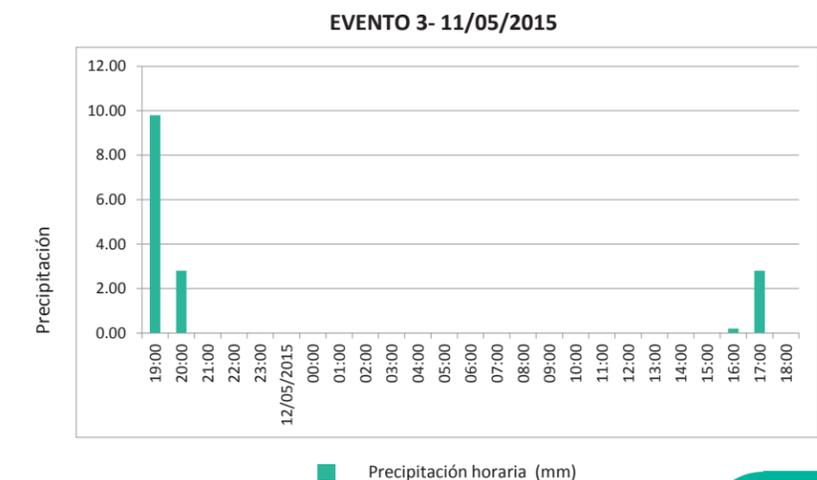
FECHA	HORARIO DE INICIO DE PRECIPITACIÓN	HORARIO DE TÉRMINO DE PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN	ALTURA DE LA LÁMINA DE RETENCIÓN SUPERFICIAL (LRS)	TÉRMINO DE INFILTRACIÓN DE (LRS)	TIEMPO MONITOREADO (min)	TASA DE INFILTRACIÓN (mm/h)	EXTRAVASAMIENTO
11/05/2015	19:20	20:10	12.60 mm	230 mm	21:20	120	115	Sí

Tabla 4.8 b Resumen del evento pluvial 3. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

Gráfica 4.6 (derecha) Hietograma del día 11/05/2015. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015.

HORA	PRECIPITACIÓN
19:00	9.80
20:00	2.80
21:00	0.00
22:00	0.00
23:00	0.00
12/05/2015	
00:00	0.00
01:00	0.00
02:00	0.00
03:00	0.00
04:00	0.00
05:00	0.00
06:00	0.00
07:00	0.00
08:00	0.00
09:00	0.00
10:00	0.00
11:00	0.00
12:00	0.00
13:00	0.00
14:00	0.00
15:00	0.00
16:00	0.20
17:00	2.80
18:00	0.00
19:00	0.00
20:00	0.00
21:00	0.00
22:00	0.00
23:00	0.00
TOTAL	15.60

Tabla 4.8 a Precipitación registrada el día 11/05/2015. Fuente: Adaptado de la información del SMN. Autor: Casandra Badillo, 2015.



4.2.6 Volumen pluvial infiltrado total

Debido a que se requieren datos como porosidad del suelo, coeficiente de escurrimiento, evaporación y evapotranspiración para calcular con exactitud el Volumen Pluvial Infiltrado Total (VPIT) y poder calcular un balance hídrico detallado, se decidió calcular el volumen pluvial aproximado que el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* logró infiltrar, considerando la Precipitación Directa (PD), la Precipitación sobre la Superficie Impermeable (PSI) y la Precipitación sobre el Área de Captación Total (PACT). (**Tabla 4.9**)

SIGLA	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	VALOR	
ÁREA DE CAPTACIÓN	PD	Precipitación Directa	Es la precipitación que cae sobre el área del jardín de lluvia	14.00 m ²
	PSI	Precipitación sobre la Superficie Impermeable	Es la precipitación que cae sobre la superficie impermeable de la que se capta el agua para el jardín de lluvia (área con concreto=48.50 m ² +canaletas=7.40 m ²) (Ver tabla 3.8)	55.90 m ²
	PACT	Precipitación sobre el Área de Captación Total	Es la suma de los conceptos anteriores	69.9 m ²
PA	Precipitación Anual	Es el volumen de lluvia precipitado a lo largo del periodo de evaluación (22/08/2014–22/08/2015) según los datos de la EMA más cercana al <i>Sitio de Estudio</i>	249.30 mm	
VPIT	Volumen Pluvial Infiltrado Total	$\frac{PACT \times PA}{1000}$ 69.90 m ² x 249.30 mm=	17,426.07 L	
VOLUMEN PLUVIAL INFILTRADO TOTAL (Nota 1)			17,426.07 L	

Tabla 4.9 Volumen pluvial infiltrado total, cálculo estimado, periodo 22/08/2014-22/08/2015. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NOTAS:

(**Nota 1**) El volumen pluvial infiltrado total no consideró porosidad del suelo, evaporación, evapotranspiración, ni coeficientes de escurrimiento, por lo tanto, es únicamente aproximado.

4.2.7 Riego artificial suministrado

Para evaluar el Riego Artificial Suministrado (RAS) al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* se determinó el volumen de agua con el que fue regado a lo largo del periodo de evaluación.

Es importante destacar que el RAS fue proporcionado únicamente en una ocasión durante el periodo de adaptación de la vegetación, durante la temporada sin precipitación pluvial que abarcó los meses de diciembre a marzo y en una ocasión por la reposición de ejemplares debido al robo; el resto del periodo de evaluación la vegetación sobrevivió con el régimen pluviométrico precipitado.

El volumen final del RAS corresponde a 189.90 litros (**Tabla 4.10**), los cuales, si fueran repartidos equitativamente entre los 60 ejemplares (**Ver nota 1 Tabla 4.10**), corresponderían a 3.16 litros/ejemplar/año, representando un riego artificial mínimo comparado con los requerimientos hídricos de muchas de las especies introducidas empleadas actualmente en las áreas verdes de Azcapotzalco.

FECHA	CANTIDAD (litros)	CONCEPTO
27/08/2014	40	Adaptación de la vegetación
15/12/2014	3.0	Temporada sin precipitación pluvial
14/01/2015	1.5	
28/01/2015	25	
04/02/2015	45	
23/02/2015	35	
05/03/2015	40	
28/04/2015	0.4	Reposición de ejemplares
RIEGO ARTIFICIAL SUMINISTRADO (Nota 1)		189.90 L

Tabla 4.10 Riego artificial suministrado, periodo 22/08/2014-22/08/2015. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NOTAS:

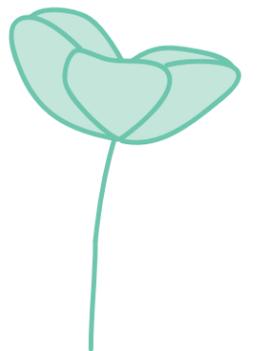
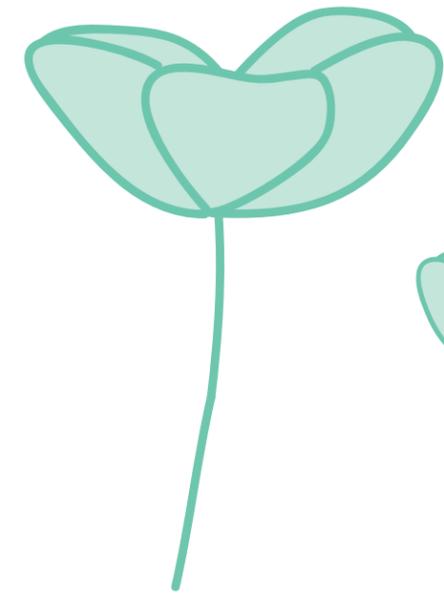
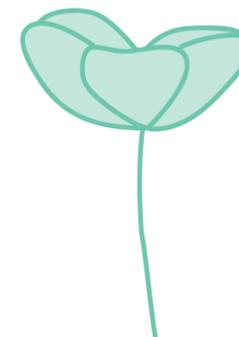
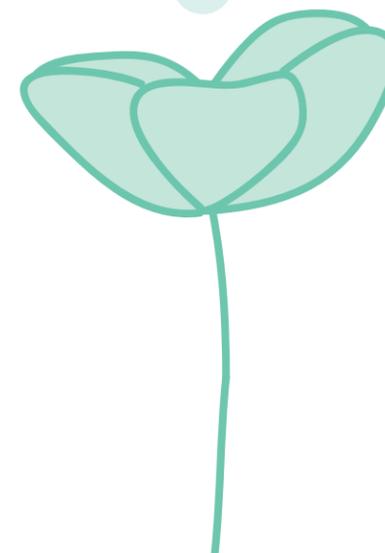
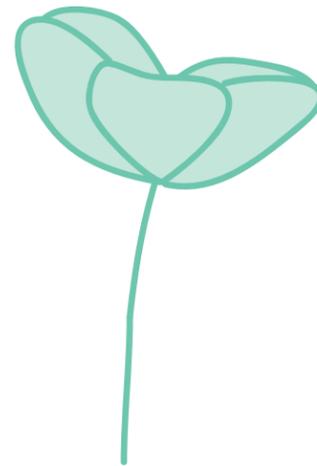
(Nota 1) El riego artificial suministrado descrito es el volumen total que fue abastecido entre todos los ejemplares, variando la cantidad de acuerdo con las necesidades hídricas de cada especie.

CAPÍTULO V

MODELOS CONCEPTUALES DE JARDÍN DE LLUVIA

“ (...) Esta lluvia que ciega los cristales
Alegrará en perdidos arrabales
Las negras uvas de una parra en cierto (...) ”

JORGE LUIS BORGES
LA LLUVIA



Una vez realizada la investigación relativa a la situación actual de Azcapotzalco y con el *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* como prueba de la eficiencia de los jardines de lluvia en el entorno urbano de Azcapotzalco, se procedieron a elaborar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*.

Para llegar al desarrollo de los mismos, surgió como primera inquietud el generar diseños propios pero, al no existir precedentes nacionales de un proyecto análogo que pudiera ser utilizado como punto de partida para el diseño de estos, se decidió utilizar la bibliografía existente, basándose en tipologías y casos de estudio de los EE. UU., por tratarse de uno de los primeros desarrolladores de jardines de lluvia, cuyos manuales de diseño como el *Bioretention Manual* (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 2007) son literatura indispensable para el estudio y desarrollo de los jardines de lluvia.

Los modelos debían ser propuestas que consideraran la realidad construida en ciudades mexicanas, en las que los materiales y sistemas constructivos, así como la infraestructura urbana y normativa, difieren de aquellos propuestos en los casos de estudio experimentados; en este punto fue igualmente importante considerar las condiciones hidrometeorológicas de Azcapotzalco, así como su vegetación, que divergen de aquellas que ya se han examinado.

El siguiente objetivo fue localizar las *Áreas con Potencial de Intervención (API)* en las que se podrían desarrollar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en caso de implementarse, las cuales están basadas en las principales formas de habitar, así como en las áreas urbanas de mayor potencial de intervención de Azcapotzalco; posterior, se realizó un análisis de sitio basado en cinco enfoques contemplando la perspectiva funcional, formal, socio-cultural, ambiental y polisensorial.

Se prosiguió con el proceso de diseño, que implicó un análisis de la vocación de cada API, así como los criterios de diseño que influían directamente en el diseño presente y futuro de estas.

Así mismo, se desarrolló la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*, la cual presenta 110 especies arbóreas, arbustivas, herbáceas, gramíneas e inundables, con potencial para ser utilizadas en caso de implementar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*.

Finalmente se presentan los *Lineamientos para el diseño e implementación*, así como un *Plan de conservación y mantenimiento* y las *Generalidades para la implementación*, para lograr el desarrollo de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en la realidad construida de Azcapotzalco, además de exponer las medidas legales que son necesarias para llegar a dicho fin.

5.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ACTUAL DE AZCAPOTZALCO

De acuerdo con el *Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco (2009-2012)* Azcapotzalco es una demarcación con necesidades concretas y problemáticas ambientales puntuales que deben ser estudiadas desde una perspectiva multidisciplinar integral.

Dentro de sus principales problemas ambientales, se encuentran por un lado, los relacionados con el agua, teniendo como ejemplo las constantes inundaciones en época de lluvias que afectan bienes materiales e infraestructura y ponen en peligro la salud de la población (**Fig. 5.1**), sin mencionar las afectaciones que causan sobre la movilidad de personas y vehículos; lo anterior de muy variadas causas pero teniendo como una de las principales, la insuficiencia del sistema de drenaje para desalojar grandes volúmenes de agua de lluvia durante eventos pluviales cada vez más severos y constantes.

En la misma materia, la demarcación desaprovecha y contamina anualmente millones de litros de agua pluvial que podrían ser utilizados para ayudar a satisfacer la creciente demanda del recurso.

Desde una perspectiva geomorfológica, la demarcación presenta hundimientos acentuados principalmente en las zonas industriales, debido a la sobreexplotación del acuífero, ocasionando repercusiones en la infraestructura subterránea, particularmente en la ruptura y contrapendiente de tuberías de drenaje, exponiendo a la población a problemas de índole sanitaria por la contaminación de los mantos acuíferos y por inundaciones de aguas negras. También, debido a su carácter altamente industrial, Azcapotzalco presenta constantemente elevados índices de contaminación atmosférica, poniendo en riesgo la salud de la población y repercutiendo nocivamente en el medio ambiente.

Así mismo, Azcapotzalco presenta un déficit de áreas verdes al contar con 2.42 m²/habitante, parámetro muy por debajo de los estándares recomendados para una población saludable, dejando en evidencia la imperante necesidad de aprovechar espacios en banquetas, camellones, baldíos, patios, áreas comunes, remanentes urbanos o cualquier espacio abierto disponible, para convertirlo en área vegetada y así sumar áreas verdes, brindando los beneficios que aporta la vegetación al medio ambiente y a la población.

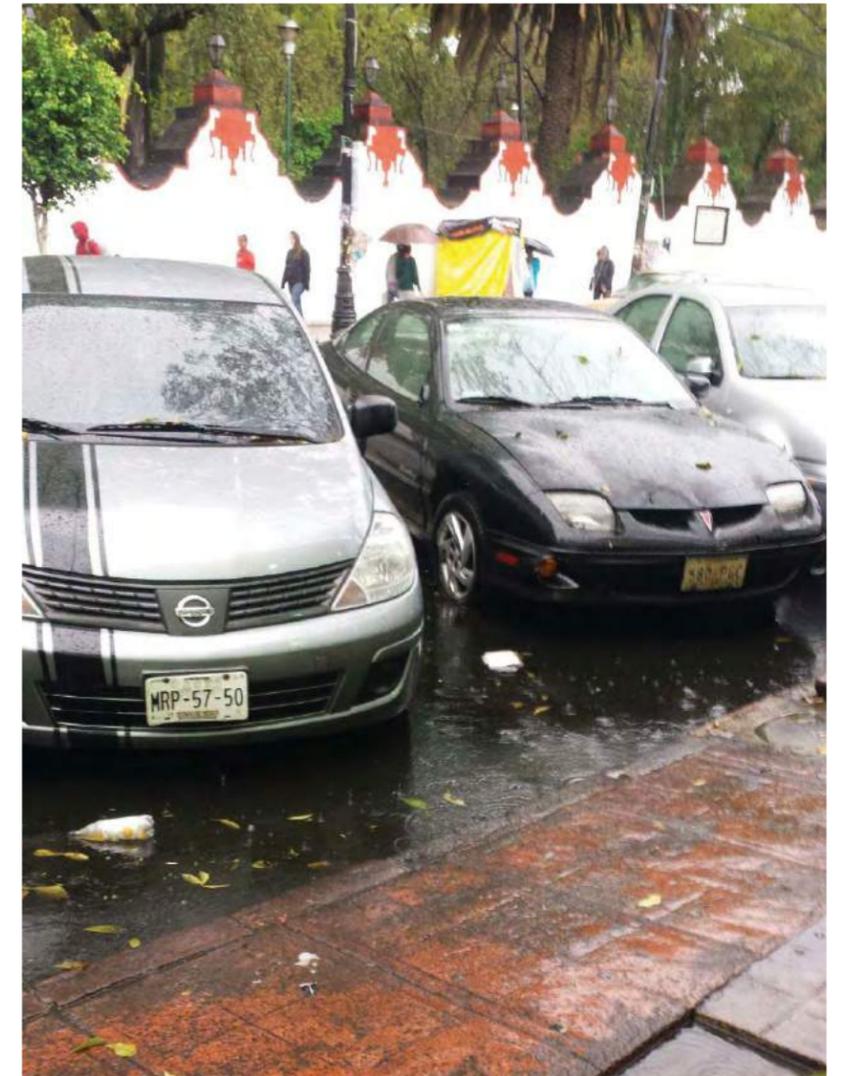


Figura 5.1 Inundaciones en época de lluvias. Debidas a la insuficiencia del drenaje para conducir el torrente pluvial, desaprovechando agua que podría utilizarse para la subsistencia de vegetación. Av. Azcapotzalco enfrente de la Parroquia y Convento de los Santos Apóstoles Felipe y Santiago. Fuente: Karen Ramírez, 2015.

5.1.1 Uso de los jardines de lluvia en Azcapotzalco

Con la problemática antes descrita y teniendo como antecedente los beneficios ya expuestos que aportan los jardines de lluvia, se propone el uso de los mismos como estrategia para mejorar el paisaje urbano de Azcapotzalco, abordando puntualmente algunos de sus principales problemas ambientales, y considerando como ha sido expuesto, al paisaje como infraestructura para minimizar el impacto del medio construido en la demarcación.

Algunas de las características que convierten a los jardines de lluvia en estrategias paisajísticas óptimas para utilizar en las condiciones actuales ambientales, urbanísticas y sociales de Azcapotzalco son:

- Se adaptan a las condiciones urbanas ya construidas; al ser de dimensiones pequeñas, se pueden acondicionar en áreas limitadas, por lo que pueden ser aplicados en remanentes urbanos o en áreas con construcciones previas. (**Fig. 5.2**)
- Son capaces de infiltrar grandes torrentes pluviales disminuyendo el riesgo a inundaciones, al lograr distribuir la escorrentía pluvial en sistemas que dan apoyo al drenaje convencional.
- Incrementan las áreas para la infiltración de aguas pluviales y conducen ordenadamente la escorrentía pluvial.
- Son una estrategia para ayudar a la fitorremediación de suelos y de agua, logrando disminuir los contaminantes en suelo y de aquellos que se precipitan sobre las áreas urbanizadas contaminadas.
- Mejoran paulatinamente la calidad del aire del medio ambiente en el que se instalan, mejorando la salud pública en áreas densamente pobladas o industrializadas.
- Al ser propuestas que utilizan principalmente vegetación herbácea, cubresuelos y ocasionalmente arbustiva y arbórea, utilizan menos espacio horizontal (área superficial) y vertical (área subterránea), que si se utilizaran grandes árboles, por lo que son ideales para instalarse en sitios donde no se cuente con suficiencia de espacio.
- Al utilizar vegetación nativa tienen un consumo de agua más eficiente en comparación con otras especies (**Fig. 5.3**); además, al ser vegetación local, reducen los costos de traslado y mantenimiento y ayudan a difundir las especies autóctonas, incentivando su uso en otros espacios.
- Utilizan materiales de bajo mantenimiento y alta resistencia.
- Son de baja manutención, pues requieren de un programa básico de mantenimiento para conservarse en óptimas condiciones.



Figura 5.2 Espacio público subutilizado. Existen remanentes urbanos en los que se podría instalar infraestructura verde, brindando beneficios al ambiente y a la población. Eje 3 norte (16 de Septiembre), Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

A pesar de la problemática ambiental que presenta Azcapotzalco, es también una demarcación preocupada por abordarla desde nuevos enfoques, para lo anterior, basta mencionar que hasta la fecha es la primera y la única delimitación en la que se ha situado un Centro Verde,⁷⁶ en cuyas instalaciones se imparten cursos para el manejo y aprovechamiento de residuos, captación y reutilización del agua pluvial, agricultura urbana, muros verdes, ecotecnologías y otros.

De igual forma, en los planes y programas que establecen los lineamientos con los que debe erigirse la demarcación, se menciona la necesidad de incrementar las áreas verdes y rescatar el espacio público para una aproximación a la sustentabilidad urbana; por mencionar un ejemplo, en el *Programa de Gobierno Delegacional, Delegación Azcapotzalco, administración (2009-2012)*, pág. 28 se estableció que “el deterioro paulatino del espacio público y del medio ambiente, la disminución de áreas verdes y sus recursos naturales, así como la reducción de espacios recreativos y la alteración de la imagen urbana, son los factores que atienden los servicios urbanos, para rescatar el espacio público y fortalecer una cultura sustentable del desarrollo urbano”, dejando en evidencia que los gobiernos están cada vez más interesados en mejorar el espacio público del que se dispone, implementando nuevas estrategias para el mejoramiento del medio ambiente y para elevar la calidad de vida de los habitantes.

5.1.2 Adaptación al contexto de Azcapotzalco

Para el desarrollo de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, se tomaron como base los casos análogos de jardines de lluvia construidos en los EE. UU. por tratarse del caso de estudio precursor y con mayor trayectoria en el desarrollo de los mismos.

Para lo anterior, se estudiaron ejemplos similares en ciudades diversas y distantes entre sí como San Francisco, Connecticut, Portland o California, para analizar los resultados que obtuvieron y encontrar patrones acertados que pudieran encaminar hacia un diseño propio considerando las condiciones de Azcapotzalco.

Así también, el estudio se basó en multiregiones, pues buscó analizar el comportamiento de la vegetación estudiada en diversos climas y bajo diferentes circunstancias, para poder obtener las pautas de una paleta vegetal propia adecuada para el caso de estudio.

A lo anterior, se sumaron inicios de propuestas en contextos latinoamericanos, teniendo como referencia estudios realizados en Colombia y Brasil, cuyos resultados pudieran representar un acercamiento a la realidad latinoamericana que encaminara hacia el desarrollo de modelos conceptuales en un contexto mexicano.



Figura 5.3 Uso de vegetación introducida. Al utilizar especies exógenas, se origina erosión del suelo, altos costos de mantenimiento, elevado consumo de agua y que un porcentaje mínimo de las unidades sobreviva. Vegetación en jardinera frente a la UAM-Azcapotzalco.

Fuente: Casandra Badillo, 2016.

En el marco nacional, no se encontraron jardines de lluvia construidos que representaran un símil o fundamento para el desarrollo de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, por lo tanto, se tomó como base la experiencia de la construcción y los resultados obtenidos del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* para encaminar las propuestas de diseño hacia un contexto verídico, presente y puntual.

De igual forma, se hizo una revisión de la normativa vigente referente a las intervenciones en áreas verdes, espacio público, vialidades, ordenamiento territorial y accesibilidad, teniendo como base principal los *Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo* (2012) al tratarse del manual vigente que logra aproximarse más al aprovechamiento de pequeños espacios urbanos remanentes o subutilizados, que con una intervención adecuada, pueden convertirse en áreas para el disfrute de la comunidad con la posibilidad de aportar importantes beneficios ambientales.

⁷⁶ Centro Verde Azcapotzalco. Dirección Av. 22 de Febrero N° 440, Azcapotzalco, Ciudad de México.

5.2 ÁREAS CON POTENCIAL DE INTERVENCIÓN

Una vez identificada la problemática ambiental actual de Azcapotzalco, se llevó a cabo un análisis de las *Áreas con Potencial de Intervención* (API), es decir, aquellos espacios estratégicos en los que se podrían implementar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en la demarcación Azcapotzalco.

Después de un minucioso análisis, se llegó a la conclusión de desarrollar los modelos en cuatro API, dos de las cuales, abarcarían la escala urbana, y las otras dos la escala arquitectónica con la finalidad de ofrecer estrategias que beneficiaran al mayor número de usuarios.

Si bien las API propuestas pueden no representar grandes extensiones superficiales considerando la magnitud de la demarcación, están pensadas para que en conjunto, y actuando sobre puntos estratégicos, brinden aportes significativos al medio ambiente y a la población.

Es importante destacar que las cuatro API propuestas están planeadas como áreas en las que se tendría una intervención mínima en el espacio público y privado, considerando las condiciones actuales construidas y tomando en cuenta el mobiliario urbano existente.

Las *Áreas con Potencial de Intervención* (API) fueron conformadas de la siguiente manera:

- 1- Banquetas de dimensiones pequeñas
- 2- Banquetas de grandes dimensiones
- 3- Áreas en casa habitación
- 4- Áreas comunes de unidades habitacionales

5.2.1 Áreas 1 y 2

Las dos primeras API están enfocadas en actuar sobre el *espacio público*⁷⁷ de mayor dominancia en la demarcación: las *banquetas*,⁷⁸ las cuales además de permitir la circulación peatonal y funcionar como área de transición entre las construcciones y las calles, proporcionan un espacio con potencial para albergar una nueva tipología de infraestructura verde, al ser áreas en las que ya se cuenta con las instalaciones, dimensiones y función para albergar vegetación, pero que debido al diseño actual manifestado principalmente en forma de jardineras, no logra brindar los beneficios ambientales, sociales y económicos que un jardín de lluvia proporcionaría. (**Fig. 5.4**)

Otra de las razones para utilizar estas áreas, es que buena parte del espacio en las calles se encuentra subutilizado, razón por la cual existe un enorme potencial para revegetar con especies propicias y mediante modelos que logren captar el agua pluvial o incluso conducirla hacia usos secundarios.

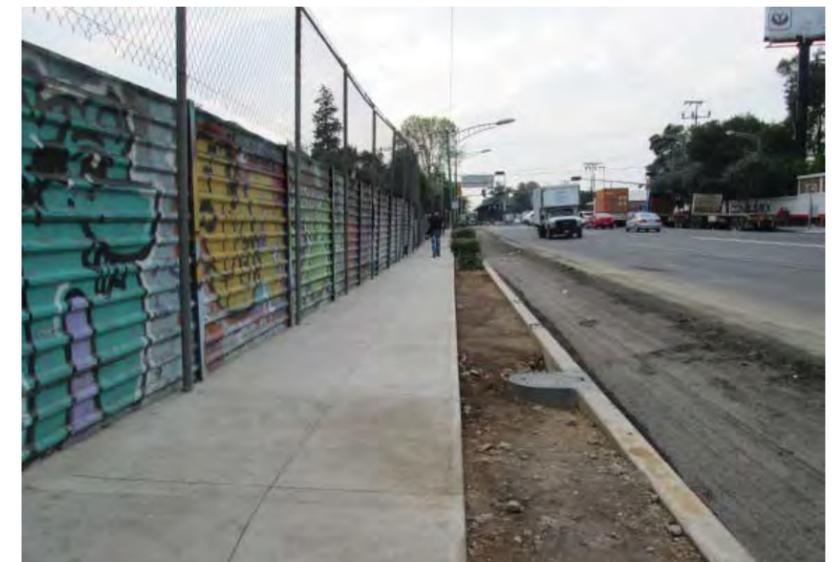


Figura 5.4 Ejemplos de Áreas con Potencial de Intervención 1 y 2. Área 1-Banquetas de dimensiones pequeñas (Av. Azcapotzalco), Área 2-Banquetas de grandes dimensiones (Av. Montevideo, Eje 5 Norte). Fuente: Casandra Badillo, 2015.

El utilizar el espacio predispuesto para vegetar, abordando su función desde una nueva perspectiva, permitirá no sólo acentuar su función, sino aportar beneficios complementarios como protección a los peatones en vialidades primarias o secundarias, al mismo tiempo que podrán servir como herramienta de educación ambiental para la población.

Al emplear áreas presentes en toda la demarcación, se permitirá la creación de espacios interconectados que generarán un sistema en el que el paisaje será considerado infraestructura.

De igual manera, al proponen las API dentro del espacio público como protagonista del intercambio social y del desarrollo de la vida colectiva, se incrementará la calidad de vida⁷⁹ de los usuarios.

5.2.2 Áreas 3 y 4

Las otras dos API tienen un enfoque en la escala arquitectónica presente en los espacios libres dentro de las casas habitación y unidades habitacionales. La decisión anterior estuvo basada en un análisis realizado en el que se tuvo como referencia al *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco* (2008), en el cual queda establecido que el 47.98% del total de las viviendas habitadas en la demarcación, son casas clasificadas como “casa independiente” o “casa habitación”, seguido de un 32.07% de departamentos en edificio o unidades habitacionales; de este modo, al sugerir los espacios libres en las casas habitación y unidades habitacionales como *Áreas con Potencial de Intervención*, se abarcarían las principales formas de habitar de Azcapotzalco para el desarrollo de jardines de lluvia. (Fig. 5.5)

⁷⁷ *Espacio público* son todos aquellos espacios que no son propiedad privada y que son gestionados y administrados por algún nivel del gobierno. Información disponible en: Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo, (2012).

⁷⁸ Una *banqueta* es la porción de la corona de una calle destinada al tránsito de personas, generalmente comprendida entre la vía de circulación de vehículos y el alineamiento de las propiedades. Información disponible en: Vialidad urbana, SEDESOL, (2008).

⁷⁹ El término *calidad de vida* es utilizado para referirse al nivel de bienestar general de individuos y sociedades, en función de factores materiales y ambientales. Información disponible en: Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo, (2012).



Figura 5.5 Ejemplos de Áreas con Potencial de Intervención 3 y 4. Área 3-Áreas en casa habitación (Calle Morelos), Área 4-Áreas comunes de unidades habitacionales (Av. Montevideo, Eje 5 Norte). Fuente: Casandra Badillo, 2015.

5.3 ANÁLISIS DE SITIO

Con la finalidad de que los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* respondieran a las necesidades de Azcapotzalco, se llevó a cabo una etapa de análisis de sitio cuyos resultados permitieron identificar puntualmente la problemática presente y las condiciones del entorno.

Para lo anterior, se realizó un análisis de sitio y numerosos recorridos de observación, a partir de los cuales se detectaron las principales problemáticas.

Para realizar el análisis de sitio, se tomaron como base los cuatro tipos de análisis propuestos en los *Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo* (2012), por ser el aproximamiento más cercano al tratamiento integral de las áreas verdes en la Ciudad de México, adicionando una quinta tipología analítica contemplada en la metodología propuesta por (MARTÍNEZ, 2002) denominada *aspecto polisensorial del paisaje*,⁸⁰ al lograr entender al paisaje y los elementos que lo conforman, como originadores de percepciones en el usuario.

Realizar un análisis de sitio fue una etapa clave en el proceso de diseño, pues a través de los resultados obtenidos (**Tabla 5.1**), se pudieron elaborar propuestas de *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* que resultaran acordes y acertadas con su contexto.

5.3.1 Análisis funcional

La etapa de análisis funcional sirvió para delimitar los usos y funciones actuales como un primer acercamiento para reconocer el contexto inmediato, así como la existencia de infraestructura y equipamiento urbano que intervendría en las *Áreas con Potencial de Intervención* (API).

- CONTEXTO INMEDIATO: Con apoyo de los recorridos de observación, se estableció el contexto inmediato en el que se encuentran las API.
- USOS ACTUALES: Se identificaron los usos actuales que se le dan a las API.
- EQUIPAMIENTO URBANO: Se identificó la infraestructura urbana que colindaría de manera directa o que pudiera intervenir, en caso de implementar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*.
- ACCESIBILIDAD: Se realizó un estudio de accesibilidad en las API, para evitar que los modelos propuestos afectaran circulaciones peatonales o vehiculares.

⁸⁰ MARTÍNEZ, F. A. (2002). *El paisaje, un modelo conceptual*. En: *Diseño, Planificación y Conservación de Paisajes y Jardines*. Posgrado: Especialización y Maestría en Diseño. pág. 29-44.

5.3.2 Análisis formal

Una segunda etapa estuvo constituida por un análisis formal, el cual ofreció una perspectiva más consistente de las API de las que se analizaron sus dimensiones, formas, materiales y mobiliario.

- DIMENSIONAMIENTO: Se determinaron las dimensiones de las API.
- DELIMITACIÓN: Se establecieron los límites espaciales de las API.
- FORMA: Se delimitaron las formas espaciales presentes en cada API.
- MATERIALES Y ACABADOS: Se clasificaron los materiales que prevalecen en las API, así como sus características generales.
- MOBILIARIO URBANO: Se determinó el mobiliario urbano que podría tener algún tipo de interferencia o colindancia en el caso de implementar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en las API propuestas.

5.3.3 Análisis socio-cultural

La etapa del análisis socio-cultural fue fundamental para determinar el tipo de usuario para el que se diseñarían los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*; también fue la etapa en la que se delimitó el entorno social en el que se encontraban inmersas las API.

- IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS ACTUALES Y POTENCIALES: Se definieron los usuarios que utilizan actualmente las API, así como en caso de implementación, aquellos que utilizarían los nuevos espacios diseñados.
- TIPO DE ACTIVIDADES QUE SE REALIZAN EN EL ENTORNO: Se realizó un registro de las principales actividades que se realizan en las API, así como sus horarios.
- DESCRIPCIÓN SOCIO-ECONÓMICA: Una vez identificados los usuarios principales, se determinó el estrato social al que pertenecen, lo anterior con ayuda del *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco* (2008), con la finalidad de que los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* fueran asequibles y acertados para cada tipo de usuario.

5.3.4 Análisis ambiental

La etapa de análisis ambiental fue aquella en la que se identificaron los factores vegetales que intervienen directamente con las API, así como las condiciones en las que se encuentran; también, es un análisis de la fauna nociva y benéfica que participa en las API.

- IDENTIFICACIÓN DE LA PALETA VEGETAL EXISTENTE: Con el apoyo de los recorridos de observación, se identificó la paleta vegetal existente en las API.
- ESTADO FITOSANITARIO: Se determinó el estado fitosanitario general de las especies vegetales que actúan de manera directa en las API.
- IDENTIFICACIÓN DE FAUNA NOCIVA Y BENÉFICA: Se establecieron las especies animales que inciden positiva o negativamente sobre las API, así como las principales fuentes que ocasionan su presencia.

5.3.5 Análisis polisensorial

Se realizó una quinta etapa de análisis con el objetivo de aproximarse y percibir las *Áreas con Potencial de Intervención* (API) a través de cuatro sentidos: olfato, vista, tacto y oído.

Esta etapa de análisis fue fundamental para entender y relacionar al paisaje urbano con los estímulos sensoriales que éste provoca sobre el usuario, los cuales pueden manifestarse de forma individual o en colectivo generando sensaciones positivas o de desagrado en los usuarios.

Para el análisis polisensorial se estudiaron los factores que influyen en los cuatro sentidos estudiados, catalogándolos de la siguiente manera:

- OLFATO: Se estudiaron cuáles eran los olores agradables o desagradables que influían en cada una de las API, así como las principales fuentes de emisión.
- VISTA: Se determinó qué clase de contaminación visual afectaba cada una de las API, así como las principales fuentes de procedencia.
- TACTO: Se establecieron cuáles eran las sensaciones percibidas a través del tacto en las API, las cuales se catalogaron en dos rubros principales: las que podían ser percibidas a través de las manos y pies y las que se percibían a través de la piel, causando sensaciones térmicas diversas.
- OÍDO: Se estudiaron cuáles eran los principales estímulos ambientales que ocasionaban efectos positivos o negativos en la audición de los usuarios, así como las principales fuentes de procedencia y la intensidad con la que son percibidos.

ANÁLISIS DE SITIO		API 1	API 2	API 3	API 4
ANÁLISIS FUNCIONAL	CONTEXTO INMEDIATO	Urbano/calles, avenidas, construcciones, etc.		Arquitectónico/ patios, espacio para guardar el auto, para tener al perro o tender la ropa, etc.	Arquitectónico/ áreas verdes comunes.
	USOS ACTUALES	Tránsito peatonal.		Acceso hacia la casa habitación.	Acceso hacia los edificios.
	EQUIPAMIENTO URBANO	Tuberías de drenaje, agua, telefonía, gasoductos PEMEX, etc.		Tuberías de drenaje, agua, bajadas pluviales.	
	ACCESIBILIDAD	Acceso a vialidad secundaria/puede colindar con rampa peatonal.	Acceso a vialidad primaria/puede colindar con rampa peatonal.	Acceso a la casa habitación.	Acceso a los departamentos.
ANÁLISIS FORMAL	DIMENSIONAMIENTO	En banquetas de mínimo 2.60 m de ancho.	En banquetas de mínimo 3.40 m de ancho.	Áreas mínimo 9.00 m ² .	Áreas mínimo 25.00 m ² .
	DELIMITACIÓN ESPACIAL	Colinda con vialidades y construcciones.		Colinda con construcciones.	Colinda con el estacionamiento y construcciones.
	FORMA	Lineal, rectangular.		Ortogonal.	
	MATERIALES Y ACABADOS	Firme de concreto: cemento, grava, arena, agua, malla electrosoldada.		Firme de concreto: cemento, grava, arena, agua, malla electrosoldada; puede ser área verde.	
	MOBILIARIO URBANO	Parada de autobús, buzón, publicidad, caseta telefónica, parquímetro, poste de luz, poste PEMEX, señalamientos, jardineras/maceteras, etc.		N/A.	Jardineras/maceteras.
ANÁLISIS SOCIO-CULTURAL	IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS ACTUALES	Público general.		Propietarios de casa habitación.	Propietarios de departamentos en unidad habitacional.
	IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS POTENCIALES	Público general.		Propietarios de casa habitación.	Propietarios de departamentos en unidad habitacional.
	TIPO DE ACTIVIDADES QUE SE REALIZAN	Tránsito.		Acceder.	
	HORARIO	L-V/ 06:00-22:00, S-D/ 06:30-23:00.	L-V/ 06:00-23:00, S-D/06:30-24:00.	L-V/ 08:30-22:00, S-D/ 09:30-23:00.	L-V/ 07:00-22:00, S-D/ 08:00-23:00.
	DESCRIPCIÓN SOCIO-ECONÓMICA	La población de Azcapotzalco en general, presenta un nivel socioeconómico D+ (Clase media baja).			
ANÁLISIS AMBIENTAL	IDENTIFICACIÓN DE LA PALETA VEGETAL EXISTENTE	ÁRBOLES: Eucalipto, fresno, álamo, jacaranda, casuarina, sauce llorón, colorín, trueno, cedro, pírúl, pino radiata, hule, yuca, ficus, liquidámbar, olmo chino y palma canaria. ARBUSTOS: Piracanto, arrayán. ORNAMENTALES: Agapando, platanillo, mala madre, acanto, lirio persa, hemerocallis, iresine, fornio y trueno de venus.		Frutales, especies trepadoras, cubresuelos.	Frutales, eucalipto, fresno y ficus.
	ESTADO FITOSANITARIO	Variable, en general las áreas verdes de la demarcación se encuentran en estado de deterioro, presentan especímenes enfermos y/o con competencia por la luz solar.			
	IDENTIFICACIÓN DE FAUNA NOCIVA Y BENÉFICA	Variable, la fauna que prevalece es nociva: ratas, ratones, cucarachas, palomas, moscas, mosquitos, perros y gatos callejeros.			
	FUENTE DE EMISIÓN	Variable, en general la fauna proviene de: coladeras, basura/botes de basura, terrenos baldíos, tejados, charcos de agua/ agua estancada, excremento, desperdicios.			
ANÁLISIS POLISENSORIAL	OLFATO	Olor desagradable.		Olor neutro.	
	FUENTE DE PROCEDENCIA	Basura, excrementos, malos olores que emanan las coladeras, etc.		Depende de la limpieza que mantengan los propietarios. Presencia de mascotas.	
	VISTA	Letreros, exceso de publicidad, basura, etc.		Objetos que pueda tener cada propietario.	No hay presencia de mascotas. Presencia de tenderos, letreros, publicidad y otros.
	FUENTE DE PROCEDENCIA	Locales de los que proviene la publicidad, la cual, debido a la falta de una regulación, ocasiona contaminación visual.		La contaminación visual que pueda generar cada propietario.	Departamentos.
	TACTO	Sensación térmica variable.		Sensación térmica variable.	
	FUENTE DE PROCEDENCIA	Dependerá de la altura de las edificaciones, densidad de la copa de los árboles, orientación, vientos dominantes, etc.		Dependerá de la altura de la construcción, orientación.	Dependerá de la altura de las edificaciones, densidad de la copa de los árboles, orientación, vientos dominantes, etc.
	OÍDO	Contaminación auditiva.		Contaminación auditiva.	
	FUENTE DE PROCEDENCIA	Automóviles, camiones de carga, motocicletas, transporte público, camiones de servicios (gas, agua potable, basura), ambulantes publicitando (periódico, publicidad, ventas nocturnas), ambulantes ofreciendo comida (tamales, elotes, tortillas, camotes, helados y otros), ambulantes ofreciendo servicios (fierro viejo, usados y otros), etc.		Camiones de servicios (gas, agua potable, basura), ambulantes ofreciendo comida (tamales, elotes, tortillas, camotes, helados y otros), ambulantes ofreciendo servicios (fierro viejo, usados y otros), etc.	

Tabla 5.1 Análisis de sitio. Áreas con Potencial de Intervención (API). Fuente: Casandra Badillo, 2015.

5.4 PROCESO DE DISEÑO

Una vez que se determinaron y analizaron las *Áreas con Potencial de Intervención (API)*, se realizó un análisis de vocaciones y un análisis de los criterios de diseño con la finalidad de entender con mayor profundidad cada una de las API y poder así, proponer *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* que fueran acordes con cada espacio.

5.4.1 Análisis de vocaciones

Comprende las cinco vocaciones principales que fueron determinadas a partir del estudio, con las que se diseñarían posterior los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*: estar, transitar, recrear, educar y disponer del agua pluvial. (*Tabla 5.2*)

ANÁLISIS DE VOCACIONES	API 1	API 2	API 3	API 4
ESTAR				
Estar				✓
Descansar				✓
Contemplar	✓	✓	✓	✓
TRANSITAR				
Circular				✓
Direccionar el paso peatonal en las calles	✓	✓		
Apoyar el acceso al transporte público	✓	✓		
Dirigir el acceso hasta la vivienda			✓	✓
RECREAR				
Promover el uso recreativo			✓	✓
Promover la convivencia social			✓	✓
Permitir el esparcimiento de los usuarios				✓
EDUCAR				
Informar sobre los jardines de lluvia	✓	✓		✓
Desarrollar actividades al aire libre				✓
DISPONER DEL AGUA PLUVIAL				
Infiltrar el agua pluvial	✓	✓	✓	✓
Almacenar el agua pluvial			✓	
VOCACIÓN	DIRIGIR LA CIRCULACIÓN PEATONAL / EDUCAR		RECREAR / ALMACENAR	RECREAR / ACCEDER

Tabla 5.2 Análisis de vocaciones. Áreas con Potencial de Intervención (API). Fuente: Casandra Badillo, 2015.

5.4.2 Criterios de diseño

Se realizó un análisis de los criterios de diseño que tenían una influencia directa sobre cada una de las API: criterios formales, resistencia a los factores, selección de la paleta vegetal y mantenimiento, lo anterior con la finalidad de tener parámetros que permitieran desarrollar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* acordes con su contexto y con las funciones que debían de cumplir. (**Tabla 5.3**)

CRITERIOS DE DISEÑO		API 1	API 2	API 3	API 4
CRITERIOS FORMALES	COMPOSICIÓN	Lineal/Simétrica/Tresbolillo/Triangular/Ondas	Lineal/Simétrica/Tresbolillo/Triangular/Ondas	Libre	Radial/Espejo/Asimétrica
	COMPLEJIDAD DEL DISEÑO	Sencilla	Sencilla	Sencilla	Media
	VISUAL A DESTACAR / PUNTOS FOCALES	Lineal	Lineal	Frontal	Angular/Múltiple
	VOLUMEN PLUVIAL A INFILTRAR	++	+++	+	+++
RESISTENCIA A LOS FACTORES	CONTAMINACIÓN POR DESECHOS SÓLIDOS	+++	+++	+	++
	CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	+++	+++	+	++
	TRÁNSITO VEHICULAR	+++	+++	+	++
	TRÁNSITO PEATONAL	++	++	+	+++
SELECCIÓN DE LA PALETA VEGETAL	NÚMERO DE HIDROZONAS	Máximo 2	Máximo 3	Máximo 2	Máximo 4
	NÚMERO DE ESPECIES	Máximo 3	Máximo 4	Máximo 4	Máximo 6
	CRECIMIENTO DE LA VEGETACIÓN	Limitado, para permitir la circulación peatonal	Limitado, para permitir la circulación peatonal	Limitado, por las dimensiones de las áreas	Libre, puede permitir un crecimiento menos restringido
	EXPOSICIÓN SOLAR	Sol/Sombra	Sol/Sombra	Sol/Sombra	Sol/Sombra
MANTENIMIENTO	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	+	++	+	++
	REQUERIMIENTO DE PODA	+	+	+++	++
	REQUERIMIENTO DE RIEGO	+	+	+++	++

Tabla 5.3 Criterios de diseño. Áreas con Potencial de Intervención (API). Fuente: Casandra Badillo, 2015.

DONDE:

(+) Bajo (++) Medio (+++) Alto

5.5 MODELOS CONCEPTUALES DE JARDÍN DE LLUVIA

Una vez que se estudió la problemática ambiental actual de Azcapotzalco, las *Áreas con Potencial de Intervención* (API) identificadas, un análisis de sitio efectuado, un análisis de vocaciones y los criterios de diseño de cada API realizados, se procedieron a diseñar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*. Para que los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* respondieran a necesidades puntuales y reales, se estudió el *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco* (2008), en el cual quedan establecidos los principales modos de habitar en Azcapotzalco, mismos que serían determinantes para proponer modelos acertados conforme a las necesidades de la población de la demarcación.

De lo anterior se pudieron concluir los siguientes aspectos que serían fundamentales para el desarrollo de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*:

- El número de habitantes promedio por vivienda es de 4, albergando el prototipo constructivo de 3 o 4 cuartos.
- En el número de niveles de construcción sobresalen edificaciones de 2 a 3 niveles.
- Las unidades habitacionales cuentan con 5 niveles en promedio considerando la planta baja.
- De acuerdo al *Programa General de Desarrollo del Distrito Federal* (2013) se encuentran un total de 274 unidades habitacionales que representan el 5.5% del total de la entidad federativa, albergando en ellas al 9.9% de la población total de la entidad.
- Para la construcción, destacan los materiales como losa de concreto, tabique, ladrillo y terrado con viguería en el 87.44% del total de viviendas habitadas, existe también un 10.56% de techos en la demarcación con materiales como lámina de asbesto y metálica. El resto de las viviendas cuentan con materiales precarios y aquellas que no especificaron el tipo de material.

Además de la estadística mostrada con anterioridad, se consideró la principal problemática ambiental y urbana existente en Azcapotzalco que pudiera relacionarse con el objeto de estudio:

- Existencia de abundantes espacios subutilizados en calles y avenidas, así como de numerosos remanentes urbanos.
- Falta de áreas verdes y espacios de recreación e integración social.
- Constantes y severas inundaciones en temporada de lluvias.
- Falta de espacio en banquetas y camellones para árboles de gran tamaño, necesidad de vegetar con especies arbustivas o cubresuelos.

Con el objetivo de satisfacer en lo posible las necesidades emergentes anteriores, se propusieron cuatro *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, dos de los cuales estarían orientados en abarcar la escala urbana y dos enfocados en la escala arquitectónica de Azcapotzalco.

Con la finalidad de que los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* estuvieran fundamentados, debieron cumplir con los siguientes criterios:

- Están orientados al aprovechamiento del agua pluvial como fuente exclusiva de subsistencia, por lo que la selección de la paleta vegetal está enfocada en especies que toleran tanto el periodo lluvioso como la temporada de estiaje.
- La paleta vegetal utilizada está enfocada en el uso exclusivo de especies nativas, con la finalidad de aprovechar las variedades autóctonas y evitar el uso de especies introducidas.
- Al ser insertos en una realidad urbana ya construida, toman en cuenta las características urbanas actuales y constructivas de Azcapotzalco.
- Tienen capacidad de adaptación a las restricciones espaciales, de diseño y construcción, considerando las condiciones de cada sitio.
- Significan una intervención mínima en los espacios, considerando la infraestructura preexistente.
- Tienen una viabilidad técnica factible pues son modelos construibles, costeables y realizados con materiales que facilitan su implementación.
- Aprovechan los espacios subutilizados en la vía pública y la propiedad privada.
- Son de bajo mantenimiento, utilizan herramientas sencillas y accesibles.
- Aportan una contribución a la sociedad y al ambiente como estrategias para mejorar la accesibilidad a la naturaleza urbana.

También se establecieron cuatro ejes rectores que debían seguir los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*:

- **DISEÑO MODULAR:** En su diseño debían incluir medidas modulares en torno a las medidas estandarizadas de pavimento para facilitar la intervención en contextos construidos.
- **SIMETRÍA Y GEOMETRÍA:** Los modelos debían ser simétricos y basados en una geometría ortogonal, con la finalidad de simplificar su instalación y adaptarse con mayor facilidad a espacios previamente construidos.
- **USO DE MATERIALES DE ALTA RESISTENCIA, PREFABRICADOS Y ECOLÓGICOS:** Los materiales utilizados debían ser resistentes al tránsito pesado y a la intemperie, se debieron buscar materiales duraderos y en medida de lo posible, prefabricados para facilitar su instalación, además de ser ecológicos para tener un menor impacto en el medio ambiente.
- **USO DE VEGETACIÓN PUNTUAL:** Se debió restringir el número de especies en cada modelo. Las especies serían utilizadas para marcar diferencias de hidrozonas, crear composiciones de diseño y definir intenciones paisajísticas.

Así, se presentan los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* los cuales están propuestos para intervenir en el espacio público y privado de la demarcación, abarcando dos escalas de acción y considerando intervenciones mínimas en el medio construido.

Los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* fueron denominados según la escala en la que pudieran ser aplicados, considerando a los modelos A, como aquellos enfocados en la escala urbana y los modelos B, dirigidos a la escala privada:

MODELO A1- Banquetas de dimensiones pequeñas

MODELO A2- Banquetas de grandes dimensiones

MODELO B1- Áreas en casa habitación

MODELO B2- Áreas comunes de unidades habitacionales

Cada uno de los modelos está considerado para ser utilizado en un escenario específico en el que se contempla un área del proyecto, área efectiva de captación, área efectiva vegetada, ubicación y tipo de proyecto conforme a las necesidades de cada uno. Se presentan el objetivo de cada modelo, las medidas modulares, características, vegetación sugerida, número de hidrozonas, número de especies, el uso para el que está recomendado, los beneficios urbanísticos y sociales que ofrecería, las ventajas constructivas y económicas que representa y las conclusiones de cada uno.



5.5.1 MODELO A1

Banquetas de dimensiones pequeñas

ÁREA DEL PROYECTO: 3.20 m²

ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN: 1.90 m²

ÁREA EFECTIVA VEGETADA: 1.40 m²

UBICACIÓN: Banquetas con un ancho mínimo de 2.50 m

TIPO DE PROYECTO: Vía pública

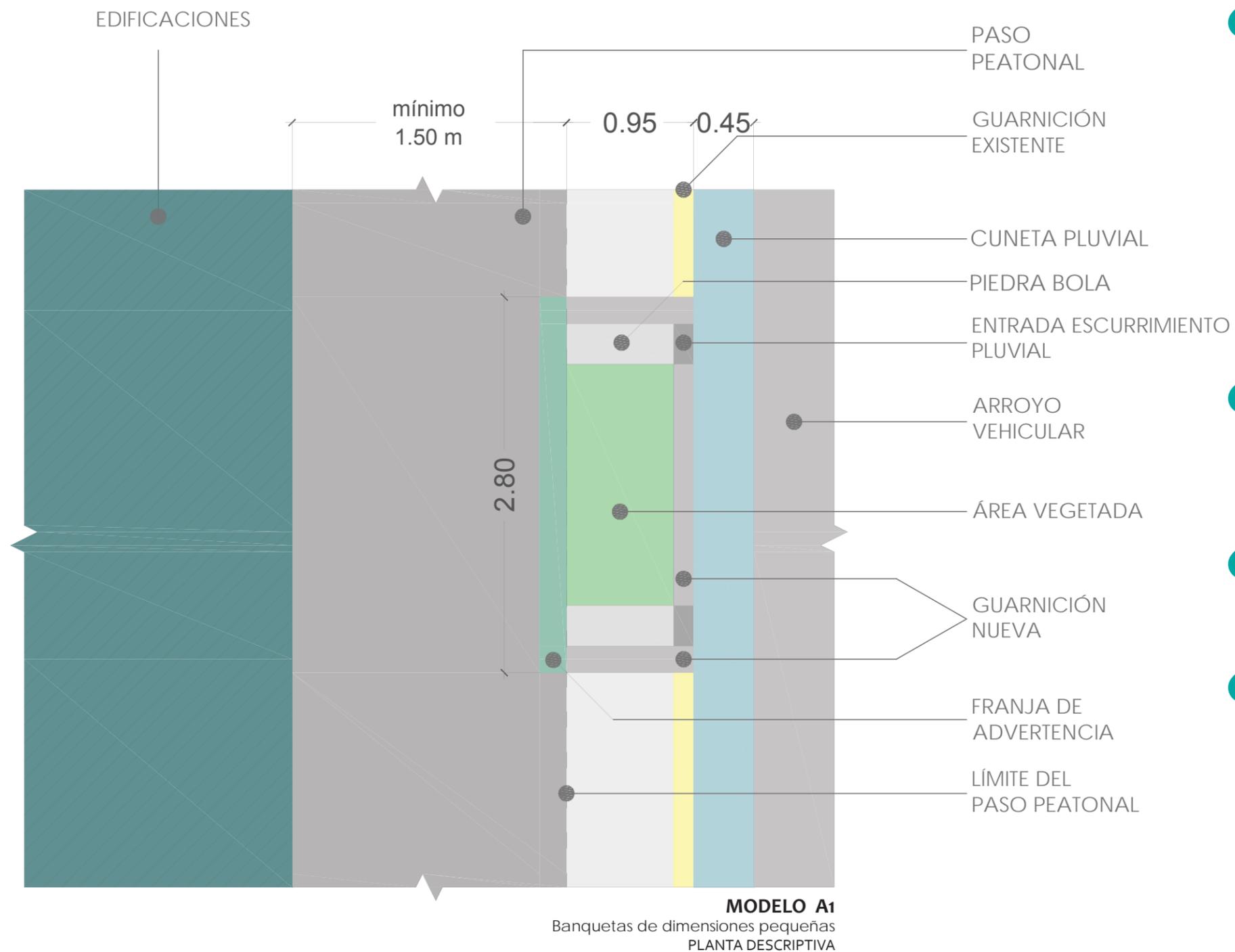
OBJETIVO: Canalizar la escorrentía pluvial de las calles hacia el jardín de lluvia, logrando retener la mayor parte de la misma, evitando que el agua de lluvia se encauce hacia el sistema de drenaje convencional, saturándolo y ocasionando inundaciones.

Aprovechar el agua pluvial para infiltrarla al subsuelo y como fuente principal de subsistencia del jardín de lluvia.

Informar a la población sobre el uso y los beneficios de los jardines de lluvia a través de señalética educativa.

MEDIDAS MODULARES

2.80 x 1.15 m



CARACTERÍSTICAS

- Para banquetas de más de 2.50 m de ancho:
 - Franja libre de circulación peatonal de 1.50 m
 - Franja de equipamiento de 0.95 m
- Sistema aislado de biorretención
- Capta el escurrimiento pluvial de áreas aproximadas de 10.00 m²
- Lámina de retención superficial con capacidad de 230 litros

VEGETACIÓN SUGERIDA

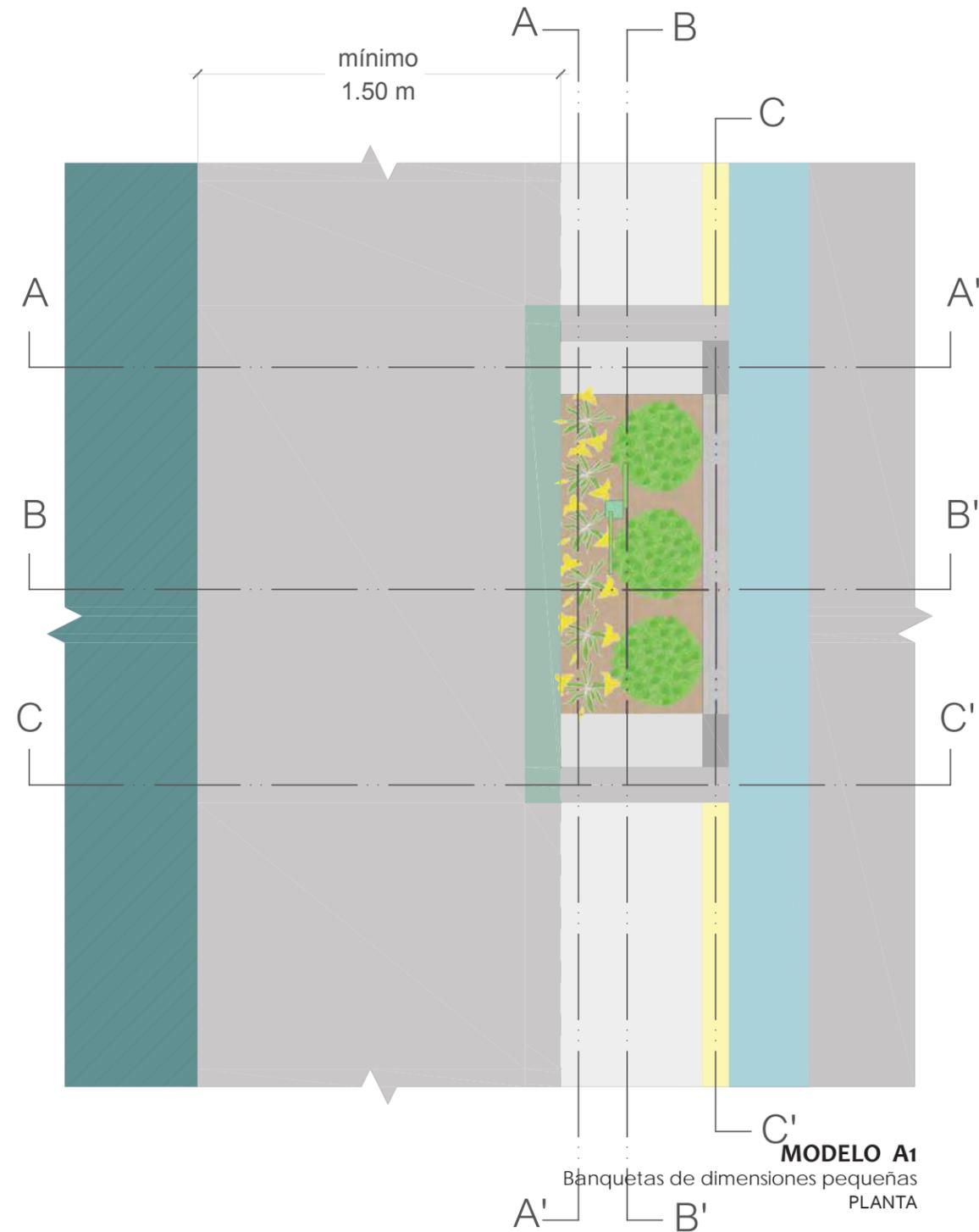
Herbáceas y plantas cubresuelos de hasta 0.60 m de altura, a partir del nivel de banqueta.

NÚMERO DE HIDROZONAS

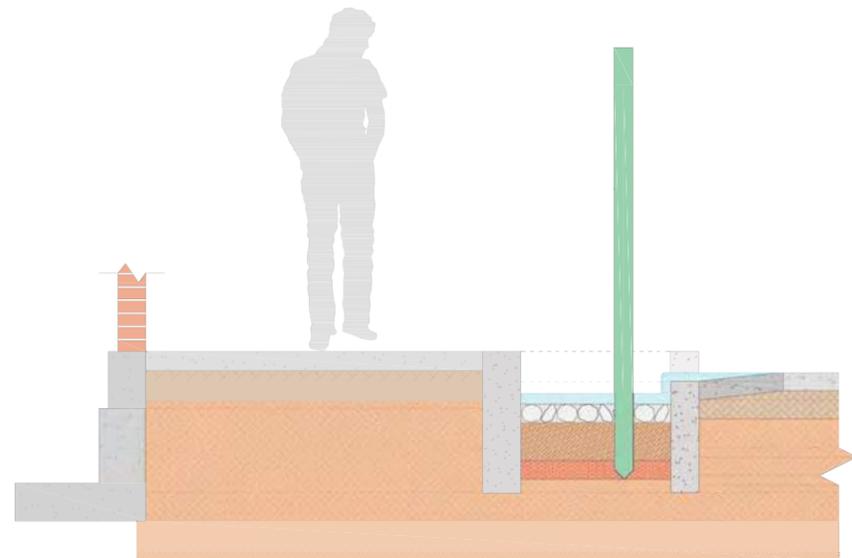
Máximo 2

NÚMERO DE ESPECIES

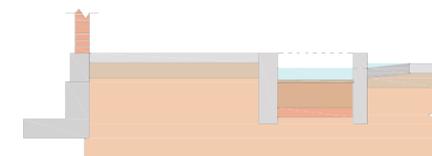
Máximo 3



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE



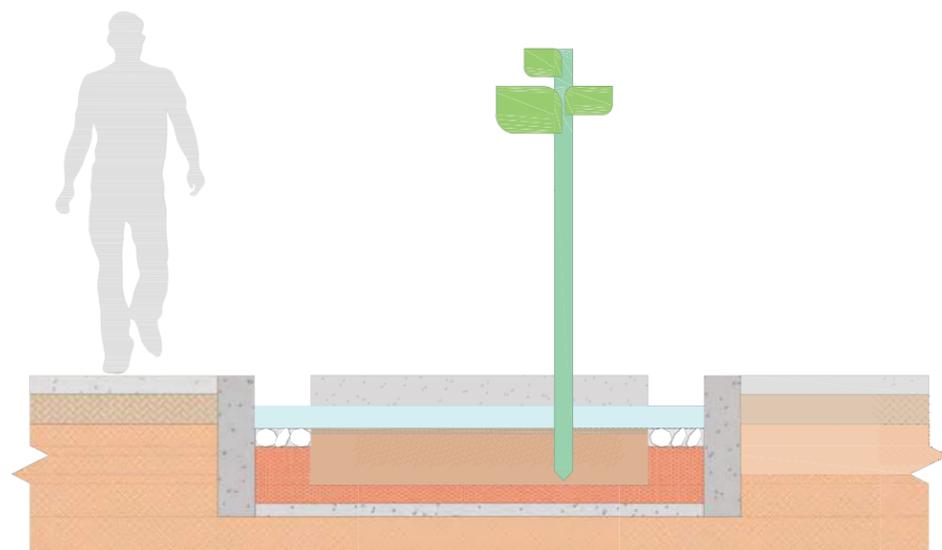
MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE TRANSVERSAL A-A'



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE TRANSVERSAL B-B'



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE TRANSVERSAL C-C'



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE LONGITUDINAL B-B'



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE LONGITUDINAL A-A'



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE LONGITUDINAL C-C'



RECOMENDADO PARA:

- Banquetas de dimensiones pequeñas en las que se quiera instalar un jardín de lluvia.
- Debido a sus dimensiones, es ideal para instalarse en banquetas del sistema vial secundario (*calles locales*⁸¹ y *calles peatonales*⁸²).
- Es óptimo para instalarse junto a las paradas de autobús.
- Zonas con tendencia a inundaciones debido a la saturación del drenaje.
- Espacios en los que se quieran enfatizar las circulaciones de pedestres o marcar cruces peatonales.
- Ofrece una solución paisajística para evitar que el comercio informal y personas en situación de calle se establezcan sobre la vía pública.
- Es una estrategia paisajística para adicionar áreas verdes en pequeños espacios subutilizados y para el aprovechamiento del agua pluvial urbana.

⁸¹ De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), se considera *calle local* a todas aquellas que dan acceso directo a las propiedades y están ligadas a las calles colectoras.

⁸² De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), las *calles peatonales* tienen como función permitir el desplazamiento libre y autónomo de las personas, dando acceso directo a las propiedades colindantes, a espacios abiertos, a sitios de gran concentración de personas y otros.



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
FACHADA FRONTAL - CALLE LOCAL



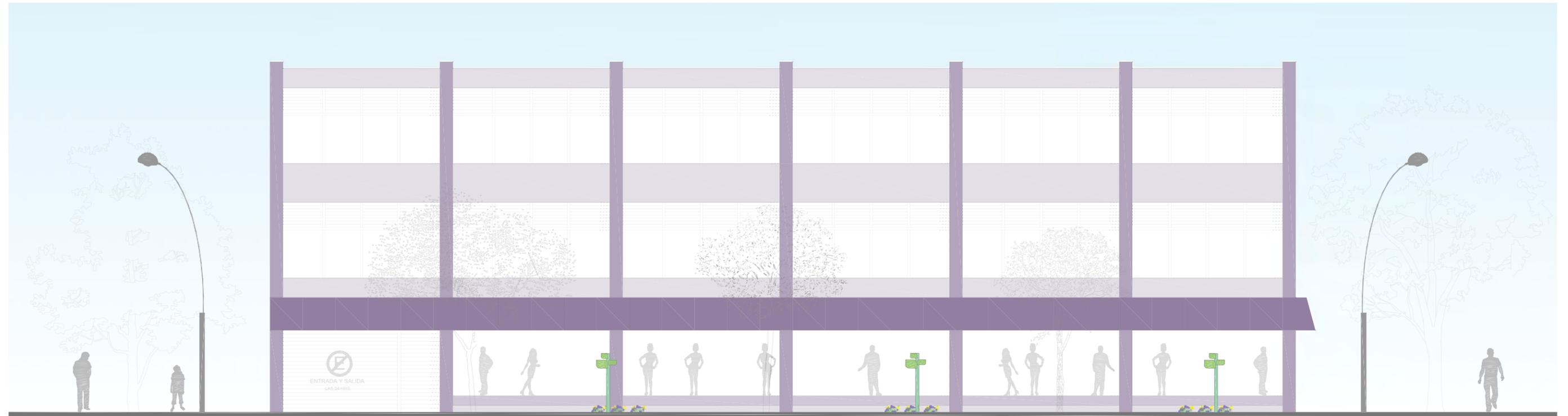
MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
FACHADA LATERAL - CALLE LOCAL

BENEFICIOS URBANÍSTICOS Y SOCIALES

- Ofrece espacios que promueven una circulación peatonal ordenada.
- Mejora la imagen urbana de banquetas y fachadas.
- Proporciona un área de integración entre la propiedad pública y la propiedad privada.
- Puede ser instalado en esquinas para enfatizar la franja de paso peatonal o junto a las paradas de autobús.
- Contribuye a la educación ambiental al proponer señalética informativa sobre el uso y funciones de los jardines de lluvia.

VENTAJAS CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS

- Es un modelo que requiere un mantenimiento mínimo y rutinario.
- Representa una inversión costeable a corto plazo que ofrece grandes contribuciones ambientales y sociales.
- Es construido con materiales de alta resistencia. Vida útil estimada de 10 a 20 años.
- Vegetación de bajo riego y mantenimiento.



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
FACHADA LONGITUDINAL - CALLE PEATONAL



MODELO A1
Banquetas de dimensiones pequeñas
PLANTA - CALLE PEATONAL

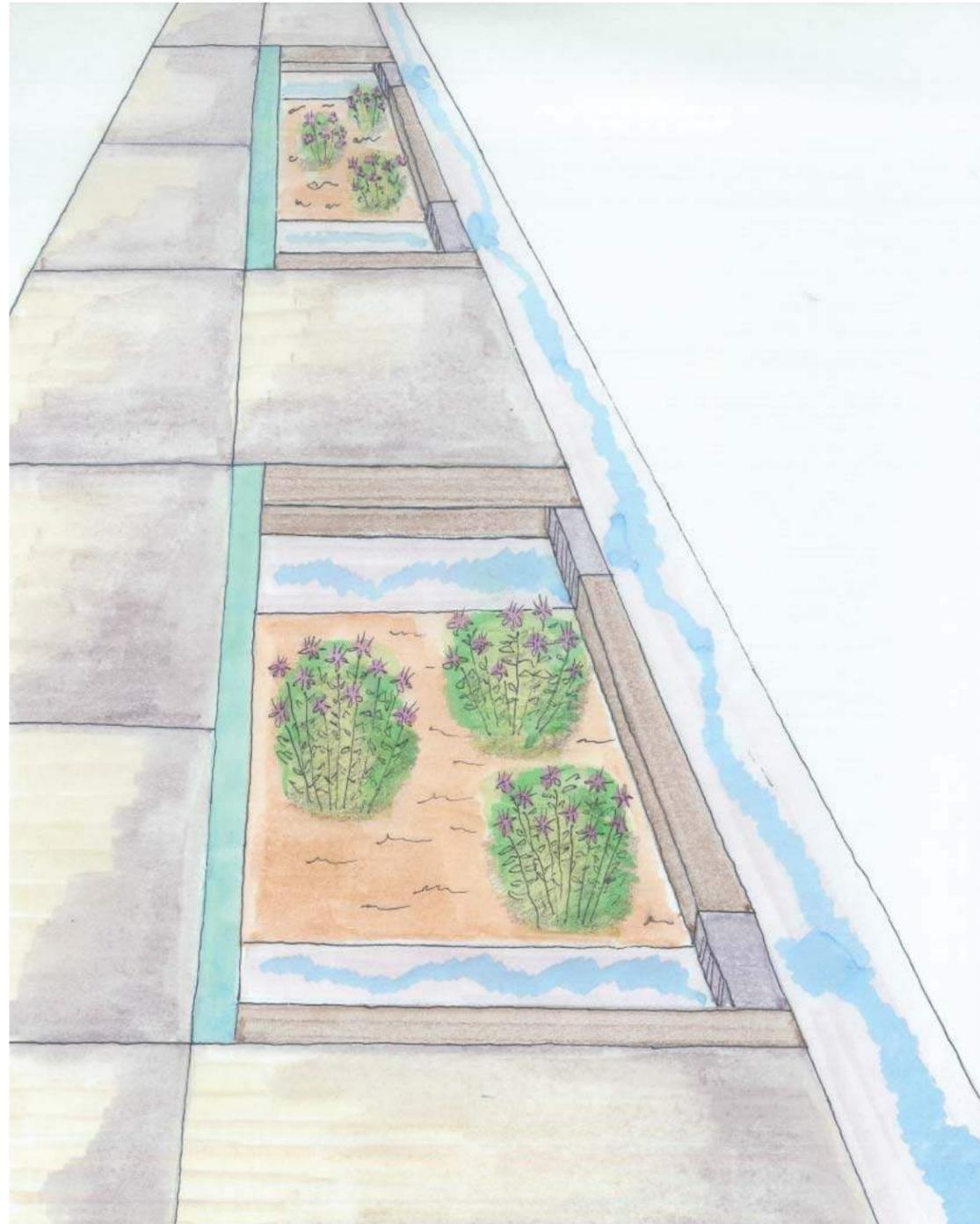


MODELO A1

Banquetas de dimensiones pequeñas
CORTE TRANSVERSAL - CALLE PEATONAL

CONCLUSIONES

El Modelo A1 es ideal para instalarse en banquetas pequeñas con un ancho mínimo de 2.50 m; debido a sus dimensiones, el uso sugerido es en calles locales y peatonales, donde además de brindar importantes beneficios ambientales, pueda ser utilizado como estrategia para el mejoramiento del paisaje urbano, para promover la circulación peatonal ordenada y para contribuir a la difusión de los jardines de lluvia a través de señalética educativa. Al tratarse de un modelo aislado de biorretención, es ideal para instalarse en zonas puntuales.





Plano 5.1 Plano de aplicación. Modelo A1. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2015.



5.5.2 MODELO A2

Banquetas de grandes dimensiones

ÁREA DEL PROYECTO: 21.50 m²

ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN: 10.00 m²

ÁREA EFECTIVA VEGETADA: 7.20 m²

UBICACIÓN: Banquetas con un ancho mínimo de 3.30 m

TIPO DE PROYECTO: Vía pública

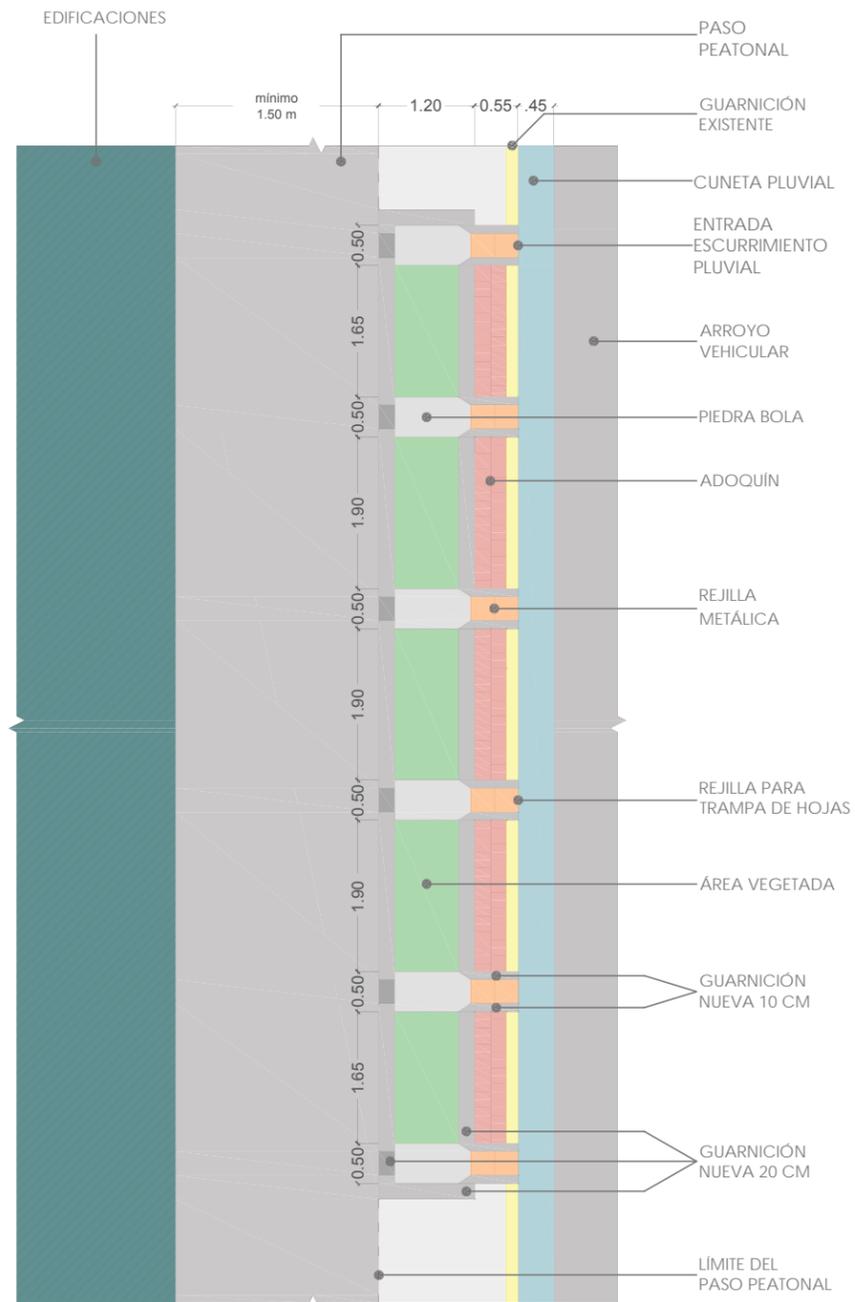
OBJETIVO: Canalizar la escorrentía pluvial de las avenidas hacia el jardín de lluvia, logrando retener la mayor parte de la misma, evitando que el agua de lluvia se encauce hacia el sistema de drenaje convencional, saturándolo y ocasionando inundaciones.

Aprovechar el agua pluvial para infiltrarla al subsuelo y como fuente principal de subsistencia del jardín de lluvia.

Informar a la población sobre el uso y los beneficios de los jardines de lluvia a través de señalética educativa.

MEDIDAS MODULARES

12.40 x 1.75 m



MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
PLANTA DESCRIPTIVA

CARACTERÍSTICAS

- Para banquetas de más de 3.30 m de ancho:
 Franja libre de circulación peatonal de 1.50 m
 Franja de equipamiento de 1.75 m
- Sistema integrado de biorretención
- Capta el escurrimiento pluvial de áreas aproximadas de 50.00 m²
- Lámina de retención superficial con capacidad de 1,150 litros

VEGETACIÓN SUGERIDA

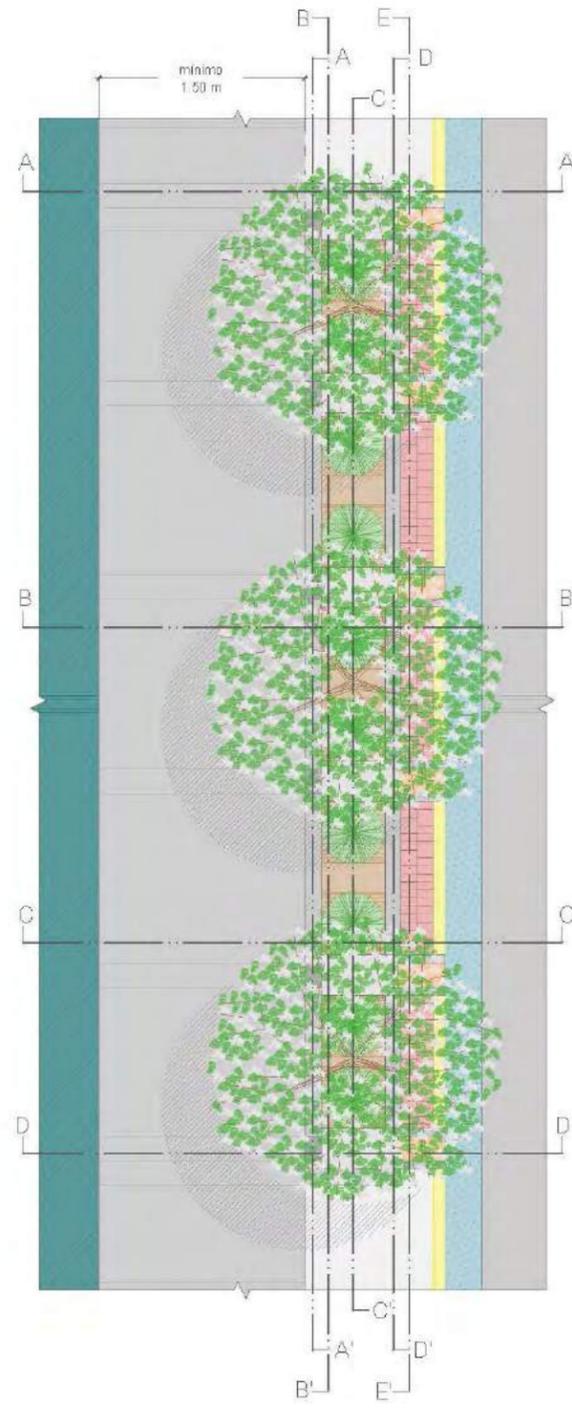
- Árboles pequeños de hasta 6.00 m de altura.
- Arbustos de hasta 4.00 m de altura.
- Herbáceas y plantas cubresuelos de hasta 0.60 m de altura, a partir del nivel de banqueta.

NÚMERO DE HIDROZONAS

Máximo 3

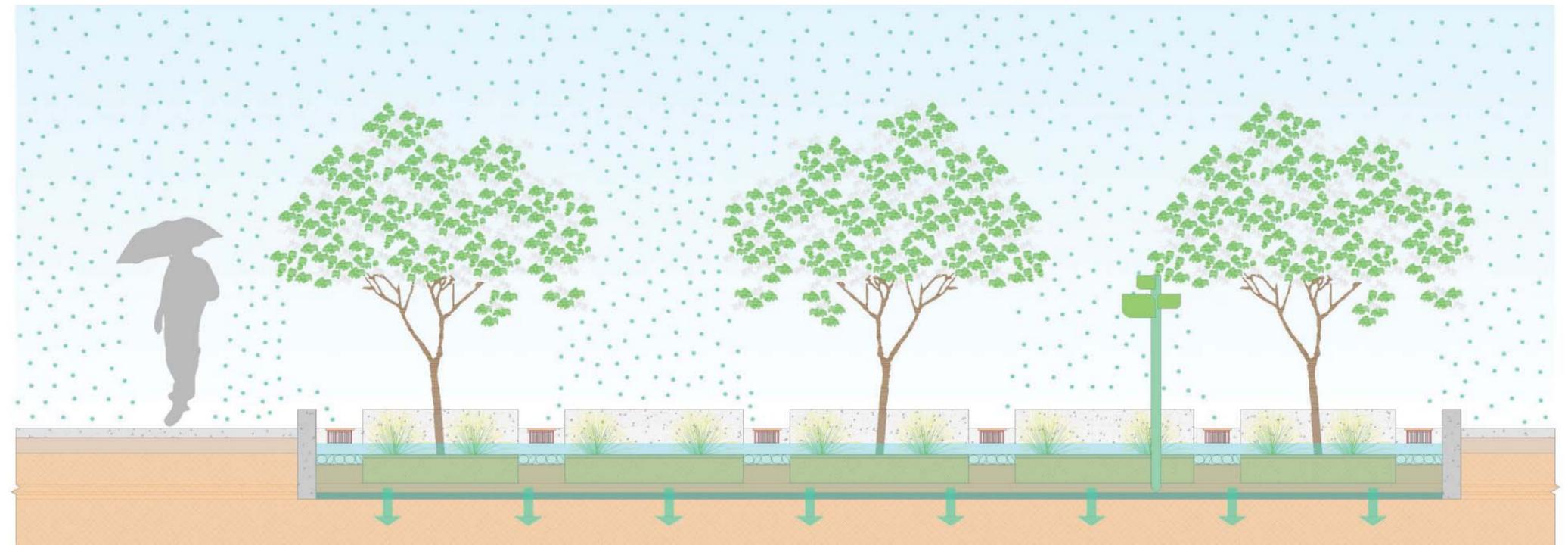
NÚMERO DE ESPECIES

Máximo 4



MODELO A2

Banquetas de grandes dimensiones
PLANTA

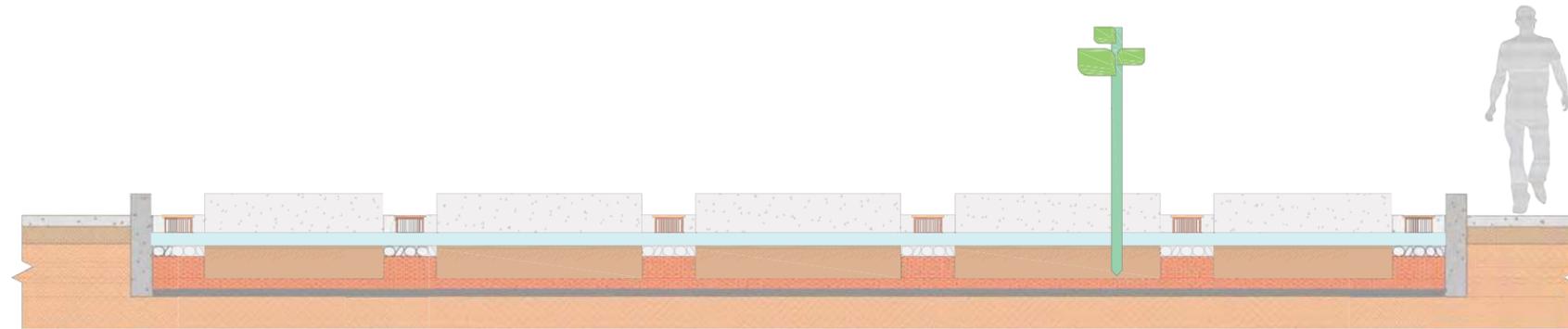


MODELO A2

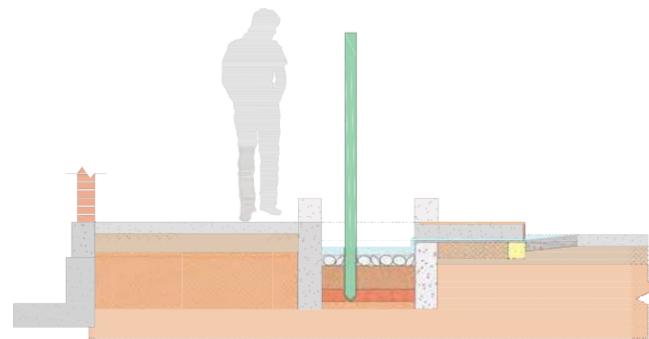
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE

RECOMENDADO PARA:

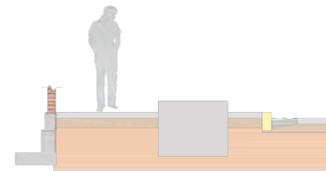
- Banquetas de grandes dimensiones en las que se quiera instalar un jardín de lluvia.
- Debido a sus dimensiones, es ideal para instalarse sobre banquetas del sistema vial primario (*arterias principales*⁸³) y *calles colectoras*⁸⁴ del sistema vial secundario.
- Es óptimo para instalarse en el perímetro de plazas públicas.
- Zonas con tendencia a inundaciones: arterias viales en las que el sistema de drenaje tradicional se satura debido del volumen que recibe.
- Espacios en los que se quieran enfatizar las circulaciones de pedestres o delimitar cruces peatonales; utilizando esta estrategia se puede evitar el cruce de los usuarios en áreas no permitidas o en vialidades peligrosas.
- Ofrece una solución paisajística para evitar que el comercio informal y personas en situación de calle se establezcan sobre la vía pública.
- Es una estrategia paisajística para adicionar áreas verdes en pequeños espacios subutilizados y para el aprovechamiento del agua pluvial urbana.



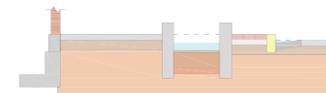
MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE LONGITUDINAL C-C'



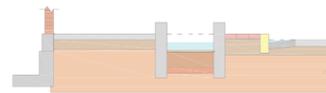
MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE TRANSVERSAL D-D'



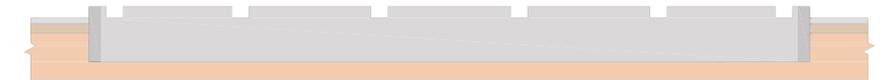
MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE TRANSVERSAL A-A'



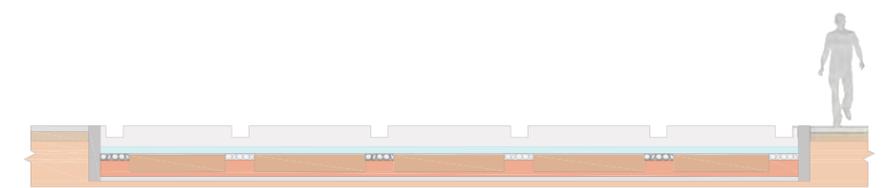
MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE TRANSVERSAL B-B'



MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE TRANSVERSAL C-C'



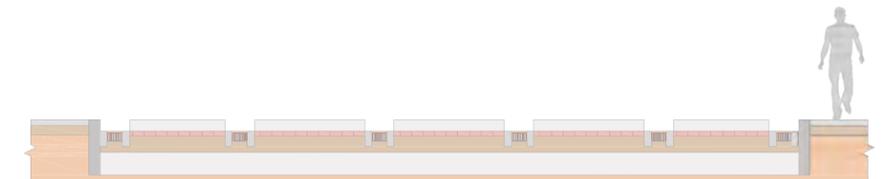
MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE LONGITUDINAL A-A'



MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE LONGITUDINAL B-B'



MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE LONGITUDINAL D-D'



MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE LONGITUDINAL E-E'

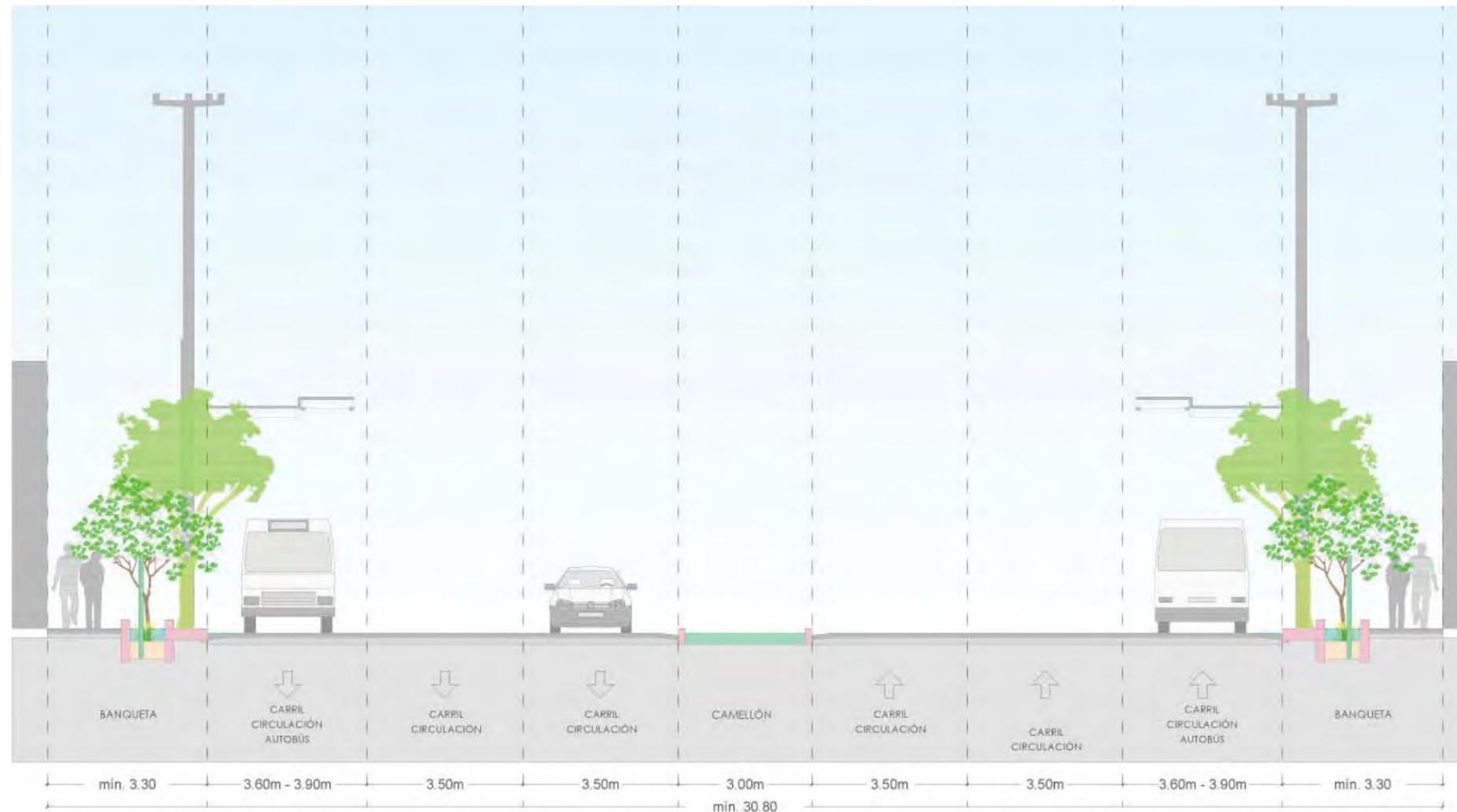


MODELO A2

Banquetas de grandes dimensiones
FACHADA LONGITUDINAL - PLAZA PÚBLICA

BENEFICIOS URBANÍSTICOS Y SOCIALES

- Ofrece espacios que promueven una circulación vial focalizada.
- Aumenta la seguridad peatonal en vialidades altamente transitadas.
- Crea una barrera auditiva entre la vialidad y las construcciones.
- Mejora la imagen urbana de banquetas y fachadas.
- Proporciona un área de integración entre la propiedad pública y la propiedad privada.
- Contribuye a la educación ambiental al proponer señalética informativa sobre el uso y funciones de los jardines de lluvia.



MODELO A2
Banquetas de grandes dimensiones
CORTE TRANSVERSAL - CALLE COLECTORA

VENTAJAS CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS

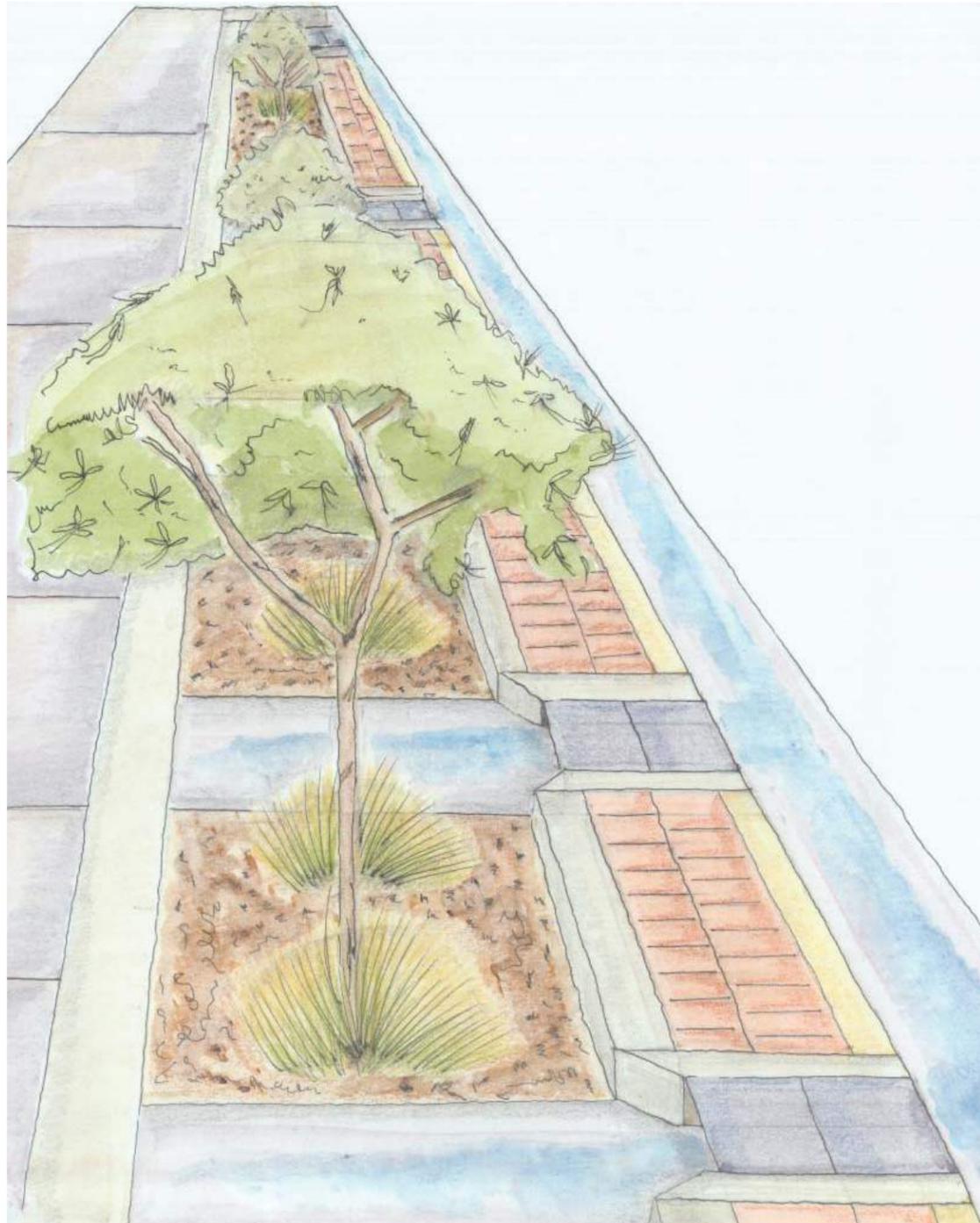
- Es un modelo que requiere un mantenimiento mínimo y rutinario.
- Representa una inversión costeable a corto plazo que ofrece grandes contribuciones ambientales y sociales.
- Es construido con materiales de alta resistencia. Vida útil estimada de 10 a 20 años.
- Vegetación de bajo riego y mantenimiento.

CONCLUSIONES

El Modelo A2 es ideal para instalarse en banquetas grandes con un ancho mínimo de 3.30 m; debido a sus dimensiones, el uso sugerido es sobre arterias principales o calles colectoras, donde además de brindar importantes beneficios ambientales, pueda ser utilizado como estrategia para el mejoramiento del paisaje urbano, para acentuar cruces peatonales y para contribuir a la difusión de los jardines de lluvia a través de señalética educativa. Al tratarse de un modelo integrado de biorretención, es ideal para instalarse en áreas lineales en las que se requiera de un sistema compuesto.

⁸³ De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), las *arterias principales* son vías de acceso controlado parcialmente por semáforos o pasos a desnivel en las intersecciones que forman con otras arterias o calles.

⁸⁴ De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), las *calles colectoras* son aquellas vías que ligan el subsistema vial primario con las calles locales.





Plano 5.2 Plano de aplicación. Modelo A2. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2015.



5.5.3 MODELO B₁

Áreas en casa habitación

ÁREA DEL PROYECTO: 1.20 m²

ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN: Variable. De 9.00 m²-60.00 m² aproximadamente

ÁREA EFECTIVA VEGETADA: 0.96 m²

UBICACIÓN: Áreas libres en casa habitación que permitan la instalación del modelo a 1.50 m de distancia de cualquier edificación

TIPO DE PROYECTO: Propiedad privada

OBJETIVO: Aprovechar la escorrentía pluvial proveniente de los techos de las casas habitación para canalizarla hacia jardines de lluvia privados que proporcionen áreas verdes de valor paisajístico, además de brindar importantes beneficios ambientales.

Aprovechar el agua pluvial para almacenarla y utilizarla en un periodo máximo de 48 horas en usos que no requieran calidad potable, usando el excedente como fuente principal de subsistencia del jardín de lluvia.



MEDIDAS MODULARES

1.00 x 1.20 m

CARACTERÍSTICAS

- Para áreas libres en casa habitación que permitan la instalación del modelo a 1.50 m de distancia de cualquier edificación
- Sistema aislado de biorretención
- Capta el escurrimiento pluvial de áreas de hasta 60.00 m²
- Lámina de retención superficial con capacidad de 130 litros

VEGETACIÓN SUGERIDA

Herbáceas y plantas cubresuelos de hasta 1.00 m de altura, a partir del nivel de piso terminado.

NÚMERO DE HIDROZONAS

Máximo 2

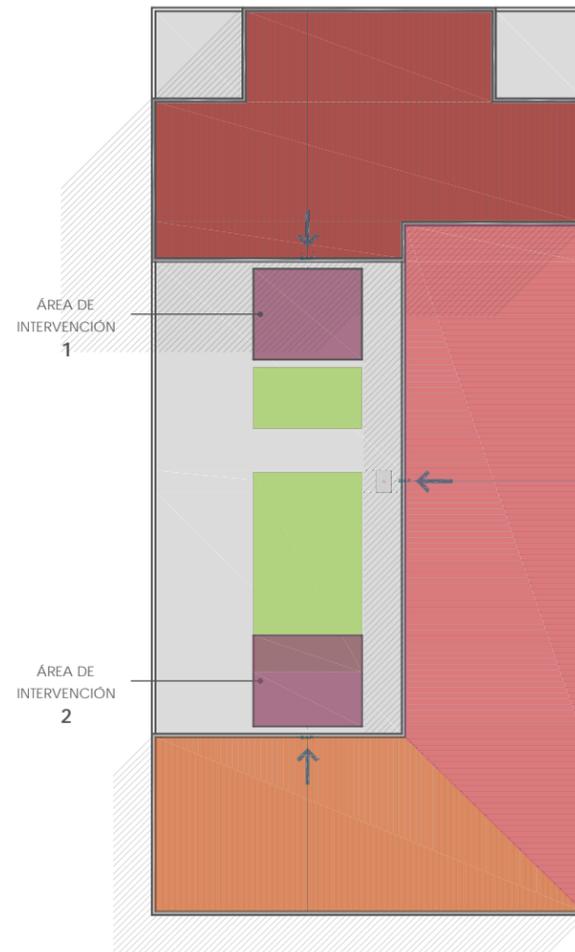
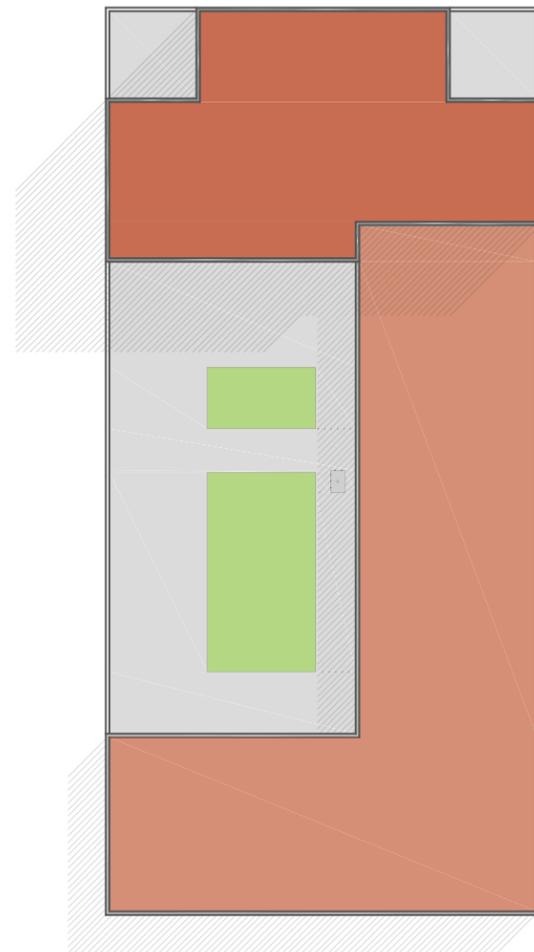
NÚMERO DE ESPECIES

Máximo 4

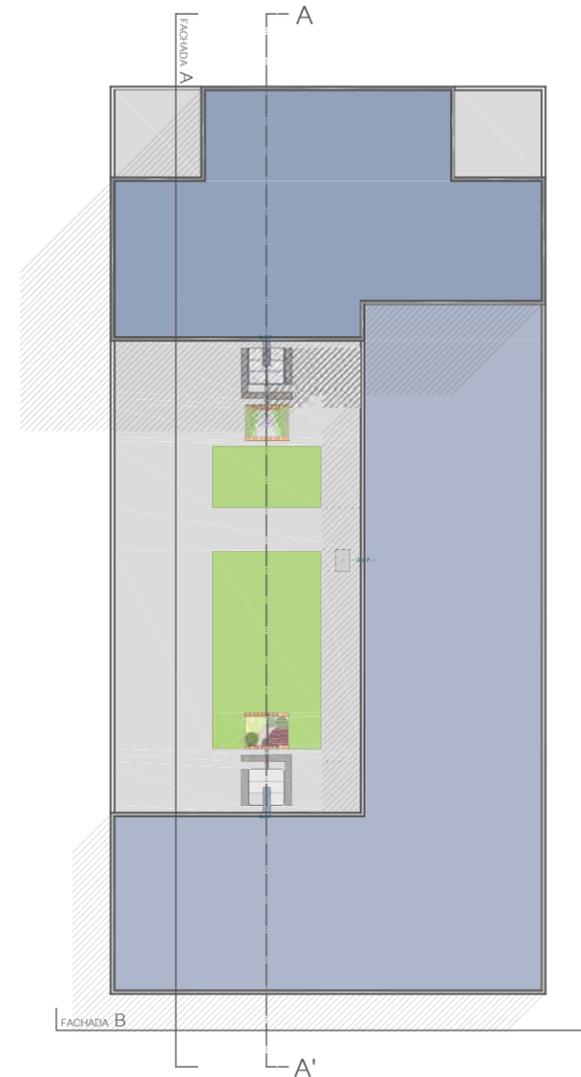
MODELO B1

Áreas en casa habitación

PLANTA DE CONJUNTO- ELECCIÓN DE PLANTA TIPO DE CASA HABITACIÓN



MODELO B1
Áreas en casa habitación
PLANTA DE TECHOS- ELECCIÓN DE ÁREAS DE INTERVENCIÓN



RECOMENDADO PARA:

- Patios de casas habitación en los que se quiera direccionar la escorrentía pluvial proveniente de techos, hacia un sistema de almacenamiento temporal hasta por 48 horas, para disponer del agua pluvial en usos que no requieran calidad de agua potable como: lavado de autos, riego de áreas verdes, limpieza del inmueble, uso del WC y otros usos secundarios; conduciendo el excedente de la misma, hacia el jardín de lluvia instalado.
- Patios de casas habitación en los que se quiera adicionar un área verde.
- Espacios en los que se quiera aportar un área de disfrute que pueda ser aprovechada por los propietarios de la casa.
- Recomendado como sistema particular de almacenamiento e infiltración de aguas pluviales.
- Es una estrategia paisajística para adicionar áreas verdes en pequeños espacios subutilizados y para el aprovechamiento del agua pluvial urbana.

BENEFICIOS URBANÍSTICOS Y SOCIALES

- Proporciona un área de recreación.
- Mejora la imagen arquitectónica y añade plusvalía a la propiedad.
- Mejora la calidad de vida de los usuarios al adicionar una pequeña, aunque significativa área verde.



MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA A



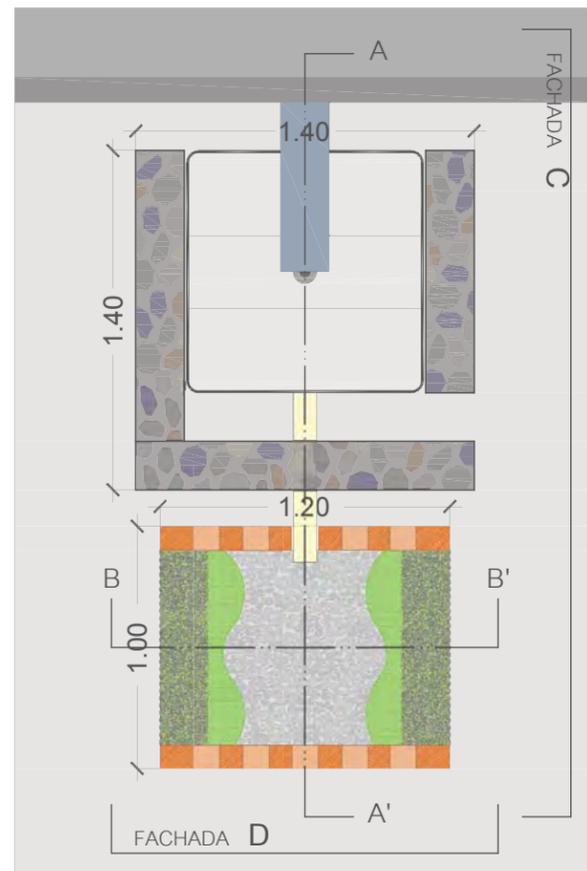
MODELO B1
Áreas en casa habitación
CORTE LONGITUDINAL A-A'



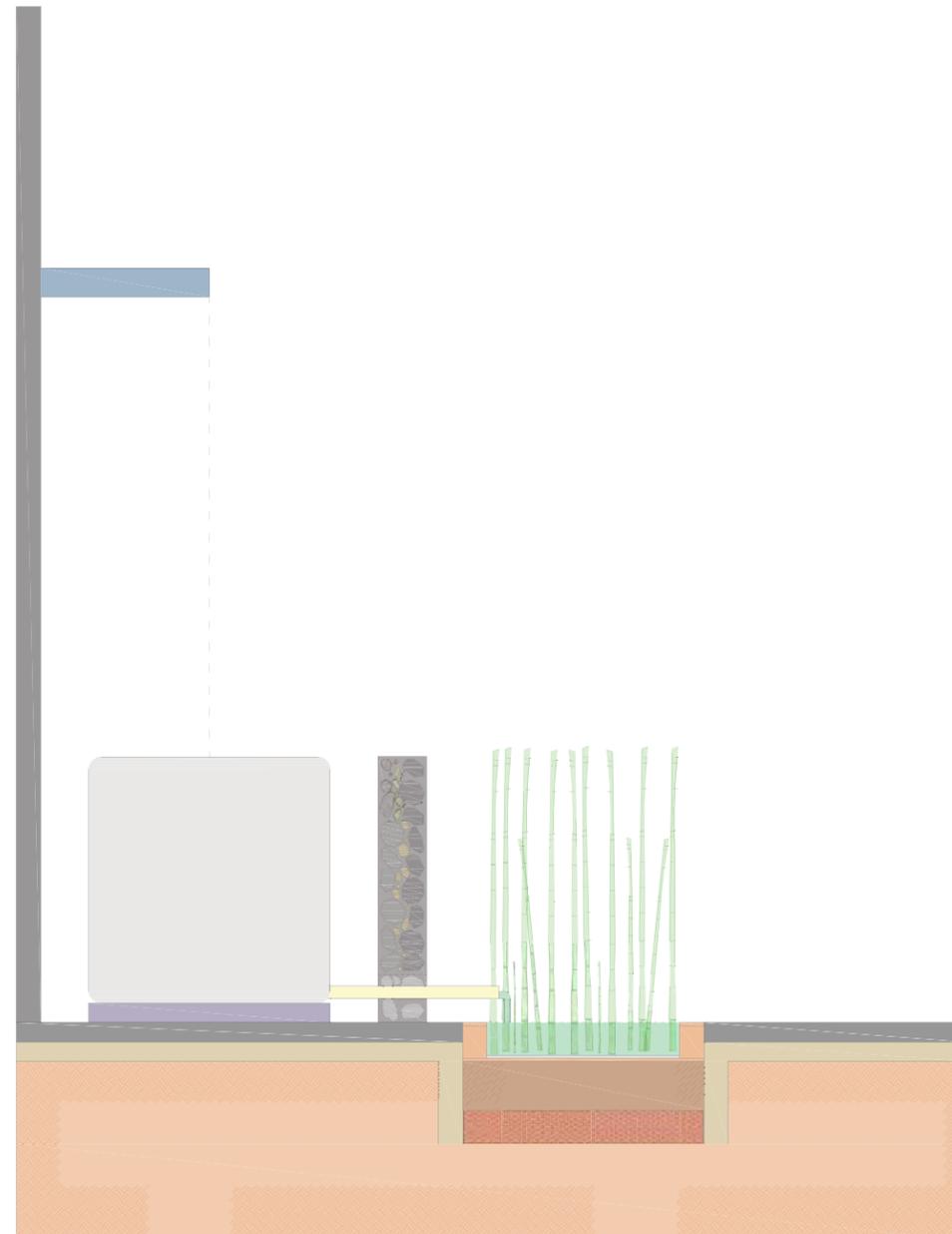
MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA B

VENTAJAS CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS

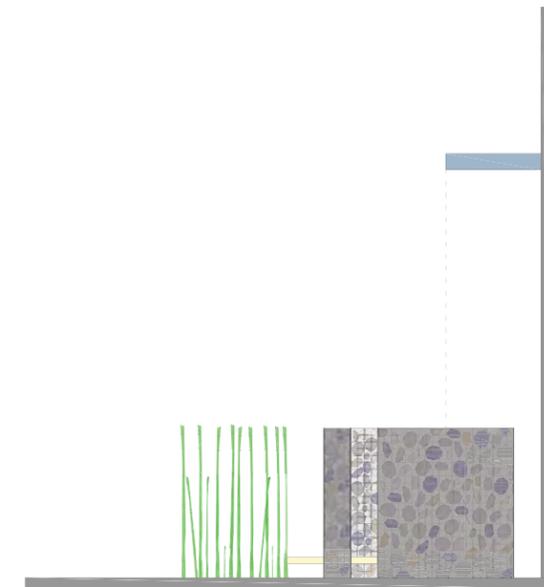
- Es un modelo que requiere un mantenimiento mínimo y rutinario.
- En su diseño, aprovecha las bajadas pluviales ya existentes.
- Es fácil de adaptar a viviendas ya construidas.
- Al ser de dimensiones pequeñas y bajo costo, resulta asequible para la mayor parte de los estratos sociales y la inversión inicial se ve rápidamente recuperada con el aprovechamiento del agua pluvial.
- Está fabricado con materiales ligeros, lo que facilita su manipulación e instalación.
- El tanque de almacenamiento (reservorio) es superficial, lo que evita se generen gastos por excavación; es de mantenimiento mínimo y al ser de materiales plásticos e inoxidable, tiene una vida útil prolongada.
- Es construido con materiales de alta resistencia. Vida útil estimada de 5 a 15 años.
- Vegetación de bajo riego y mantenimiento.



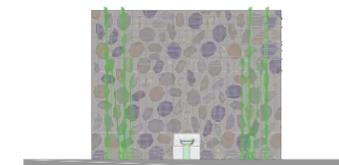
MODELO B1
Áreas en casa habitación
PLANTA - EJEMPLO DE VEGETACIÓN 1



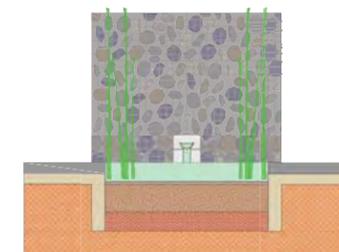
MODELO B1
Áreas en casa habitación
CORTE LONGITUDINAL A-A' - EJEMPLO DE VEGETACIÓN 1



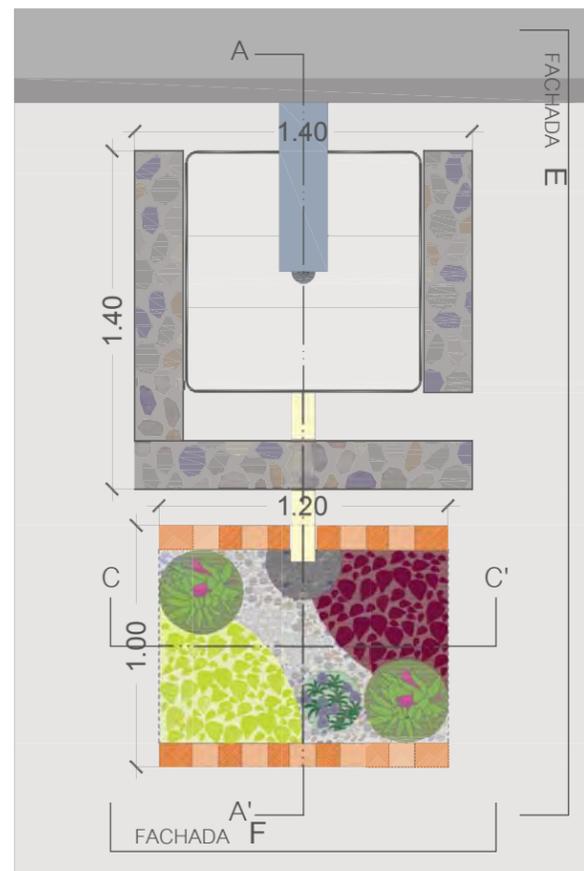
MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA C-EJEMPLO DE VEGETACIÓN 1



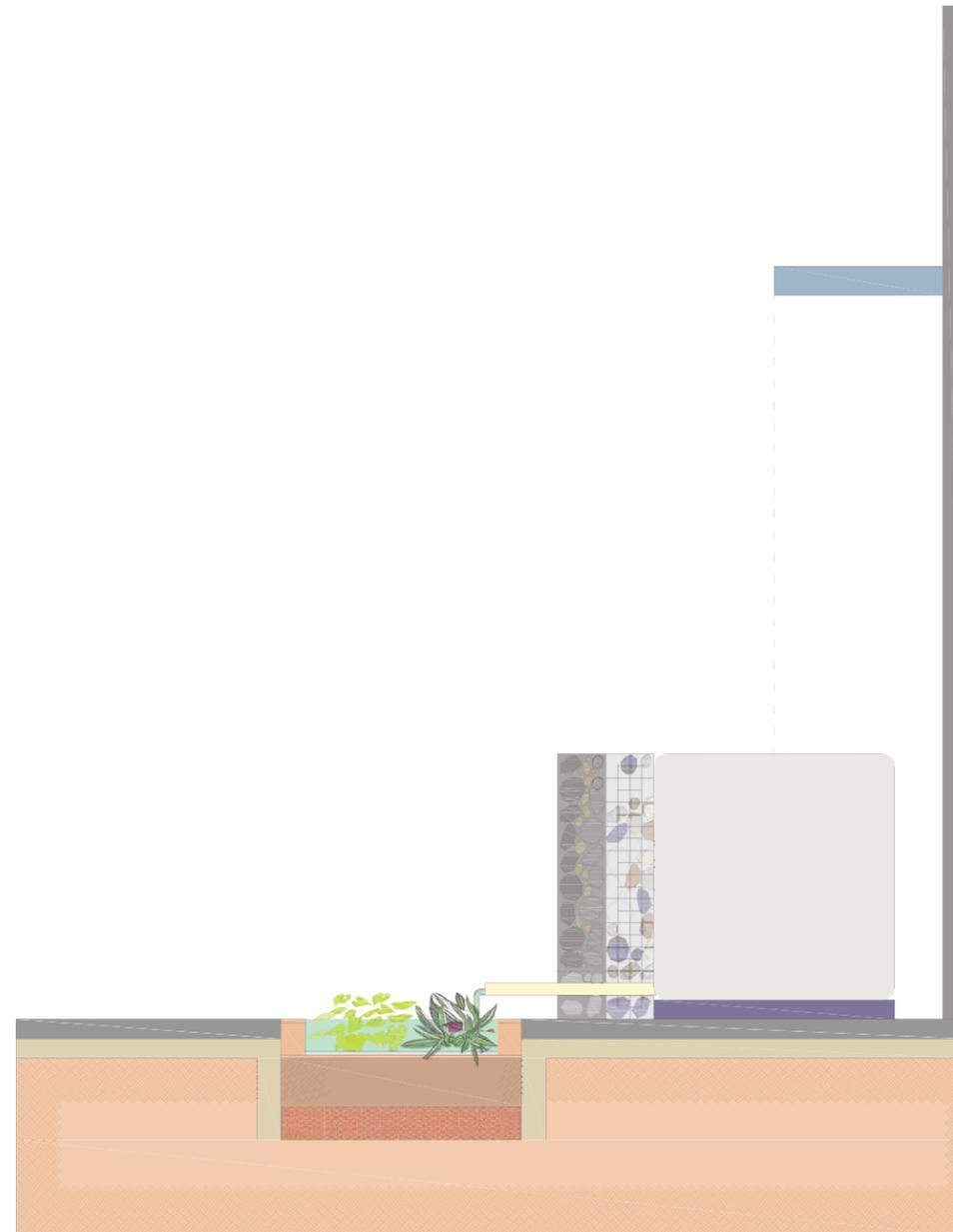
MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA D-EJEMPLO DE VEGETACIÓN 1



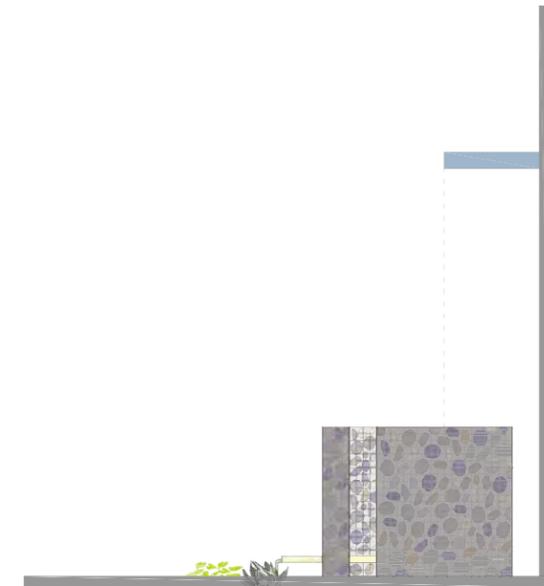
MODELO B1
Áreas en casa habitación
CORTE TRANSVERSAL B-B' - EJEMPLO DE VEGETACIÓN 1



MODELO B1
Áreas en casa habitación
PLANTA - EJEMPLO DE VEGETACIÓN 2



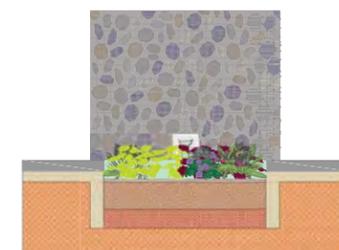
MODELO B1
Áreas en casa habitación
CORTE LONGITUDINAL A-A' - EJEMPLO DE VEGETACIÓN 2



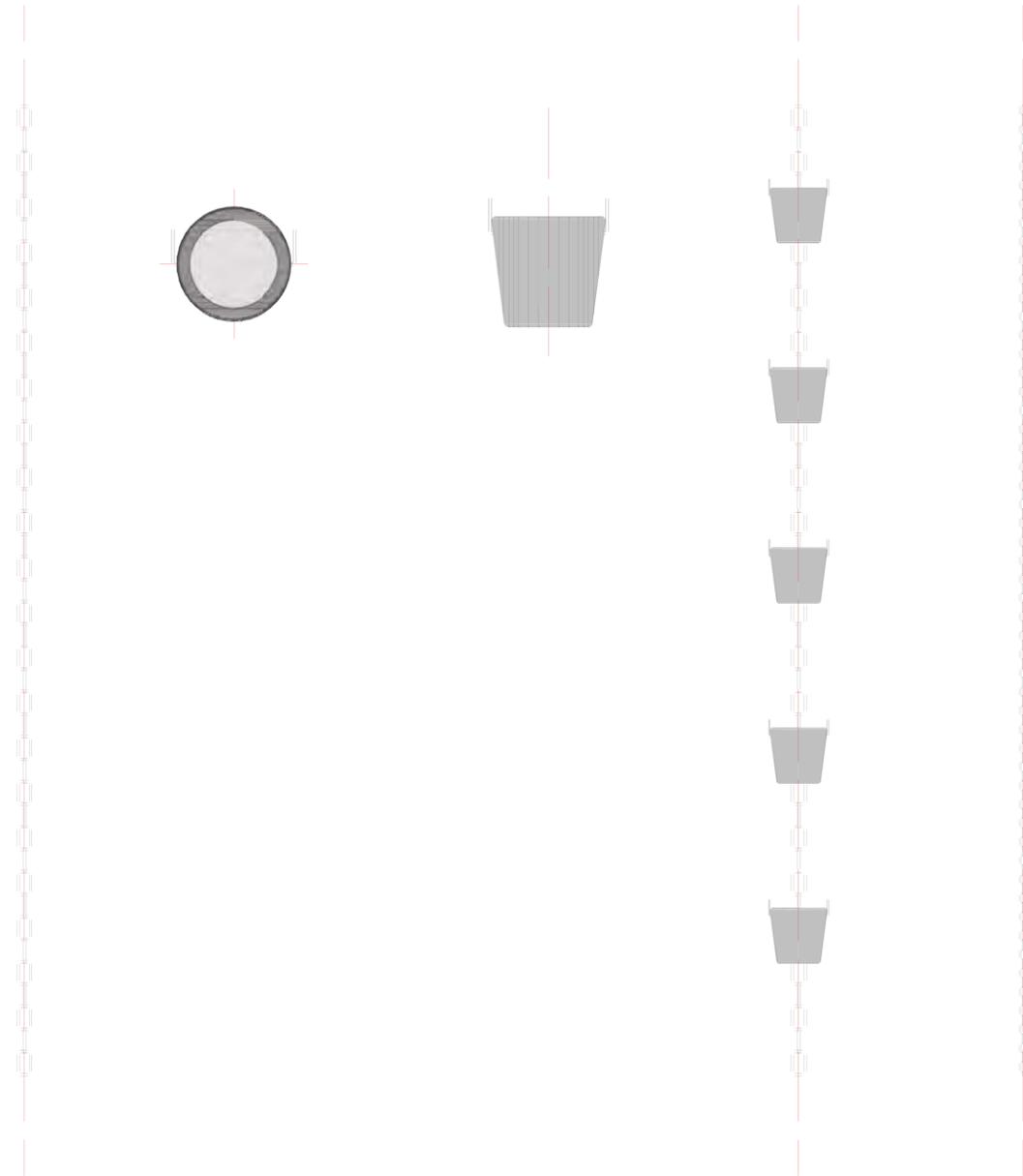
MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA E-EJEMPLO DE VEGETACIÓN 2



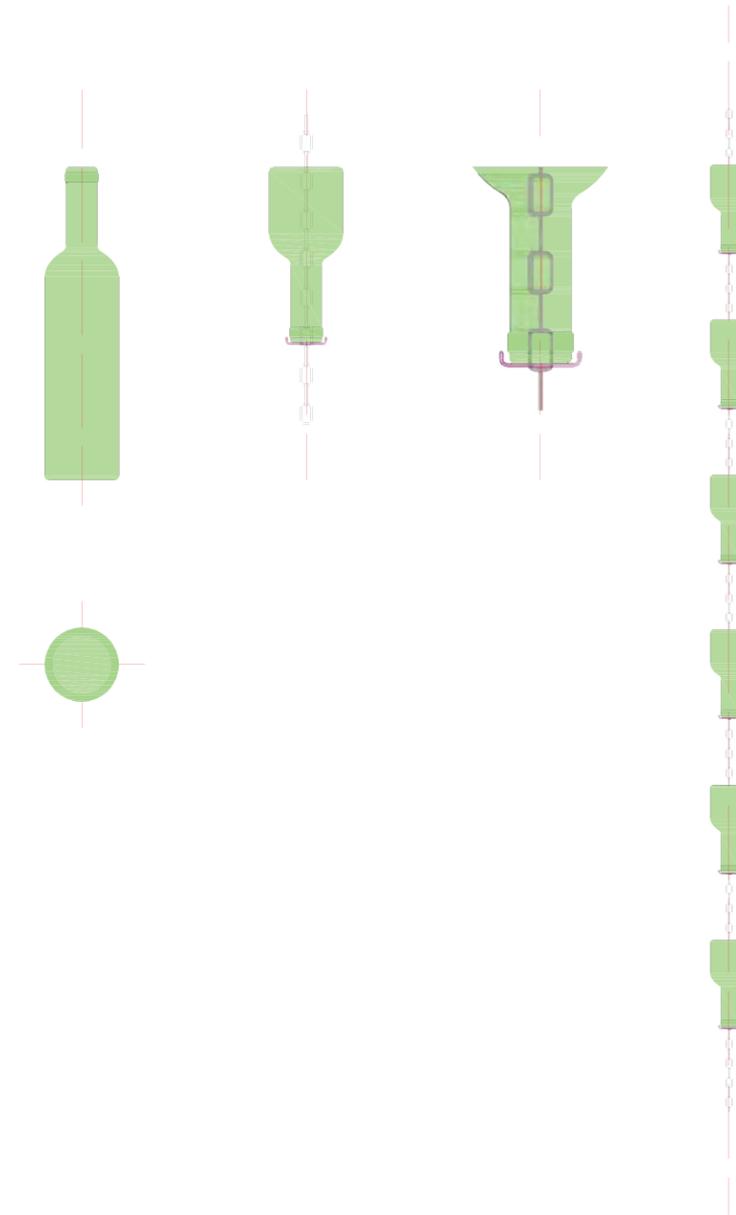
MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA F-EJEMPLO DE VEGETACIÓN 2



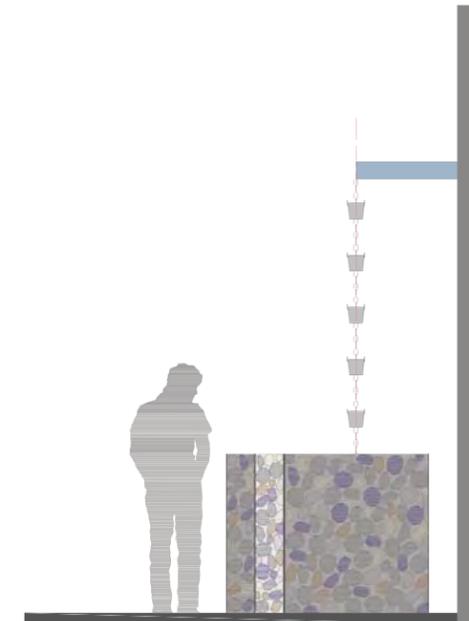
MODELO B1
Áreas en casa habitación
CORTE TRANSVERSAL C-C' - EJEMPLO DE VEGETACIÓN 2



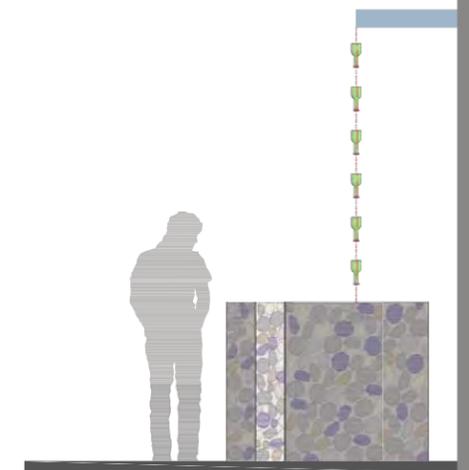
MODELO B1
Áreas en casa habitación
ALZADO - EJEMPLO DE CADENA DE LLUVIA 1 (CUBETA DE LATÓN)



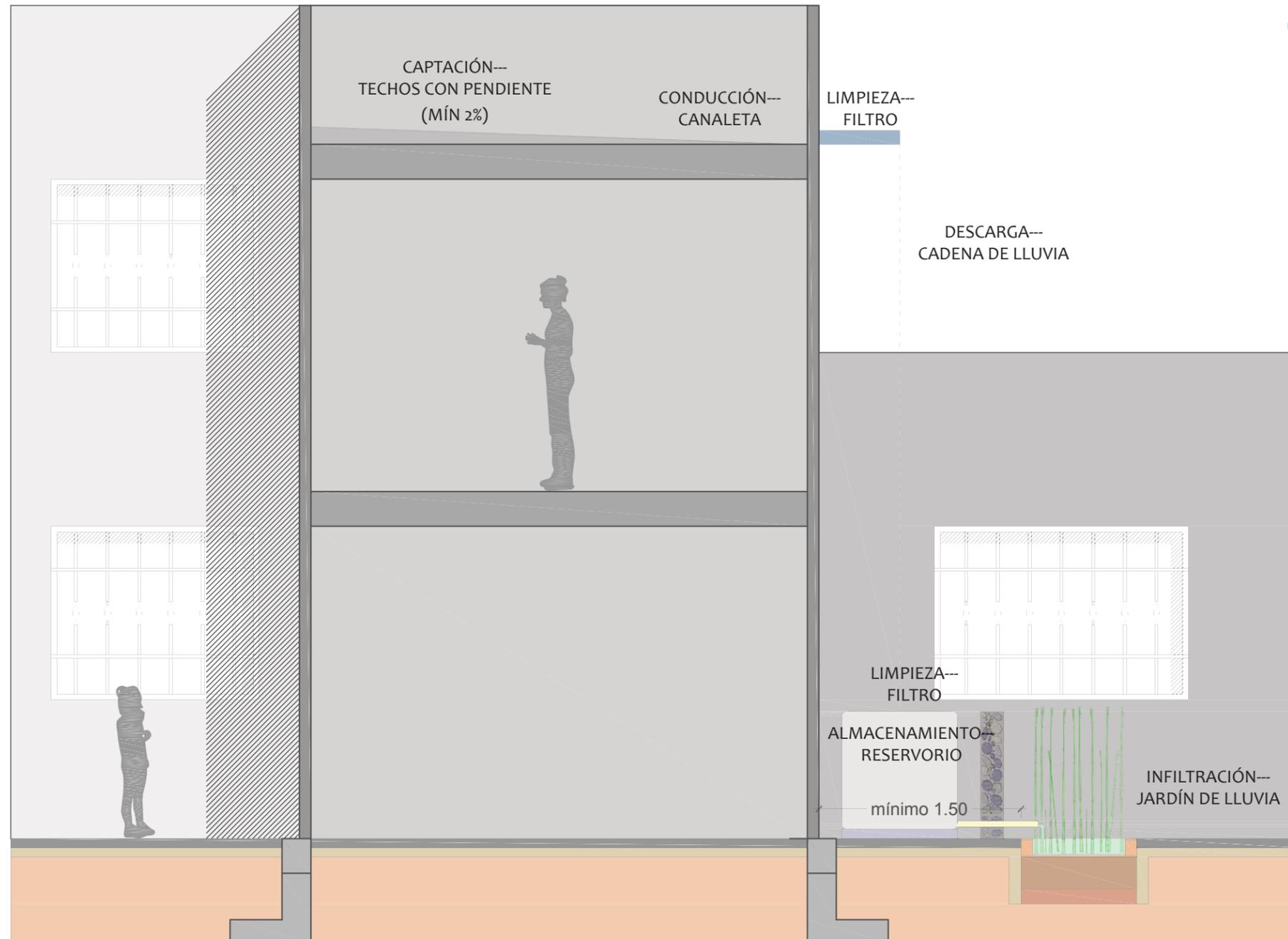
MODELO B1
Áreas en casa habitación
ALZADO - EJEMPLO DE CADENA DE LLUVIA 2 (BOTELLA RECICLADA)



MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA - EJEMPLO DE CADENA DE LLUVIA 1



MODELO B1
Áreas en casa habitación
FACHADA - EJEMPLO DE CADENA DE LLUVIA 2



CONCLUSIONES

El Modelo B1 es ideal para instalarse en patios de casas habitación en los que se quiera aprovechar la escorrentía pluvial proveniente de techos para almacenarla y utilizarla en un periodo máximo de 48 horas en usos que no requieren calidad de agua potable, usando el excedente de agua pluvial como medio de sustento del jardín de lluvia; debido a sus dimensiones y características, se sugiere su instalación a una distancia mínima de 1.50 m de edificaciones dentro del predio, así como de sótanos, tanques sépticos, tuberías de agua potable, de drenaje y líneas de propiedad.

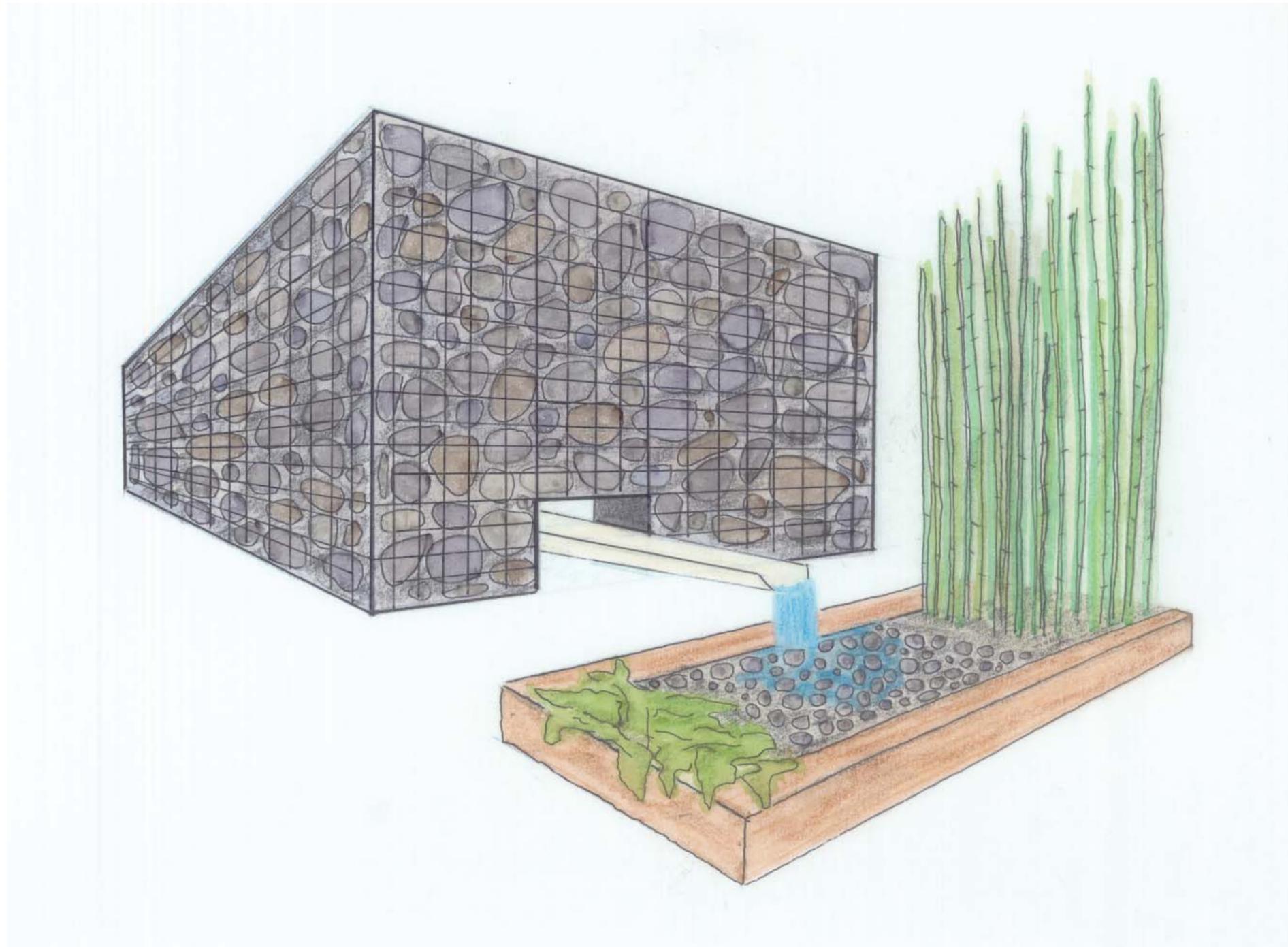
El modelo, además de brindar importantes beneficios ambientales, puede ser utilizado como estrategia para proporcionar áreas de valor paisajístico en la propiedad particular.

Al tratarse de un modelo aislado de biorretención, es ideal para instalarse en zonas puntuales dentro de las propiedades.

MODELO B1

Áreas en casa habitación

CORTE - ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL MODELO B1



PLANO DE APLICACIÓN-MODELO B1

ÁREAS EN CASA HABITACIÓN



Plano 5.3 Plano de aplicación. Modelo B1. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008). Autor: Casandra Badillo, 2015.



5.5.4 MODELO B₂

Áreas comunes de unidades habitacionales

ÁREA DEL PROYECTO: Variable. 190.00 m² aproximadamente

ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN: Variable. 240.00 m²
aproximadamente

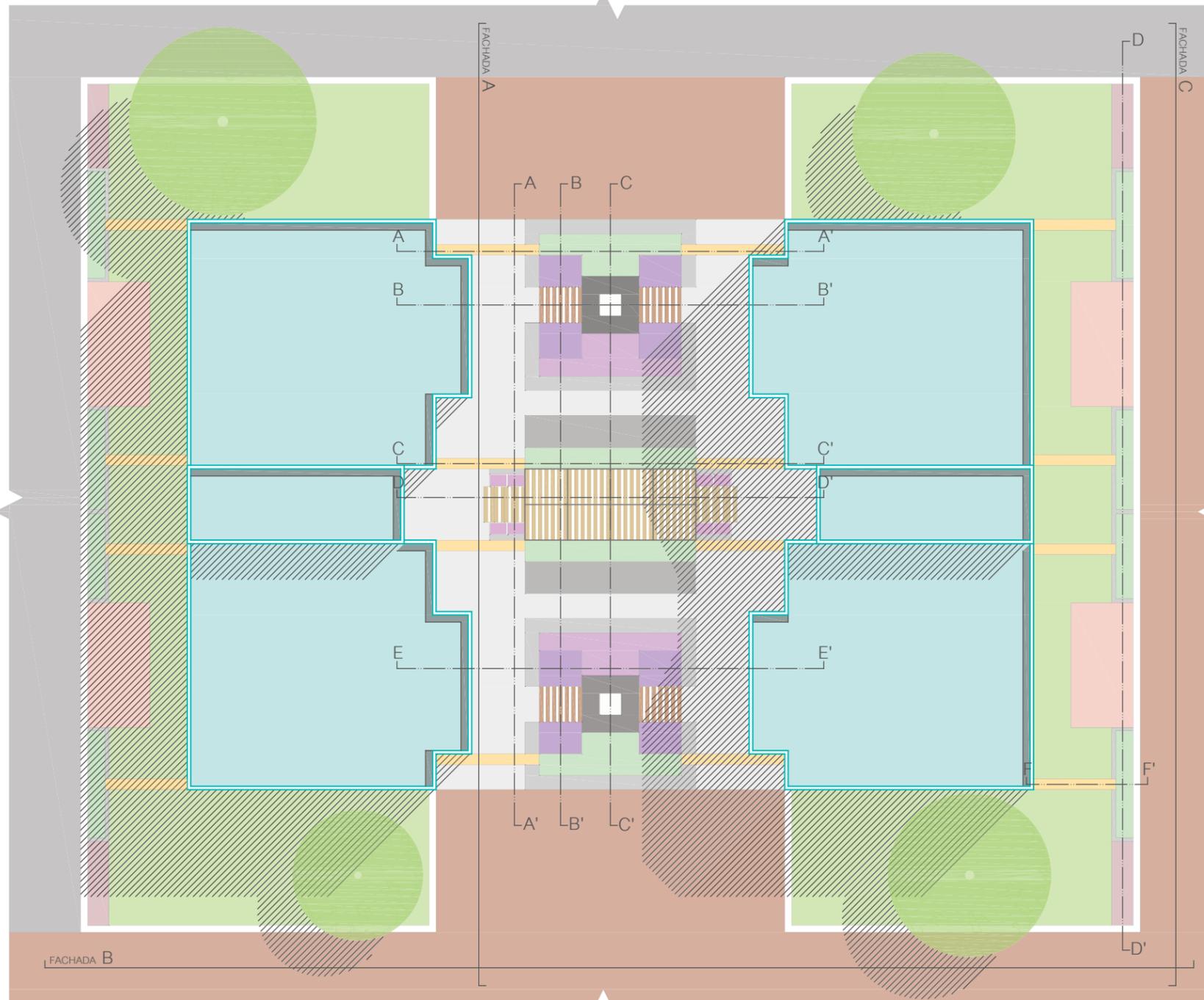
ÁREA EFECTIVA VEGETADA: Variable

UBICACIÓN: Áreas comunes de unidades habitacionales con ancho libre de más de 7.80 m y en áreas superiores a los 25.00 m²

TIPO DE PROYECTO: Áreas comunes de unidades habitacionales

OBJETIVO: Aprovechar la escorrentía pluvial proveniente de los techos de unidades habitacionales para canalizarla hacia un jardín de lluvia comunitario, proporcionando áreas verdes de valor paisajístico que incentivan la convivencia social.

Aprovechar el agua pluvial para infiltrarla al subsuelo en vez de direccionarla al sistema de drenaje convencional, utilizándola como elemento de estética paisajística y como fuente principal de subsistencia del jardín de lluvia.



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
PLANTA DE CONJUNTO

MEDIDAS MODULARES

Variable. 4.80 x 4.80 m

CARACTERÍSTICAS

- Para áreas comunes de unidades habitacionales con ancho libre de más de 7.80 m:
Franja libre de circulación peatonal de 1.50 m
- Sistema integrado de biorretención
- Capta el escurrimiento pluvial de áreas aproximadas de 240.00 m²
- Lámina de retención superficial con capacidad de 6,680 litros aproximados

VEGETACIÓN SUGERIDA

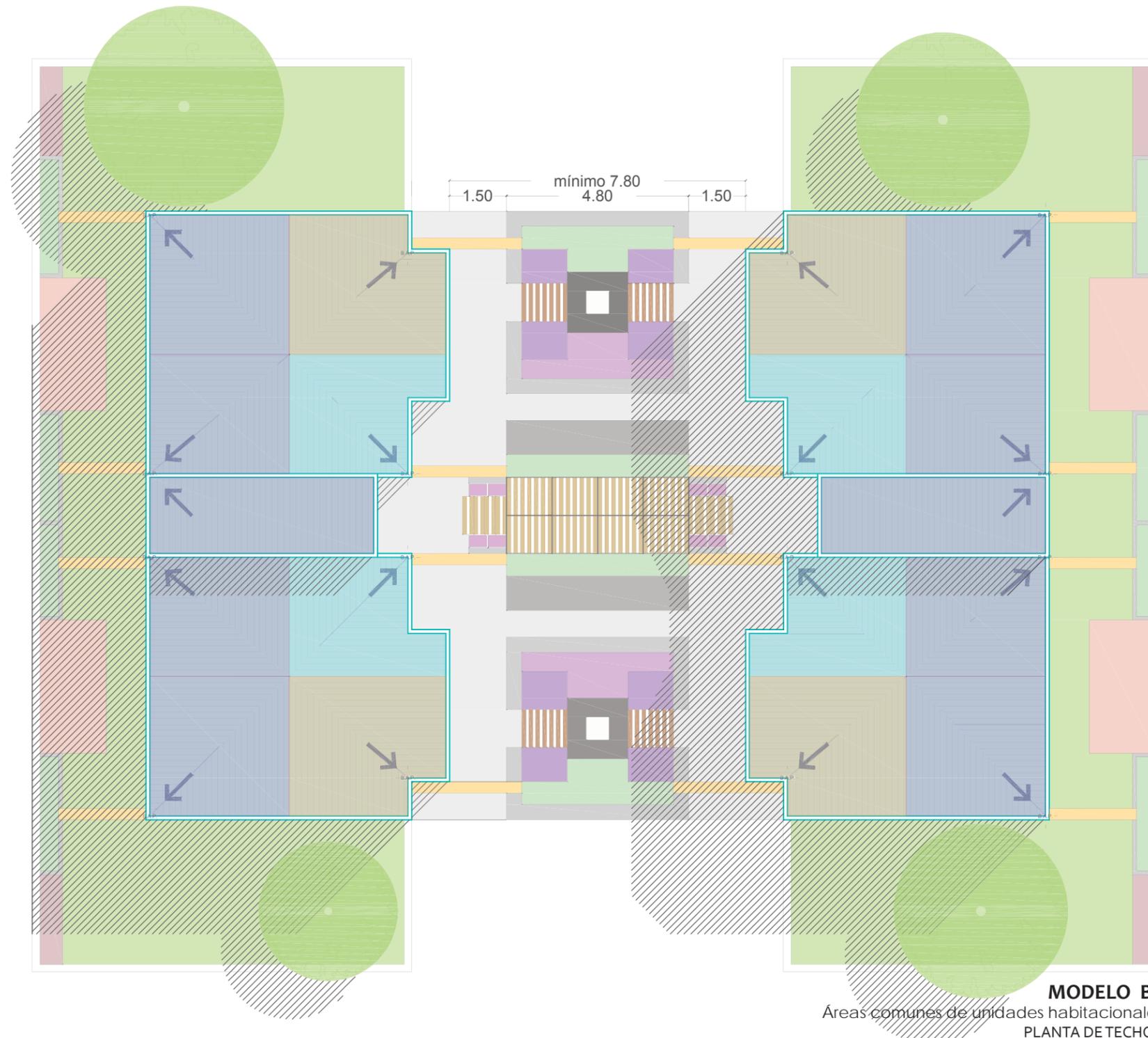
Herbáceas y plantas cubresuelos de hasta 1.20 m de altura, a partir del nivel de piso terminado.

NÚMERO DE HIDROZONAS

Máximo 4

NÚMERO DE ESPECIES

Máximo 6



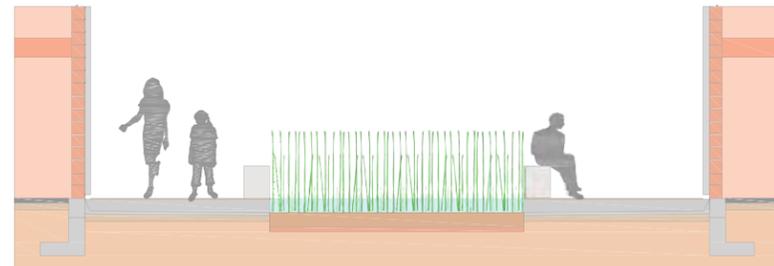
MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
PLANTA DE TECHOS



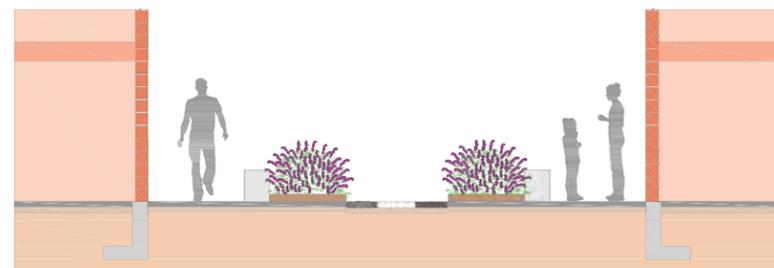
RECOMENDADO PARA:

- Áreas comunes de unidades habitacionales en las que se quiera aprovechar el espacio para instalar un jardín de lluvia comunitario y obtener así, un área verde adicionada.
- Debido a sus dimensiones, es ideal para instalarse en las áreas que comunican un edificio con otro en las unidades habitacionales, en el perímetro de los mismos, o en áreas verdes libres.
- Zonas con tendencia a encharcamientos, en desniveles naturales del terreno o áreas cercanas a las bajadas pluviales de los edificios.
- Espacios en los que se quiera aportar un área recreativa que pueda ser aprovechada para la convivencia de los vecinos.
- Para enfatizar las circulaciones de pedestres y dirigir los flujos peatonales hacia los accesos o estacionamientos.
- Para jerarquizar los accesos a las unidades habitacionales.
- Es una estrategia paisajística para adicionar áreas verdes en pequeños espacios subutilizados y para el aprovechamiento del agua pluvial urbana.

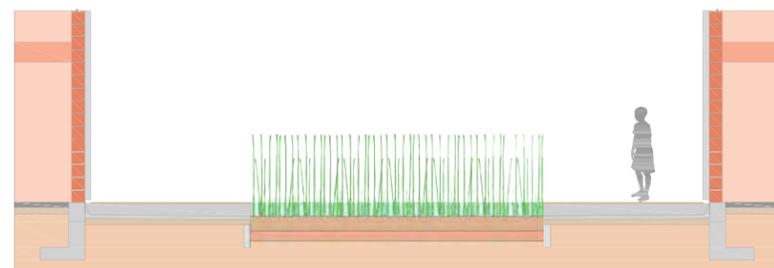
CAPÍTULO V



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE TRANSVERSAL A-A'

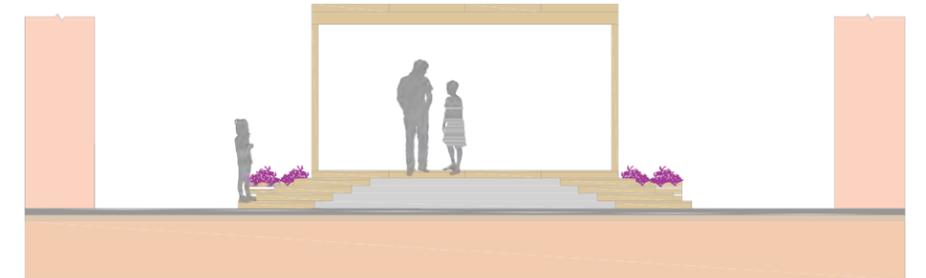


MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE TRANSVERSAL B-B'

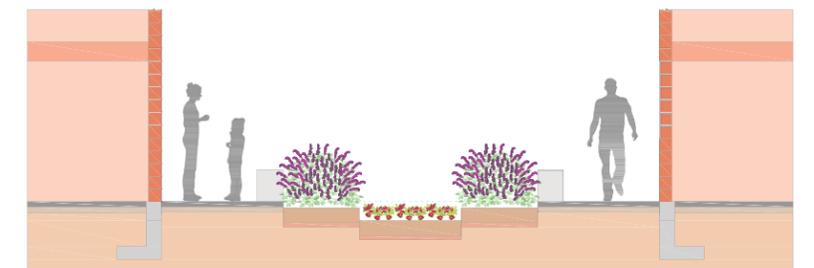


MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE TRANSVERSAL C-C'

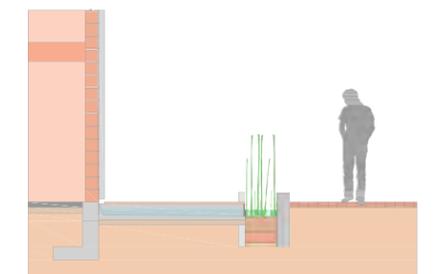
MODELOS CONCEPTUALES DE JARDÍN DE LLUVIA



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE TRANSVERSAL D-D'



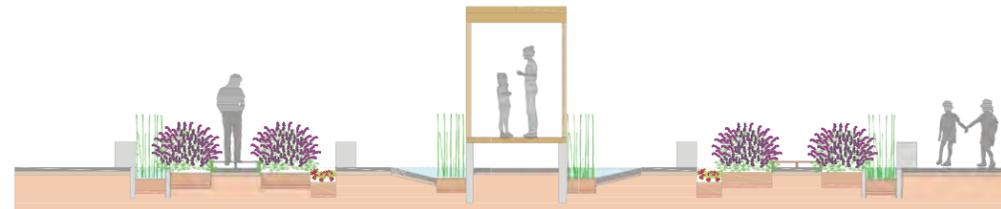
MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE TRANSVERSAL E-E'



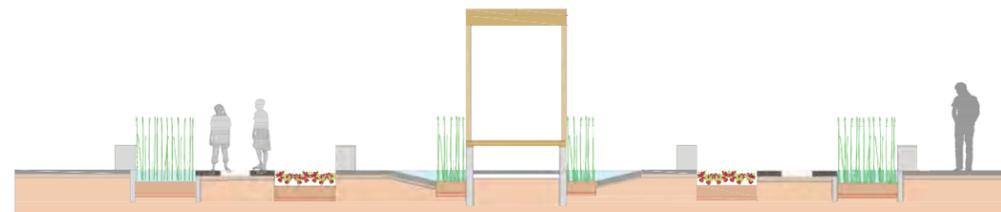
MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE TRANSVERSAL F-F'



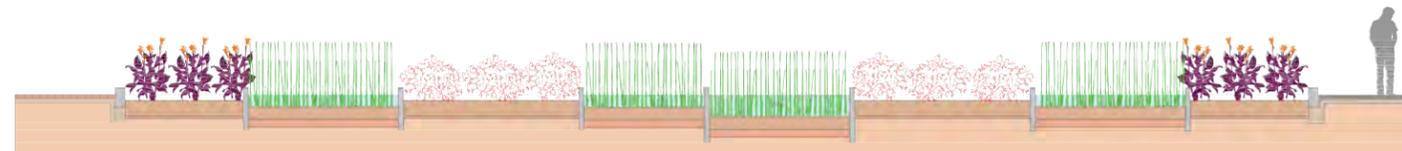
MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE LONGITUDINAL A-A'



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE LONGITUDINAL B-B'



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE LONGITUDINAL C-C'



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
CORTE LONGITUDINAL D-D'

BENEFICIOS URBANÍSTICOS Y SOCIALES

- Crea una barrera visual controlada desde y hacia los edificios.
- Proporciona un área de integración y recreación en la propiedad comunal.
- Dirige las circulaciones peatonales dentro las áreas de las unidades habitacionales.
- Mejora la calidad de vida de los usuarios y añade plusvalía a la propiedad.
- Mejora la imagen urbana dentro de las unidades habitacionales.

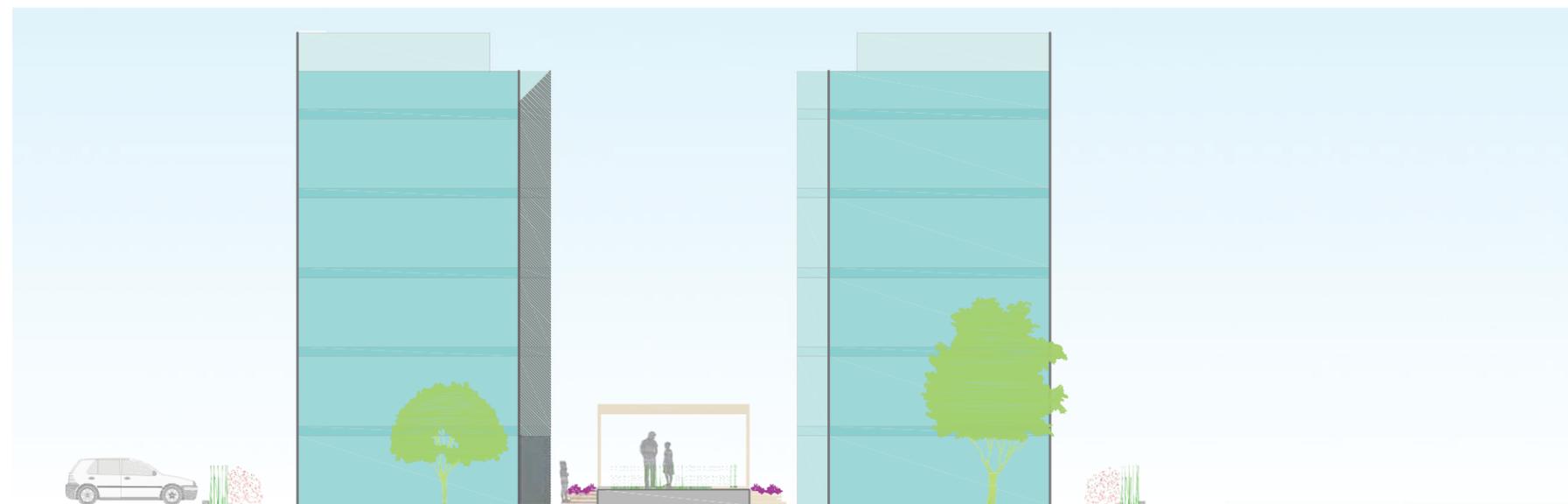
VENTAJAS CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS

- Es un modelo que requiere un mantenimiento mínimo y rutinario.
- Puede ser dimensionado según las necesidades puntuales de cada caso.
- En su diseño, aprovecha las bajadas pluviales ya existentes.
- Representa una inversión costeable a corto plazo que ofrece grandes contribuciones ambientales y sociales.
- Es construido con materiales de alta resistencia. Vida útil estimada de 10 a 30 años.
- Vegetación de bajo riego y mantenimiento.



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
FACHADA A

MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
FACHADA C



MODELO B2
Áreas comunes de unidades habitacionales
FACHADA B

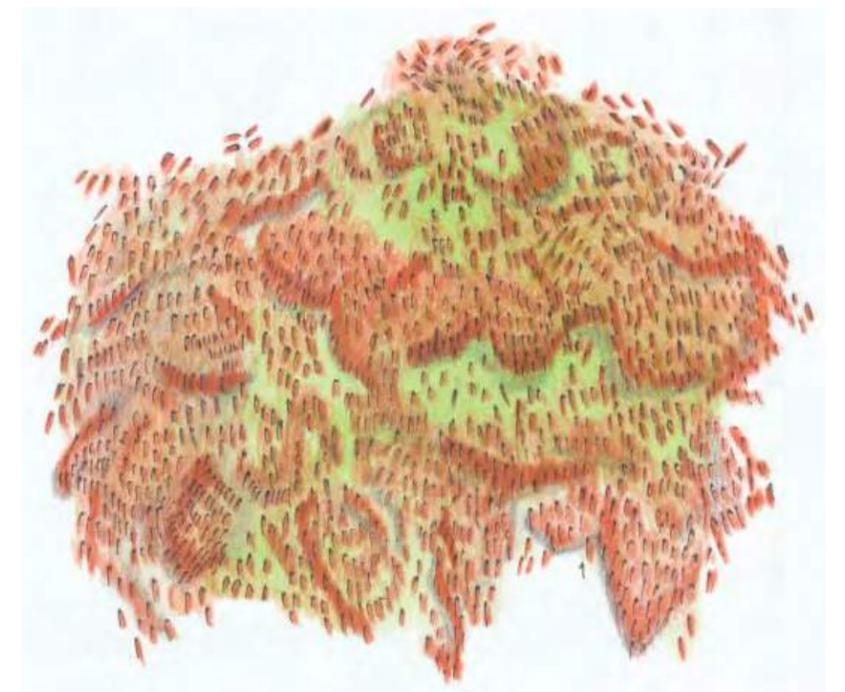


CONCLUSIONES

El Modelo B2 es ideal para instalarse en áreas comunes de unidades habitacionales con un ancho libre mayor a los 7.80 m y en áreas superiores a los 25.00 m²; debido a sus dimensiones, se sugiere su uso en el perímetro de las edificaciones o en el área central entre las mismas, siempre que permita una circulación peatonal libre de 1.50 m y que guarde la misma distancia de cualquier edificación.

El modelo, además de brindar importantes beneficios ambientales, puede ser utilizado como estrategia para proporcionar áreas para la recreación y convivencia social.

Al tratarse de un modelo integrado de biorretención, es ideal para instalarse en áreas comunes en las que se requiera de un sistema compuesto.





Plano 5.4 Plano de aplicación. Modelo B2. Fuente: Adaptado del Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Azcapotzalco, (2008).
Autor: Casandra Badillo, 2015.

5.6 PALETA VEGETAL PROPUESTA PARA JARDINES DE LLUVIA EN AZCAPOTZALCO

Se realizó la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco* con la finalidad de presentar un catálogo de especies vegetales arbóreas, arbustivas, herbáceas, gramíneas e inundables, propicias para utilizarse en los jardines de lluvia, en el caso de estudio de Azcapotzalco.

La iniciativa de realizar una paleta vegetal propia surgió de la necesidad de desarrollar un catálogo de especies que pudieran adaptarse y sobrevivir en nuestra latitud, pues al existir bibliografía de sistemas que han sido desarrollados en otros países, la vegetación está condicionada a dichas regiones.

Para seleccionar las variedades de la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco* se eligieron aquellas especies que tuvieran un potencial para ser utilizadas en jardines de lluvia en el caso de estudio, en base a:

- Especies nativas mexicanas, con principal distribución en la región central de la República Mexicana.
- No estar en ninguna categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2010. (PROTECCIÓN AMBIENTAL-ESPECIES NATIVAS DE MÉXICO DE FLORA Y FAUNA SILVESTRES-CATEGORÍAS DE RIESGO Y ESPECIFICACIONES PARA SU INCLUSIÓN, EXCLUSIÓN O CAMBIO-LISTA DE ESPECIES EN RIESGO).
- No ser tóxicas ni representar peligro para los usuarios o para el medio ambiente.
- Especies con diferentes densidades de floración y foliación.
- Tener dimensiones en su máximo tamaño de crecimiento que pudieran adaptarse a las condiciones urbanas existentes.
- Tolerancia a la saturación prolongada, a la sequía y a la sombra, como factores fundamentales a los que estarían expuestas en una realidad implementada.
- Resistencia y adaptación a las condiciones urbanas.
- Bajo requerimiento de mantenimiento.
- Disponibilidad comercial en el país.
- Especies con una gama cromática variada.
- Contar con un carácter ornamental paisajístico.

Así, se conformó un catálogo de especies que incluye cinco tipos diferentes de vegetación, cada una elegida por motivos particulares en base a su capacidad de biorretención, fitoestabilización o adaptación al medio urbano:

- **ÁRBOLES PEQUEÑOS.**- Debido a las dimensiones urbanas actuales, se proponen especies arbóreas pequeñas que puedan ser adaptadas con facilidad al medio construido.
- **ARBUSTOS.**- Este tipo de vegetación fue seleccionada por tener gran cantidad de **biomasa** y raíces profundas, proporcionando una mejor fitoestabilización de los contaminantes en el suelo.
- **HERBÁCEAS.**- Seleccionadas por la diversidad existente, su baja altura les permite adaptarse al medio urbano posibilitando la permeabilidad visual, además de su capacidad para ser utilizadas como cubresuelos.
- **GRAMÍNEAS.**- Elegidas porque logran retener altas concentraciones de contaminantes, principalmente metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb y Zn), y por presentar gran cantidad de biomasa. (BECKER *et al.*, 2013).
- **INUNDABLES.**- Vegetación seleccionada por su capacidad para tolerar encharcamientos prolongados.

De este modo se obtuvo la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco* (**Tabla 5.4**), conformada por 110 especies, esperando ser un primer indicio de un catálogo de especies mexicanas con potencial para ser utilizadas en los jardines de lluvia de Azcapotzalco.

Con la finalidad de que la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco* sea una herramienta de fácil interpretación, se elaboró una tabla dividida en columnas con respectivos colores para cada categoría: En un sentido de izquierda a derecha, se menciona la información básica de cada especie (número, nombre científico, nombre común y familia); en seguida se menciona su origen y distribución, después, sus características de foliación y densidad de floración; se muestran las dimensiones verticales y horizontales máximas que puede alcanzar en una edad adulta; sucedida por la tolerancia a la saturación prolongada, a la sequía y a la sombra; la localización sugerida dentro de un jardín de lluvia; la disponibilidad comercial en la República Mexicana, y notas u observaciones en relación a las características de cada especie. (Fig. 5.6) (Fig. 5.7)

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			LOCALIZACIÓN C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo	OTROS Disponibilidad comercial	NOTAS
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			



Figura 5.6 Apoyo para la interpretación de la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*. Parte 1. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			OTROS	NOTAS
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra		

DONDE:

A= Alta
M= Media
B= Baja

A= Alta
M= Media
B= Baja
N/A= No aplica
C= Floración controlada

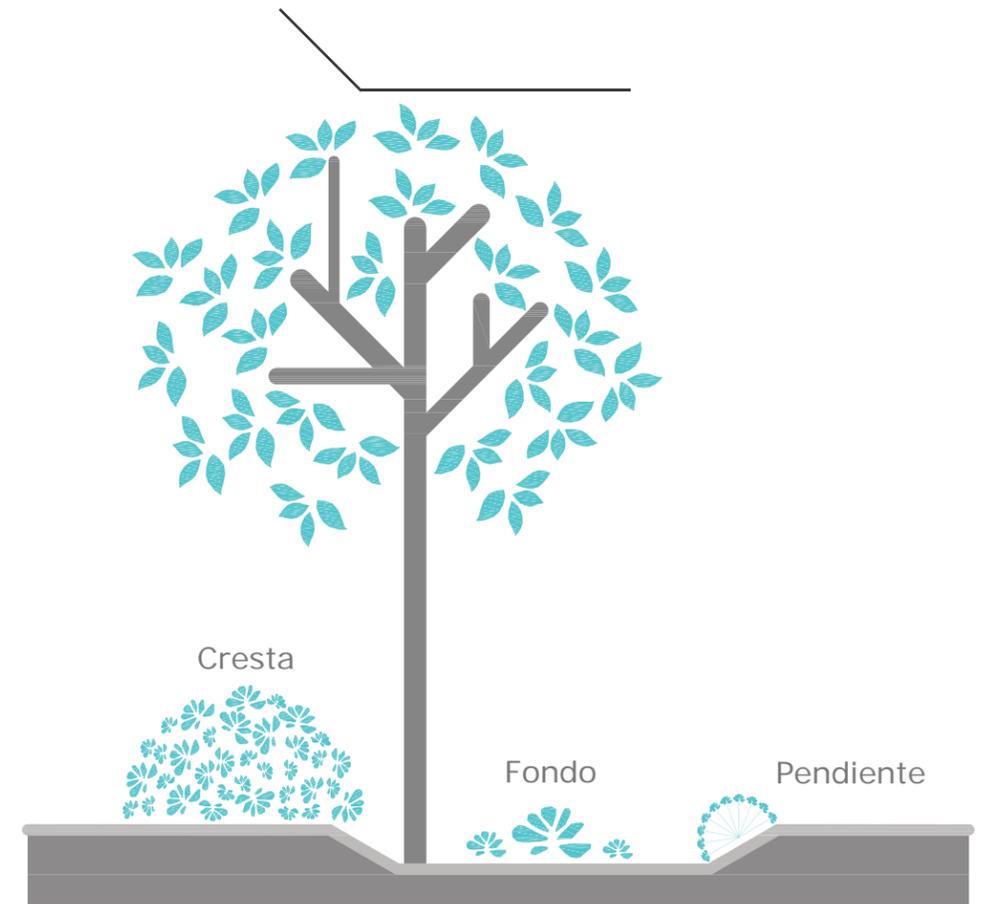
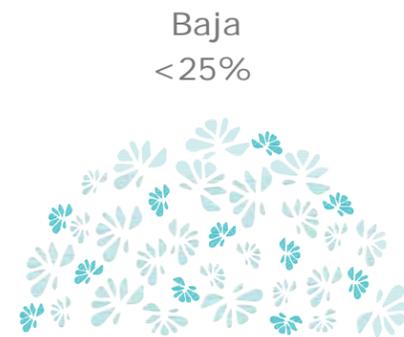


Figura 5.7 Apoyo para la interpretación de la Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Parte 2. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo	OTROS Disponibilidad comercial	NOTAS
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			
ÁRBOLES PEQUEÑOS															
1	<i>Bauhinia mexicana</i>	Pata de vaca	Fabaceae	Ce	Del norte de México hasta Costa Rica	P	M	2.50-6.00	3.00-6.00	M	M	M	P,F	M	Sus flores atraen insectos benéficos Sinonimia de <i>Bauhinia divaricata</i>
2	<i>Cercis mexicana</i>	Árbol del amor	Fabaceae	Na	Del sureste de Canadá al noreste de México	P	A	3.00-6.00	2.50-5.00	B	M	M	C,P	M	Utilizada con fines paisajísticos. Es considerada una variedad de <i>Cercis canadensis</i>
3	<i>Erythrina americana</i>	Colorín	Fabaceae	NM	México	C	A	3.00-6.00	2.00-5.00	M	M	M	P	A	Flores comestibles Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
4	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Palo dulce	Fabaceae	NM	Del sureste de Arizona a Oaxaca	C	M	3.00-6.00	2.00-5.00	B	A	B	C	B	Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
5	<i>Forestiera neomexicana</i>	Olivo del desierto	Oleaceae	NM	De Texas al norte de México	C	B	2.00-3.00	1.80-3.00	B	A	B	C,P	B	Produce frutos que atraen vida silvestre
6	<i>Magnolia grandiflora</i> L.	Magnolia	Magnoliaceae	NM	De Texas a Veracruz	P	B	3.00-9.00	3.00-6.00	B	B	M	P,F	A	Dependiendo de la variedad, puede alcanzar mayor o menor altura
7	<i>Prunus mexicana</i>	Ciruelo mexicano	Rosaceae	NM	Del sureste de los EE. UU. al norte de México	P	A	3.00-6.00	2.50-5.00	B	M	M	C,P	M	Es considerada una variedad de <i>Prunus americana</i>
ARBUSTOS															
8	<i>Bouvardia ternifolia</i>	Trompetilla	Rubiaceae	NM	Del sur de los EE. UU. a Chiapas	P	A	0.50-3.00	0.60-2.00	A	A	B	C,P	M	Atrae colibrís
9	<i>Cestrum nocturnum</i>	Huele de noche	Solanaceae	Co	De México a Sudamérica	P	A	0.80-4.00	0.70-2.00	M	M	M	P	A	Aromática Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
10	<i>Cuphea aequipetala</i>	Hierba del cáncer	Lythraceae	NM	De México a Honduras	P	M	0.60-1.00	0.50-0.90	M	M	M	P	B	Crece en lugares algo húmedos; atrae colibrís
11	<i>Cuphea hyssopifolia</i>	Trueno de venus	Lythraceae	NM	De México a Honduras	P	A	0.20-0.90	0.30-1.00	A	B	M	F	A	Atrae mariposas Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
12	<i>Cuphea ignea</i>	Planta del cigarro	Lythraceae	NM	De México al Salvador	P	A	0.40-1.00	0.50-1.40	M	M	B	P	A	Atrae colibrís y mariposas
13	<i>Cuphea subuligera</i>	Cuphea de colibrí	Lythraceae	En	Del centro al sureste de México	P	M	0.60-1.20	0.50-1.00	M	M	M	P	B	Atrae colibrís; flores en tonalidades rosas, rojas y naranjas

Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			OTROS	NOTAS	
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo
ARBUSTOS (continuación)															
14	<i>Dodonaea viscosa</i>	Chapulixtle	Sapindaceae	Co	Del sur de los EE. UU. a Sudamérica	P	M	1.00-3.00	0.90-2.00	B	A	B	C	M	La variedad 'Purpurea' es de follaje muy llamativo Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
15	<i>Duranta erecta</i>	Adonis morado	Verbenaceae	NM	De México a las Antillas	P	A	2.00-4.00	1.50-2.50	A	B	B	P,F	A	Sinonimia de <i>Duranta repens</i> Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
16	<i>Fuchsia magellanica</i>	Pendientes de reina	Onagraceae	Co	De México a Chile	C	A	0.60-1.40	1.00-1.60	A	B	A	P,F	A	Atrae colibríes Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
17	<i>Lantana camara</i>	Lantana	Verbenaceae	NM	Del sur de los EE. UU. a las Antillas	P	A	0.50-1.80	0.50-2.00	M	A	M	C,P	A	Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
18	<i>Lippia alba</i>	Pronto alivio	Lamiaceae	Co	De Texas a Sudamérica	P	M	0.70-1.10	0.80-1.50	M	M	B	P	A	Es aromática; atrae mariposas
19	<i>Lippia graveolens</i>	Orégano de monte	Verbenaceae	NM	De Texas a Nicaragua	C	M	0.70-1.50	0.70-1.30	M	A	B	C,P	A	Es aromática; atrae mariposas
20	<i>Loeselia mexicana</i>	Espinosilla	Polemoniaceae	NM	De Texas a Guatemala	P	A	0.50-1.50	0.50-1.00	M	M	B	P	B	Sinonimia de <i>Loeselia coccinea</i>
21	<i>Philadelphus mexicanus</i>	Jazmín mexicano	Hydrangeaceae	NM	De México a Guatemala	P	A	0.90-1.80	0.90-2.50	M	M	M	P	A	Es de hábito enredadera; aromática Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
22	<i>Russelia equisetiformis</i>	Cola de cupido	Scrophulariaceae	NM	México	P	A	1.00-1.80	0.80-1.50	A	M	B	P,F	A	Atrae colibríes; buena cortina para vientos; soporta la salinidad
23	<i>Salvia amarissima</i>	Hierba de cáncer	Lamiaceae	NM	México	P	M	1.00-1.70	0.80-1.20	B	M	B	C,P	B	Atrae colibríes y mariposas; flores en tonalidades azul pálido
24	<i>Salvia blepharophylla</i>	Salvia diablo	Lamiaceae	En	De Tamaulipas a San Luis Potosí	P	A	0.30-0.70	0.60-0.80	B	M	B	C,P	M	Atrae colibríes y mariposas; flores en tonalidades rojas
25	<i>Salvia cacaliifolia</i>	Salvia azul	Lamiaceae	NM	De Chiapas a Honduras	P	A	0.50-1.20	0.80-1.30	B	M	M	C,P	M	Atrae colibríes y mariposas; flores en tonalidades azul rey
26	<i>Salvia concolor</i>	Mirto azul	Lamiaceae	En	D.F., Estado de México y Puebla	P	A	1.00-1.80	1.00-2.00	B	M	M	C,P	M	Atrae colibríes y mariposas; flores en tonalidades púrpura
27	<i>Salvia elegans</i>	Hierba del burro	Lamiaceae	NM	De México a Guatemala	P	A	1.20-1.50	1.00-1.30	B	M	M	C,P	M	Atrae colibríes y mariposas; flores en tonalidades vino; es aromática con olor a piña

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo	OTROS Disponibilidad comercial	NOTAS
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			
ARBUSTOS (continuación)															
28	<i>Salvia farinacea</i>	Salvia azul	Lamiaceae	NM	De Texas a México	P	A	0.90-1.20	0.60-1.00	B	B	B	P	M	Atrae colibrís y mariposas; flores en tonalidades azul-violeta
29	<i>Salvia fulgens</i>	Mirto	Lamiaceae	En	Puebla	P	A	0.50-1.00	0.40-0.90	B	B	M	P	M	Atrae colibrís y mariposas; flores en tonalidades rojas
30	<i>Salvia gesneriflora</i>	Flor de colibrí	Lamiaceae	En	Jalisco, Estado de México y Puebla	P	A	1.00-2.00	0.60-1.20	B	M	M	C,P	B	Atrae colibrís y mariposas; flores en tonalidades rojas
31	<i>Salvia involucrata</i>	Salvia rosa	Lamiaceae	En	De Tamaulipas a Veracruz	P	A	1.20-1.60	0.90-1.60	B	M	A	P	M	Atrae colibrís y mariposas; flores en tonalidades fuchsias
32	<i>Salvia leucantha</i>	Cordón de San Francisco	Lamiaceae	NM	México	P	A	0.90-1.50	1.40-2.00	B	A	B	C,P	A	Atrae colibrís y mariposas; flores de aspecto lanoso en tonalidades violeta
33	<i>Salvia microphylla</i>	Mirto de montes	Lamiaceae	NM	Del sur de Arizona al sur de México	P	M	1.00-1.80	1.20-2.00	B	A	B	C,P	A	Atrae colibrís y mariposas; pequeñas flores en tonalidades rojas
34	<i>Salvia patens</i>	Salvia	Lamiaceae	NM	México	P	A	0.60-0.90	0.40-0.70	B	B	B	P	M	Atrae colibrís y mariposas; flores en tonalidades azules
35	<i>Senecio salignus</i>	Asomiate amarillo	Asteraceae	NM	De Arizona a Honduras	P	A	0.90-2.00	1.00-2.50	B	A	B	C	B	De follaje muy llamativo en paisajes secos
36	<i>Sphaeralcea ambigua</i>	Malva del desierto	Malvaceae	NM	De Nevada al noroeste de México	P	A	1.00-1.30	1.00-2.00	B	A	B	C	M	Utilizada para restauración ecológica; tolera la sequía prolongada
HERBÁCEAS															
37	<i>Achillea millefolium</i>	Mil en rama	Asteraceae	Na	Norteamérica	P	A	0.60-1.00	0.40-1.20	B	A	M	C,P	M	Aromática al estrujarse; atrae insectos
38	<i>Ageratum houstonianum</i>	Hierba del zopilote	Asteraceae	NM	Del sur de Arizona a Guatemala	A	A	0.20-0.50	0.20-0.40	B	M	M	P	A	Olor desagradable Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
39	<i>Allium kunthii</i>	Cebolla de monte	Alliaceae	NM	Del sur de los EE. UU. a Honduras	P	B	0.15-0.95	0.25-0.45	B	M	B	C,P	B	Olor penetrante a cebolla Posible sinonimia de <i>Allium glandulosum</i>
40	<i>Alternanthera dentata</i>	Alternatea morada	Amaranthaceae	Co	De México a Sudamérica	P	B	0.30-0.90	0.60-1.20	A	B	B	F	A	Follaje muy colorido; es de hábito cubresuelo; puede adaptarse junto a cuerpos de agua

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo	OTROS Disponibilidad comercial	NOTAS
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			
41	<i>Amaranthus hybridus</i>	Quintonil	Amaranthaceae	Na	Norteamérica	A	A	0.60-1.60	0.25-0.45	B	A	B	C	M	Comestible; presenta muchas variedades
42	<i>Artemisia ludoviciana</i>	Estafiate	Asteraceae	NM	De los EE. UU. a Guatemala	P	B	1.00-1.50	0.30-1.20	B	A	B	C	A	Aromática; presenta muchas variedades
43	<i>Asclepias curassavica</i>	Flor de sangre	Asclepiadaceae	Na	Norteamérica	P	M	0.40-1.20	0.60-1.20	M	B	M	P	A	Tiene un compuesto tóxico del que se alimenta la mariposa monarca (<i>Danaus plexippus</i>)
44	<i>Bidens aurea</i>	Té de milpa	Asteraceae	NM	De Arizona a Guatemala	P	A	0.30-1.50	0.30-1.50	B	B	B	P,F	B	Requiere de mucha humedad; con flores amarillas o blancas
45	<i>Bidens ferulifolia</i>	Verbena amarilla	Asteraceae	NM	Del sur de los EE. UU. a Guatemala	A	A	0.30-0.80	0.40-1.20	B	A	B	C,P	M	Es comercial fuera de México
46	<i>Canna indica</i>	Platanillo	Cannaceae	NM	De México a las Antillas	P	A	0.50-1.50	0.40-0.60	A	B	B	F	A	Muchos colores de flor disponibles; flores vistosas
47	<i>Castilleja tenuiflora</i>	Cola de borrego	Scrophulariaceae	NM	Del sur de los EE. UU. a México	P	A	0.30-1.00	0.40-1.00	B	A	B	C,P	B	Atrae insectos benéficos
48	<i>Cedronella mexicana</i>	Toronjil de monte	Lamiaceae	NM	De México a Guatemala	P	A	0.90-2.00	0.40-1.00	A	A	B	C,P	A	Aromática; flores en color rojo, rosa, violeta o blanco. Sinonimia de <i>Agastache mexicana</i>
49	<i>Chrysactinia mexicana</i>	Damianita	Asteraceae	NM	México	P	A	0.30-1.00	0.50-1.20	M	A	B	C	M	Aromática; ofrece refugio para la vida silvestre; comercial fuera de México
50	<i>Commelina pallida</i>	Hierba de pollo	Commelinaceae	NM	De México al Salvador	P	M	0.40-0.80	0.20-0.50	B	M	M	P	B	Ocasionalmente utilizada como forraje
51	<i>Coreopsis lanceolata</i>	Coreopsis	Asteraceae	Na	Norteamérica	P	A	0.30-0.70	0.30-0.60	M	A	B	C,P	M	Atrae mariposas e insectos benéficos; tiende a esparcirse
52	<i>Cosmos bipinnatus</i>	Mirasol	Asteraceae	Ce	Del suroeste de los EE. UU. a Costa Rica	A	A	0.60-1.40	0.40-0.70	M	M	B	C,P	M	Las características varían con la especie; varios colores de flor disponibles; tiende a esparcirse
53	<i>Dahlia coccinea</i>	Dalia roja	Asteraceae	NM	De México a Guatemala	A	M	1.00-1.50	0.40-0.90	B	M	B	P	A	Tonalidades de flor que van del naranja al rojo
54	<i>Dahlia merckii</i>	Dalia	Asteraceae	NM	México	A	M	0.40-2.00	0.40-0.70	B	A	B	C,P	A	Tonalidades de flor que van del rosa pálido al blanco

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			OTROS	NOTAS	
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo
HERBÁCEAS (continuación)															
55	<i>Dahlia variabilis</i>	Dalia	Asteraceae	NM	México	A	A	0.30-0.50	0.25-0.40	M	M	B	P	A	Es la dalia más comercial debido a su capacidad de adaptación; flores en diversos colores
56	<i>Dichondra repens</i>	Oreja de ratón	Convolvulaceae	Co	Del suroeste de los EE. UU. a Sudamérica	P	N/A	0.05-0.10	0.30-1.00	M	B	M	P,F	A	Es de hábito cubresuelo, tapizante
57	<i>Echinacea purpurea</i>	Equinacea	Asteraceae	Na	Norteamérica	P	A	0.60-0.90	0.40-0.90	M	A	B	C,P	B	A pesar de tener uso medicinal difundido, es de escaso cultivo ornamental en México
58	<i>Eriogonum umbellatum</i>	Uvas de playa	Polygonaceae	Na	Norteamérica	P	A	0.20-0.40	0.30-0.80	M	A	B	C,P	M	Muchas variedades, las características varían de acuerdo a cada una
59	<i>Escholtzia californica</i>	Amapola de California	Papaveraceae	NM	De California a Baja California	A,P	A	0.30-0.60	0.30-0.90	B	A	B	C	M	Se esparce con facilidad; flores amarillas o naranjas; como ornamental se comporta anual
60	<i>Eustoma grandiflorum</i>	Lisianthus	Gentianaceae	NM	De Texas al norte de México	A	A	0.30-0.50	0.20-0.30	B	M	M	P	M	Las variedades comerciales tienen tonalidades moradas, lilas, rosas pálido, crema y blanco
61	<i>Gaillardia pulchella</i>	Manta de indio	Asteraceae	NM	Del sur de los EE. UU. al norte de México	A,P	A	0.30-0.70	0.30-0.50	B	A	B	P	M	Atrae insectos benéficos
62	<i>Glandularia bipinnatifida</i>	Alfombrilla	Verbenaceae	Na	De Nevada a Guatemala	A,P	A	0.10-0.40	0.30-0.90	B	A	B	C	B	Atrae mariposas Sinonimia de <i>Verbena bipinnatifida</i>
63	<i>Heterocentron elegans</i>	Turinga	Melastomataceae	NM	México, Guatemala y Honduras	A,P	A	0.10-0.30	0.40-1.00	B	M	B	P	B	Es de hábito cubresuelo
64	<i>Ipomoea batatas</i> 'Black'	Ipomea negra	Convolvulaceae	Ce	De México a Colombia	P	N/A C	0.15-0.50	0.60-1.20	M	M	B	P	A	Es de hábito cubresuelo Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
65	<i>Ipomoea batatas</i> 'Chartreuse'	Ipomea limón	Convolvulaceae	Ce	De México a Colombia	P	N/A C	0.15-0.35	0.90-1.20	M	M	B	P,F	A	Es de hábito cubresuelo Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
66	<i>Ipomoea batatas</i> 'Tricolor'	Ipomea tricolor	Convolvulaceae	Ce	De México a Colombia	P	N/A C	0.20-0.40	0.50-1.00	M	M	B	P	A	Es de hábito cubresuelo Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
67	<i>Ipomea stans</i>	Tumbavaqueros	Convolvulaceae	NM	México	P	M	0.40-0.70	0.50-1.20	B	A	M	C,P	M	Es de hábito enredadera Uso recomendado en la NADF-006-RNAT-2012
68	<i>Linum lewisii</i>	Lino enano	Linaceae	Na	De Alaska a Baja California	P	A	0.50-0.80	0.60-1.10	M	A	B	C,P	M	Suele esparcirse con rapidez; atrae mariposas

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			OTROS	NOTAS	
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo
HERBÁCEAS (continuación)															
69	<i>Lobelia speciosa</i>	Flor cardinal	Campanulaceae	NM	México	P	A	0.60-1.20	0.30-0.60	M	M	M	P	A	Atrae mariposas y colibríes
70	<i>Lopezia racemosa</i>	Perilla	Onagraceae	NM	De México al Salvador	A,P	B	0.60-1.50	0.70-1.00	B	M	B	P	B	A veces utilizada como forraje porcino Sinonimia de <i>Lopezia mexicana</i>
71	<i>Milla biflora</i>	Flor de San Juan	Alliaceae	NM	Del sur de los EE. UU. a Guatemala	P	A	0.20-0.80	0.20-0.40	B	M	M	P	B	Es aromática
72	<i>Mirabilis longiflora</i>	Maravilla	Nyctaginaceae	Na	Norteamérica	P	A	0.50-1.50	0.50-1.00	B	A	B	C	B	Es aromática; atrae colibríes
73	<i>Monarda fistulosa</i>	Bergamota	Lamiaceae	Na	Norteamérica	P	A	0.50-0.80	0.40-0.60	B	M	M	C,P	A	Es aromática; atrae insectos benéficos
74	<i>Oenothera speciosa</i>	Primavera rosa	Onagraceae	NM	Del sur de los EE. UU. al noroeste de México	P	A	0.10-0.30	0.30-0.90	M	M	B	P,F	M	Se esparce con facilidad; con flores en tonos blancos y rosa pálido
75	<i>Penstemon gentianoides</i>	Jarritos	Scrophulariaceae	NM	México	P	A	0.90-1.50	0.30-0.60	B	M	B	P	B	Las flores tienen tonalidades lilas, moradas y azules
76	<i>Penstemon roseus</i>	Jarritos	Scrophulariaceae	NM	México	P	A	0.80-1.20	0.20-0.30	B	M	B	P	B	Las flores son de tonalidades rojas
77	<i>Peperomia obtusifolia</i>	Peperonia verde	Piperaceae	Ce	De México a Colombia	P	B C	0.15-0.40	0.20-0.40	A	M	M	P,F	A	No es común que las variedades comerciales presenten flor
78	<i>Peperomia obtusifolia</i> 'Variegata'	Peperonia variegata	Piperaceae	Ce	De México a Colombia	P	B C	0.25-0.50	0.30-0.70	A	M	M	P,F	A	No es común que las variedades comerciales presenten flor
79	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Phacelia	Boraginaceae	NM	De California al norte de México	A	A	0.60-1.00	0.15-0.30	B	B	B	P	M	Atrae mariposas e insectos benéficos; es utilizada como alimento de abejas
80	<i>Polianthes tuberosa</i>	Nardo	Amaryllidaceae	NM*	De México a Sudamérica	A	A	0.60-1.00	0.20-0.50	B	B	B	P,F	A	Es aromática; *si bien la especie está ampliamente distribuida en el continente, se considera nativa mexicana
81	<i>Portulaca pilosa f. mexicana</i>	Portulaca mexicana	Portulacaceae	NM	México	A	M	0.10-0.30	0.20-0.60	M	A	M	C,P	M	Existen variedades que son más comerciales, dejando a la variedad mexicana rezagada
82	<i>Portulaca umbraticola</i>	Portulaca	Portulacaceae	Co	Desde el sur de los EE. UU. a Sudamérica	A	A	0.10-0.35	0.40-0.90	M	A	M	C,P	A	Se esparce con rapidez; floración de diversos colores; existen múltiples variedades

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo	OTROS Disponibilidad comercial	NOTAS
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Annual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			
83	<i>Romneya coulteri</i>	Árbol de las amapolas	Papaveraceae	NM	De California a Baja California	P	A	0.60-1.80	0.60-2.00	B	A	B	C	M	Posee vistosas y grandes flores blancas; es aromática
84	<i>Rudbeckia hirta</i>	Rudbeckia	Asteraceae	Na	Norteamérica	P	A	0.60-1.20	0.60-1.00	M	M	B	P	M	Existen diversas variedades; atrae mariposas
85	<i>Ruellia brittoniana</i> 'Compacta'	Petunia mexicana	Acanthaceae	NM	México	P	M	0.15-0.30	0.20-0.40	A	M	M	C,P,F	A	Atrae mariposas; flores rosas y lilas; existe una variedad que no es compacta y que alcanza hasta 1.00 m de altura
86	<i>Silene laciniata</i>	Clavel del monte	Caryophyllaceae	NM	Del suroeste de los EE. UU. a México	P	A	0.60-1.00	0.50-0.80	M	M	M	P	B	La flor tiene una forma muy característica que la distingue de otras especies
87	<i>Sprekelia formosissima</i>	Lirio azteca	Amaryllidaceae	NM	De México a Guatemala	P	M	0.40-0.60	0.20-0.35	B	M	M	P	A	Existen variedades mejoradas. Es mayor su cultivo como ornamental fuera de México
88	<i>Stachys coccinea</i>	Mirto	Lamiaceae	NM	Del sur de los EE. UU. a Nicaragua	P	A	0.90-1.20	1.00-1.50	B	A	B	C,P	M	Atrae colibrís
89	<i>Tagetes lucida</i>	Pericón	Asteraceae	NM	De México a Guatemala	P	A	0.60-0.90	0.50-0.80	M	M	B	P	A	Es aromática; es de rápido crecimiento
90	<i>Tetranema roseum</i>	Violeta mexicana	Scrophulariaceae	NM	México	P	B	0.15-0.30	0.25-0.40	A	B	A	P,F	M	A pesar de ser una especie mexicana, es cultivada como ornamental fuera del país
91	<i>Tigridia pavonia</i>	Flor de tigre	Iridaceae	NM	México	A	M	0.40-0.70	0.20-0.45	M	M	M	P	A	Tiene muchos colores de flor disponibles; existen diversas variedades
92	<i>Tithonia rotundifolia</i>	Achual	Asteraceae	NM	Del suroeste de los EE. UU. a México	A	M	1.00-2.20	0.90-2.00	M	A	M	P	M	Existen variedades mejoradas
93	<i>Tradescantia bermudensis</i> 'Variegata Pink'	Rhoeo variegada rosa	Commelinaceae	Ce	Del sur de México a Centroamérica	P	N/A C	0.30-0.45	0.45-0.60	A	A	M	P,F	A	Es una variedad variegada rosa
94	<i>Tradescantia pallida</i> 'Purpurea'	Niña en barco	Commelinaceae	En	De Tamaulipas a Yucatán	P	B	0.15-0.40	0.60-1.00	A	A	M	P,F	A	Es una variedad con hojas moradas; es la variedad de <i>tradescantia</i> más conocida
95	<i>Tradescantia sillamontana</i>	Tradescantia lanosa	Commelinaceae	En	Noreste de México	P	B	0.15-0.25	0.30-0.70	M	A	B	C,P	A	Es una variedad con hojas verdes lanosas
96	<i>Tradescantia spathacea</i>	Rhoeo grande	Commelinaceae	Ce	Del sur de México a Centroamérica	P	N/A C	0.20-0.30	0.30-0.40	A	A	M	P,F	A	Es una variedad con el haz verde y el envés púrpura

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			OTROS	NOTAS	
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo
HERBÁCEAS (continuación)															
97	<i>Tradescantia spathacea</i> 'Sitara Gold'	Rhoeo dorado	Commelinaceae	Ce	Del sur de México a Centroamérica	P	N/A C	0.25-0.45	0.30-0.60	A	A	M	P,F	A	Es una variedad dorada
98	<i>Tradescantia spathacea</i> 'Variegata'	Rhoeo tricolor	Commelinaceae	Ce	Del sur de México a Centroamérica	P	N/A C	0.20-0.40	0.30-0.50	A	A	M	P,F	A	Es una variedad variegada tricolor
99	<i>Tradescantia zebrina</i>	Zebrina	Commelinaceae	En	De Tabasco a Chiapas	P	B	0.15-0.45	0.60-1.00	A	A	M	C,P,F	A	Es una variedad variegada tricolor; es la <i>tradescantia</i> más adaptada al medio urbano
100	<i>Zephyranthes fosteri</i>	Queiebraplatos	Amaryllidaceae	En	De San Luis Potosí a Oaxaca	P	A	0.05-0.45	0.05-0.25	B	M	B	C	B	Presenta flores en color blanco o rosa pálido
101	<i>Zinnia elegans</i>	Zinnia	Asteraceae	NM	México	A,P	A	0.25-0.50	0.20-0.35	B	M	B	P	A	Las características varían con la especie; varios colores de flor disponibles

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

NÚMERO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA	ORÍGEN		FLORACIÓN		DIMENSIONES		TOLERANCIA			Localización C=Cresta, P=Pendiente, F=Fondo	OTROS Disponibilidad comercial	NOTAS
				Status Nativo Co=Continental, Na=Norteamérica, NM=Nativo Mexicano, En=Endémico Ce=Centroamérica	Distribución	Foliación A=Anual, P=Perenne, C=Caducifolia	Densidad de floración	Altura (m)	Ancho (m)	Tolerancia a la saturación prolongada	Tolerancia a la sequía	Tolerancia a la sombra			
GRAMÍNEAS															
102	<i>Calamagrostis toluensis</i>	Paja blanca	Poaceae	NM	México	P	N/A	0.20-0.60	0.20-0.70	M	A	B	C,P,F	B	Ocasionalmente utilizada como forraje ganadero
103	<i>Festuca toluensis</i>	Zacate	Poaceae	NM	México	P	N/A	0.50-1.30	0.50-1.00	M	A	B	C,P,F	B	Ocasionalmente utilizada como forraje ganadero
104	<i>Muhlenbergia capillaris</i>	Pasto rosa	Poaceae	NM	De Florida a Tamaulipas	P	A	0.60-1.50	0.80-1.20	M	A	B	C,P,F	A	Coloración rosa en el paisaje; excelente tolerancia a la sal y a suelos pobres
105	<i>Muhlenbergia macroura</i>	Zacatón	Poaceae	Na	Norteamérica	P	N/A	0.60-1.20	0.80-1.20	M	A	B	C,P,F	B	Su coloración cambia de verde a amarillo dependiendo del agua que le sea proporcionada
106	<i>Nassella tenuissima</i>	Hierba de plumas	Poaceae	NM	De Texas al centro de México	P	N/A	0.60-0.90	0.40-0.90	B	A	B	C,P,F	M	Cambia su coloración; presenta espigas durante el verano. Sinonimia de <i>Stipa tenuissima</i>
107	<i>Sporobolus airoides</i>	Zacate de agua	Poaceae	NM	Del oeste de los EE. UU. a México central	P	N/A	1.00-1.50	1.20-1.50	M	A	B	C,P,F	B	Presenta espiguillas en forma de plumas
INUNDABLES															
108	<i>Eleocharis macrostachya</i>	Espiga pálida	Cyperaceae	Na	Norteamérica	P	N/A	0.60-1.10	0.20-0.40	A	B	B	F	B	Desarrolla densas raíces subacuáticas
109	<i>Equisetum hyemale</i>	Cola de caballo	Equisetaceae	Na	De los EE. UU. a Guatemala	P	N/A	0.90-1.60	0.15-0.30	A	M	B	F	A	Crece natural junto a zanjas, desagües o cañadas
110	<i>Polygonum hydropiperoides</i>	Poligonium	Polygonaceae	Na	Norteamérica	P	B	0.50-1.50	0.25-1.00	A	B	M	F	B	Inundable; florece en tonalidades blancas o rosadas

(Continúa) Tabla 5.4 Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

5.7 IMPLEMENTACIÓN

Una vez que se tuvieron las propuestas de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* se procedió a elaborar los lineamientos que deberían de seguirse para diseñar y en su caso implementar los jardines de lluvia en la realidad construida de Azcapotzalco.

Se consideró un *Plan de conservación y mantenimiento* en el que se definen los lineamientos para mantener en correcto estado funcional y fitosanitario cada uno de los modelos, así como un *Calendario de mantenimiento* dividido por partidas, sugerido para aplicarse anualmente; también se proponen las acciones para conseguir su implementación, siguiendo una adaptación a cada *Sitio con Potencial para Implementación* (SPI) y obedeciendo la normativa pertinente vigente.

Lo anterior, con la finalidad de plantear las bases para su implementación, teniendo como objetivo de la presente tesis, el desarrollo de propuestas que puedan ser aplicadas en una escala urbana y arquitectónica real en el entorno de Azcapotzalco.

5.7.1 Lineamientos para el diseño e implementación

En los *Lineamientos para el diseño e implementación*, se definen las características que deben cumplir los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* desde una etapa de análisis de sitio, orientando su construcción, y hasta llegar a su implementación; que deberán ser consideradas y adaptadas a las particularidades de cada *Sitio con Potencial para Implementación* (SPI).

Los *Lineamientos para el diseño e implementación* fueron divididos en aquellos que son generales y 6 categorías específicas de ubicación, espaciales, de vegetación, de construcción, de materiales y de accesibilidad para los Modelos A1-A2 y Modelos B1-B2.

5.7.1.1 Generales

- 1) Para la instalación de un JLI, se deberá considerar la intención paisajística de cada proyecto.
- 2) Antes de construir un JLI, será necesario realizar una identificación visual del sitio, para detectar posibles redes de infraestructura que pudieran resultar afectadas con la instalación; en la medida de lo posible, se solicitará al ayuntamiento los planos del espacio público a tratar, o en su defecto, a la constructora, desarrolladora inmobiliaria o particular.
- 3) Ubicar los JLI suficientemente alejados de cualquier red de infraestructura como se especifica en el lineamiento anterior.

- 4) Ubicar los JLI en espacios libres en banquetas donde no obstruyan la visibilidad peatonal y vehicular, asegurando la permeabilidad visual.
- 5) Permitir una circulación libre continua en todo el espacio, al menos 1.50 metros en el sentido transversal.
- 6) Posibilitar el desplazamiento de elementos de apoyo para la movilidad peatonal, como sillas de ruedas, muletas, andaderas, carriolas y otros.
- 7) Proponer la instalación de los JLI, de preferencia en banquetas o ubicaciones que tengan una orientación este/sureste para garantizar la incidencia solar de 6 horas diarias mínimo y durante la estación invernal.

5.7.1.2 Modelos A1 y A2

1) DE UBICACIÓN

- 1.1) Ubicar los JLI a más de 100 metros de distancia de establecimientos en donde se lleve a cabo alguna actividad riesgosa como gasolineras, gaseras, estaciones de autoconsumo, entre otros.
- 1.2) Ubicar los JLI al menos a 1.50 metros de distancia de cualquier edificio o construcción, para evitar posibles daños a la cimentación o interferencia con instalaciones subterráneas.
- 1.3) Ubicar los JLI al menos a 1.50 metros de distancia de infraestructura urbana como tuberías de drenaje, redes de cableado aéreo o subterráneo, tuberías o tomas de agua potable, tuberías de gas natural, gasoductos, líneas telefónicas u otros, para evitar posibles afectaciones.
- 1.4) Ubicar los JLI al menos a 2.00 metros de distancia de paradas de autobús, rampas de accesibilidad, cruces peatonales o esquinas, de tal manera que no interrumpan zonas de circulación y accesibilidad.
- 1.5) Ubicar los JLI al menos a 1.00 metro de distancia de mobiliario urbano como bancas, teléfonos públicos, botes de basura, luminarias, señalamientos, u otros, con la finalidad de permitir su libre acceso, visibilidad y evitar posibles daños a los mismos.
- 1.6) Cuando se ubiquen JLI cerca de árboles o arbustos con alturas mayores a 5.00 metros, dejar un área libre horizontal sin construcción correspondiente al tamaño de la copa del árbol o arbusto en proyección.
- 1.7) Ubicar los JLI cerca de alcantarillas o bocas de tormenta para poder derivar el escurrimiento pluvial, evitando que se canalice todo hacia los sistemas de drenaje convencional.
- 1.8) En caso de construir dos JLI de tipología A1, éstos deberán instalarse a una distancia mayor de 1.50 metros entre cada uno.

2) ESPACIALES

2.1) Considerar la instalación de los JLI en banquetas cuya *Franja de circulación* sea igual o mayor a 1.50 metros y la *Franja de equipamiento* corresponda a 1.00 metro para el Modelo A1 y 1.80 metros para el Modelo A2. (**Fig. 5.8**)

3) DE VEGETACIÓN

3.1) Para el Modelo A1 el número máximo de hidrozonas será de 2, permitiendo seleccionar hasta 3 especies herbáceas o cubresuelos.

3.2) Para el Modelo A2 el número máximo de hidrozonas será de 3, permitiendo seleccionar hasta 4 especies arbóreas, arbustivas, herbáceas o cubresuelos.

3.3) Evitar el uso de herbáceas y cubresuelos con altura superior a los 0.60 metros desde el nivel de banqueta.

3.4) La selección de la paleta vegetal deberá estar basada en las necesidades de cada sitio, siendo elegida a partir de la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*.

4) DE CONSTRUCCIÓN

4.1) Al retirar el pavimento existente en banquetas, deberá realizarse con la mayor atención y cuidado para evitar el desprendimiento de áreas excesivas.

4.2) En caso de contar con áreas descubiertas de pavimento posterior a la implementación de un JLI, serán cubiertas con losetas de materiales preferentemente pétreos cuyo acabado deberá ser firme, uniforme, antideslizante y de materiales de alta resistencia al tránsito y a la intemperie.

4.3) El corte de las guarniciones en banquetas será a 90°, dejando superficies prolijas para permitir la instalación de las rejillas (A) (**Fig. 5.9**).

4.4) Instalar rejillas de plástico reforzado con fibra de vidrio en las *Entradas del escurrimiento pluvial* (B) (**Fig. 5.9**).

4.5) La guarnición (G) tendrá una altura constante de 0.20 m para evitar el paso del peatón hacia el JLI en el Modelo A2 (**Fig. 5.10**).

4.6) Se construirá una cuneta con pendiente de 2% desde el arroyo vehicular para la canalización de los escurrimientos pluviales hacia los JLI (E) (**Fig. 5.10**).

4.7) Se deberán disponer los materiales sobrantes de la construcción conforme a lo establecido en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004, la cual establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal.

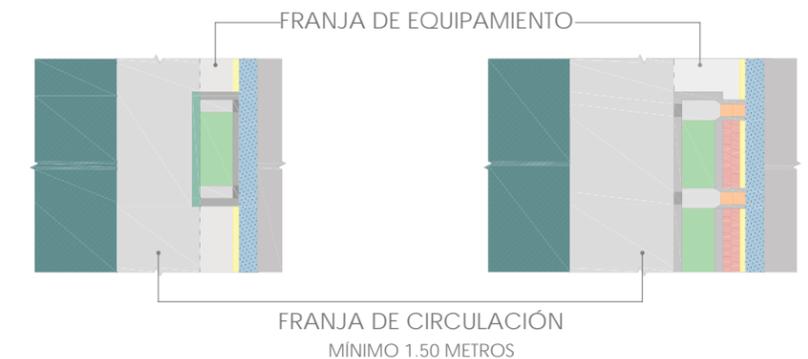


Figura 5.8 Franja de equipamiento y Franja de circulación en el Modelo A1 y Modelo A2. Se permitirá una circulación libre de 1.50 metros. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

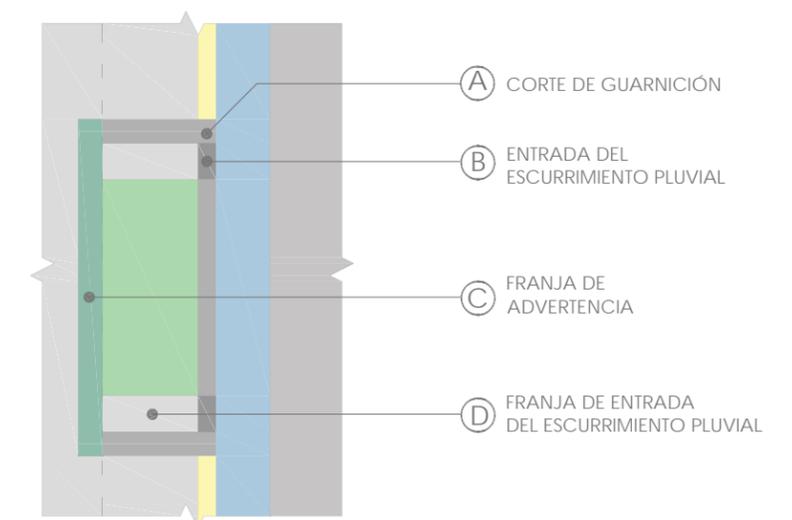


Figura 5.9 Modelo A1. Elementos a considerar en los lineamientos para el diseño e implementación. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

5) DE MATERIALES

- 5.1) Se deberá considerar el mejoramiento de la tierra vegetal con tezontle, arena de tezontle, tierra mejorada con materia orgánica u otros agregados, previo a la instalación de un JLI.
- 5.2) Considerar la aplicación de una capa de *mulch* de 3 a 5 cm.
- 5.3) Utilizar piedra bola de río en las *Franjas de entrada del escurrimiento pluvial* (D) (**Fig. 5.9**).
- 5.4) Utilizar resina epóxica exotérmica resistente a la alta fricción para delimitar la *Franja de advertencia* (C) (**Fig. 5.9**) la cual deberá ser de tonalidades turquesa (**Fig. 5.11**) y con espesor de 0.20 m.
- 5.5) Se dará preferencia por colocar materiales pétreos antideslizantes y permeables en la *Zona de transición hacia el arroyo vehicular* (F) (**Fig. 5.10**), las dimensiones de cada pieza serán de 0.20 x 0.20 m, debido a la modulación.
- 5.6) Se colocará loseta rejilla en las *Entradas del escurrimiento pluvial* (H) (**Fig. 5.10**), las dimensiones de cada pieza serán de 0.30 x 0.30 m, debido a la modulación.
- 5.7) En la proporción que sea posible, los materiales deberán ser ecológicos y reciclables.

6) DE ACCESIBILIDAD

- 6.1) Reubicar elementos que sean un obstáculo para la accesibilidad posterior a la instalación de un JLI, tales como mobiliario urbano, teléfonos públicos u otros.

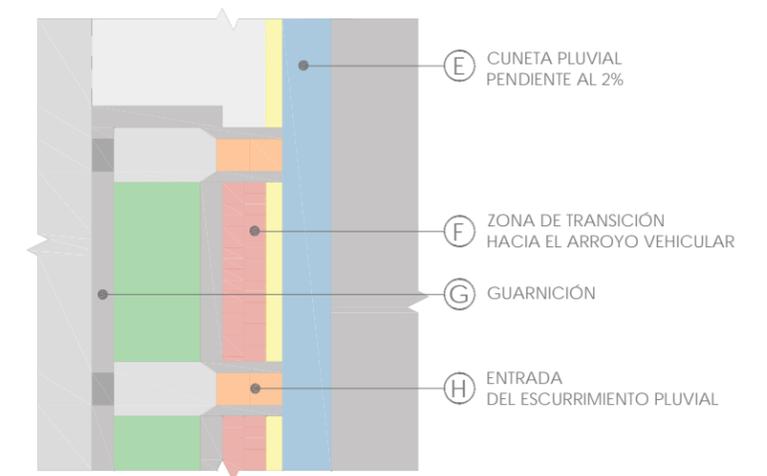


Figura 5.10 Modelo A2. Elementos a considerar en los lineamientos para el diseño e implementación. Fuente: Casandra Badillo, 2015.



Figura 5.11 Tonalidades turquesa sugeridas para aplicar en la *Franja de advertencia*. Fuente: Casandra Badillo, 2015.

5.7.1.3 Modelos B1 y B2

1) DE UBICACIÓN

1.1) Ubicar los JLI cercanos a la bajada pluvial a intervenir, al menos a 1.50 metros de distancia de cualquier construcción para evitar daños a la cimentación.

2) ESPACIALES

2.1) Considerar la instalación de un JLI en áreas libres mayores a 9.00 m² para el Modelo B1 y 25.00 m² para el Modelo B2.

3) DE VEGETACIÓN

3.1) Para el Modelo B1 el número máximo de hidrozonas será de 2, permitiendo seleccionar hasta 4 especies herbáceas o cubresuelos.

3.2) Para el Modelo B2 el número máximo de hidrozonas será de 4, permitiendo seleccionar hasta 6 especies herbáceas o cubresuelos.

3.3) En el Modelo B1, debido a la vocación del espacio de recrear/almacenar, la vegetación estará enfocada en la creación de espacios de disfrute para los propietarios.

3.4) En el Modelo B2, debido a la vocación del espacio de recrear/acceder, la vegetación estará enfocada en dirigir las circulaciones peatonales hacia los edificios y para la creación de espacios recreativos para el uso de los vecinos.

3.5) En el Modelo B2 se permitirá vegetación perimetral siempre que no genere una barrera visual.

3.6) La selección de la paleta vegetal deberá estar basada en las necesidades de cada sitio, siendo elegida a partir de la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*.

4) DE CONSTRUCCIÓN

4.1) Al retirar el pavimento existente, deberá realizarse con la mayor atención y cuidado para evitar el desprendimiento de áreas excesivas.

4.2) En caso de contar con áreas descubiertas de pavimento posterior a la implementación de un JLI, serán cubiertas con piedras o gravas decorativas para el Modelo B1 y losetas de materiales preferentemente pétreos cuyo acabado deberá ser firme, uniforme, antideslizante y de materiales de alta resistencia al tránsito y a la intemperie para el Modelo B2.

4.3) Se deberán disponer los materiales sobrantes de la construcción conforme a lo establecido en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004, la cual establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal.

5) DE MATERIALES

5.1) Se deberá considerar el mejoramiento de la tierra vegetal con tezontle, arena de tezontle, tierra mejorada con materia orgánica u otros agregados, previo a la instalación de un JLI.

5.2) Considerar la aplicación de una capa de *mulch* de 3 a 5 cm.

5.3) Se sugiere para las partes pétreas de los proyectos se utilice piedra bola de río.

5.4) En la proporción que sea posible, los materiales deberán ser ecológicos y reciclables.

6) DE ACCESIBILIDAD

6.1) En caso de que el proyecto involucre diferencias de niveles, colocar rampas de materiales prefabricados o elaboradas *in situ*, con acabado antideslizante y cuyo pretil perimetral sobresalga 5 cm del nivel de suelo.

6.2) Permitir la libre circulación de personas en todo el espacio (ancho libre mínimo de 1.50 metros).

6.3) Respetar los accesos peatonales y accesos a los estacionamientos, así como la circulación en el interior de los proyectos.

5.7.2 Plan de conservación y mantenimiento

El mantenimiento, definido como las acciones concretas y necesarias para prevenir y corregir deterioros o fallas en el espacio público,⁸⁵ es fundamental para mantener el buen estado, así como para garantizar el correcto funcionamiento y la realización de las actividades que se generen en los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* una vez implementados.

Para lo anterior se proponen *Lineamientos de conservación* cuya finalidad es marcar las pautas de conservación mínimas requeridas que deberán otorgárseles a los JLI con la finalidad de mantenerlos en un estado óptimo de conservación.

Así mismo, se propone un *Calendario de mantenimiento* sugerido para realizarse anualmente (**Tabla 5.5**), el cual incluye un programa general, un programa anual, un programa preventivo, y en caso de existir alguna falla avanzada, un programa correctivo.

Es importante mencionar que aunque los *Lineamientos de conservación* y el *Calendario de mantenimiento* tienen un enfoque orientado a los Modelos A1 y A2, proponen las pautas generales para mantener en correcto estado funcional y fitosanitario cualquier jardín de lluvia.

5.7.2.1 Lineamientos de conservación

- 1) Se restituirán las especies o ejemplares que no cumplan con las características mínimas de calidad establecidas.
- 2) Se realizará una descompactación del suelo y deshierbe periódicamente.
- 3) Se realizará la aplicación de materia de origen orgánico y acolchado (*mulch*) con la finalidad de proteger el suelo y evitar la aparición de vegetación esporádica.
- 4) Se efectuará un manejo integral de plagas y enfermedades, de preferencia mediante productos orgánicos y naturales.
- 5) Se realizará un programa de poda, derribo y restitución de árboles y arbustos en mal estado fitosanitario.
- 6) La poda, derribo y restitución de árboles y arbustos deberá cumplir con las normas ambientales aplicables.
- 7) Los residuos orgánicos e inorgánicos serán manejados conforme a lo establecido en la ley.
- 8) Al ser jardines que aprovechan el agua pluvial, logran sobrevivir extensos periodos unicamente con esta, sin embargo, requieren de un riego periódico que será más frecuente durante los primeros dos años de vida del JLI en lo que alcanza a desarrollar su sistema radicular y durante la temporada de estiaje anual.

- 9) El riego deberá efectuarse de acuerdo a las siguientes recomendaciones:
- 9.1) El riego se realizará preferentemente entre las 17:00 y las 10:00 horas del día siguiente.
 - 9.2) Al tratarse de un sistema que sobrevive con un riego artificial mínimo, el riego deberá realizarse conforme al calendario de mantenimiento, considerando las condiciones climáticas y de la propia vegetación.
 - 9.3) El riego se realizará en forma de aspersión manual.
- 10) La fertilización deberá considerar preferentemente productos de origen orgánico y deberá realizarse durante la etapa de crecimiento activo de la vegetación.
- 11) El manejo integral de plagas y enfermedades deberá cumplir con:
- 11.1) Caracterización y diagnóstico.
 - 11.2) Estrategia de manejo.
 - 11.3) Métodos de control.
 - 11.4) Antes de aplicar cualquier control químico para el mantenimiento de plagas o enfermedades, deberá considerarse como primera opción la utilización de métodos de **control biológico** o productos de control natural.
 - 11.5) En caso de no lograr el control de plagas mediante métodos de control biológico o productos de control natural, se recurrirá a insecticidas orgánicos, los cuales deberán prepararse bajo la supervisión de personal especializado y aplicarse periódicamente y en las cantidades justas para notar resultados efectivos.
 - 11.6) En caso de no lograr el control de plagas mediante insecticidas orgánicos, se deberá considerar la aplicación de insecticidas químicos, los cuales se utilizarán en una situación extrema y como último recurso. Se seguirá una estricta aplicación, la cual será registrada en una bitácora que deberá incluir: concentración de dosificación y cantidades totales de las sustancias a utilizar, los métodos, el calendario y horarios de aplicación.
 - 11.7) En los programas de fertilización y control de plagas y enfermedades, sólo se deberán utilizar productos o sustancias que cumplan con las normas ambientales pertinentes y deberán ser aplicados por personal altamente calificado.
- 12) No se deberán encalar o pintar los árboles o arbustos, ni por motivo de un supuesto realce “estético”.
- 13) No se deberán **aporcar** los árboles o arbustos.

⁸⁵ Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo, (2012).

5.7.2.2 Calendario de mantenimiento

CALENDARIO DE TRABAJO A REALIZAR EN LOS JARDINES DE LLUVIA DE AZCAPOTZALCO-2016																									
UBICACIÓN: BANQUETA LATERAL DE LA UAM-AZCAPOTZALCO COLONIA: REYNOSA TAMAULIPAS DIRECCIÓN: AV. SAN PABLO N° 180																		ADMINISTRACIÓN 2015-2018							
																		NÚMERO DE JARDÍN DE LLUVIA: A1-62							
																		SUPERFICIE: 1.90 m ²							
A-PROGRAMA GENERAL																									
N°	CONCEPTO	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
		Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2														
A-1	BARRIDO																								
A-2	LIMPIEZA																								
A-3	DESCOMPACTACIÓN Y DESHIERBE																								
A-4	PODA REGULAR																								
A-5	RETIRO DE PARTES MUERTAS																								
A-6	RETIRO DE HOJAS EN SUELO																								
A-7	REGO ¹																								
A-8	LIMPIEZA DE LAS ENTRADAS DE ESCURRIMIENTO PLUVIAL																								
B-PROGRAMA ANUAL																									
B-1	PLANTACIÓN ²																								
B-2	COLECTA DE EJEMPLARES PARA PROPAGACIÓN ³																								
B-3	PODA DE FORMACIÓN																								
B-4	FERTILIZACIÓN																								
B-5	APLICACIÓN DE MULCH																								
B-6	LIMPIEZA DE REJILLAS																								
B-7	LIMPIEZA DE PIEDRAS EN FRANJA DE ENTRADA																								
B-8	MANTENIMIENTO DEL MOBILIARIO ADYACENTE																								
C-PROGRAMA PREVENTIVO																									
C-1	PINTAR GUARNICIÓN																								
C-2	INSTALACIÓN DE TUTORES PARA ÁRBOLES Y ARBUSTOS ^N																								
C-3	APLICACIÓN DE INSECTICIDAS ECOLÓGICOS ^N																								
C-4	SELLADO DE FISURAS EN PAVIMENTO ^N																								
D-PROGRAMA CORRECTIVO																									
D-1	APLICACIÓN DE INSECTICIDAS QUÍMICOS ⁴																								
D-2	SUSTITUCIÓN DE EJEMPLARES FALTANTES																								
D-3	SUSTITUCIÓN DE REJILLAS FALTANTES																								
D-4	SUSTITUCIÓN DE PAVIMENTOS FALTANTES O DAÑADOS																								
D-5	DERRIBO DE ÁRBOLES O ARBUSTOS POR MAL ESTADO FITOSANITARIO																								

Tabla 5.5 Calendario de mantenimiento sugerido para los Modelos conceptuales de jardín de lluvia. Fuente: Casandra Badillo, 2016.

DONDE:

- 1 Se recomienda el riego continuo durante los primeros dos años de vida del JLI según las necesidades de la vegetación, después de este periodo, se recomienda riego continuo durante la temporada de estiaje, en meses muy calurosos y cuando la estación de lluvias se haya retrasado.
- 2 Refiere al periodo recomendado para plantar nuevos ejemplares de las especies que así lo requieran.
- 3 Refiere al periodo recomendado para recolectar ejemplares que se hayan reproducido *in situ* y que posean las características necesarias para trasplantarse a otro sitio.
- 4 En caso de que algún tipo de plaga se haya esparcido dentro del jardín de lluvia, se recomienda aplicar métodos de control natural, seguido del uso de insecticidas ecológicos y sustitución de los ejemplares afectados. El uso de insecticidas a base de químicos será la última opción a recurrir.
- N En caso de ser necesario.

Se realizó un *Calendario de mantenimiento* que abarca un programa general, un programa anual, un programa preventivo, y en caso de existir algún daño severo, contempla un programa correctivo.

El *Calendario de mantenimiento* propuesto, considera una cuadrilla de jardinería básica conformada por seis personas, el uso de herramientas comunes y la disposición de pocas horas de trabajo para conservar en óptimas condiciones a los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*.

El *Calendario de mantenimiento* está dividido cronológicamente en quincenas de trabajo, considera al programa general como principal y es regido por la estación pluvial, antes y después de la cual, deberán efectuarse procedimientos clave; en el programa anual se prevén acciones que deberán realizarse trimestral o semestralmente; el programa preventivo propone cuatro acciones que se realizarán cuando haya un daño inicial que pueda ser controlado; el programa correctivo está propuesto en caso de existir daño permanente en alguno de los componentes de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*.

5.7.3 Metodología para la implementación

Se expone una metodología para la implementación que estudia las principales consideraciones en caso de construir los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en Azcapotzalco, la cual ofrece una perspectiva general de los procedimientos básicos que se contemplan desde una etapa posterior al proyecto arquitectónico hasta conseguir la implementación de cada uno en la demarcación.

5.7.3.1 Adaptación al sitio con potencial para implementación

Para implementar los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* como estrategia paisajística para aprovechar el agua pluvial en Azcapotzalco, es necesario adaptar cada uno a las condiciones de cada *Sitio con Potencial para Implementación* (SPI), lo anterior con la finalidad de ofrecer proyectos que logren integrarse con el contexto que los rodea y satisfacer las demandas particulares de cada sitio.

Para ello, se deberán estudiar las características de cada SPI, considerando los siguientes aspectos:

- Volumen de agua a infiltrar.
- Ubicación de las bajadas pluviales.
- Capacidad natural de infiltración del terreno.
- Dimensionamiento y profundidad del jardín de lluvia.
- Diseño de la cubierta vegetada.

5.7.3.2 Cumplimiento de la normativa

Hasta la fecha de revisión de tesis (octubre de 2017) no se encontró normativa alguna que impida el uso de los jardines de lluvia en espacios de tránsito de la vía pública como banquetas y andadores, menos aún en áreas abiertas privadas o comunitarias de Azcapotzalco; si bien debe considerarse el apartado de ubicación de los 5.7.1 *Lineamientos para el diseño e implementación*, descritos con anterioridad, para no recurrir a prácticas que pudieran afectar la infraestructura urbana, se deberán estudiar también los reglamentos y normativa pertinentes para lograr la implementación de los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en Azcapotzalco.

Cuando se realizó la revisión de la normativa vigente, contrario a exhibir restricciones que impidan el uso de los jardines de lluvia, se hallaron numerosos apartados dentro de la misma, así como en programas y manuales oficiales, que subrayan la importancia de cosechar el agua de lluvia y recargar los mantos acuíferos, como prioridades que deben ser consideradas por instituciones gubernamentales y particulares.

Son numerosos los planes y programas en los que se encontraron pautas que hacen referencia al uso del agua pluvial como estrategia para aproximarse a la sustentabilidad hídrica urbana, en dichos programas se incentiva o se obliga al aprovechamiento del agua de lluvia como una realidad presente, por mencionar algunos ejemplos:

En el *Programa General de Desarrollo del Distrito Federal (2007-2012)*; en el *Plan Verde, Programa de gobierno a 15 años (2011)*; el *Programa Sectorial de Medio Ambiente (2007-2012)* y el *Programa Especial del Agua, Visión 20 años (2012)*; las acciones principales que se mencionan en cuestión de la utilización del agua pluvial como estrategia para el mejoramiento ambiental y que se relacionan con los paradigmas abordados en esta tesis son:

- Disminuir significativamente el hundimiento de la ciudad a través del control de la sobreexplotación del acuífero.
- Avanzar sustancialmente en la recarga de los mantos acuíferos, mediante el incremento de pozos de absorción y a través de aguas pluviales.
- Incentivar la recarga artificial de los mantos freáticos con el aprovechamiento del agua de lluvia.
- Construcción de las obras necesarias para complementar la red de drenaje general, orientándolas a evitar inundaciones en la zona urbana durante el período de lluvias.
- Manejo y conducción oportuna del drenaje pluvial.
- Adaptación a los efectos de fenómenos hidrometeorológicos extremos y al cambio climático.
- Mitigar los riesgos de inundaciones y sequía.
- Fomentar el cuidado del agua y una nueva cultura del uso, ahorro y reúso del agua.

Además, en las principales leyes se contempla el aprovechamiento del agua de lluvia:

- El artículo 4 de la *Ley de Aguas del Distrito Federal (2015)* promueve, organiza e incentiva, la cosecha del agua de lluvia en los sectores público, privado, social, ejidos, comunidades, barrios, pueblos y de las y los habitantes del Distrito Federal.
- La *Ley de Aguas del Distrito Federal (2015)* y las *Normas Técnicas Complementarias al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2011)* indican que los sistemas alternativos de captación y aprovechamiento de agua pluvial son obligatorios para desarrollos nuevos mayores a 200 m² desde el 2010, donde se deberá de contar con una red separada de cosecha de agua pluvial, debiéndose utilizar en todos aquellos usos que no requieran agua potable. (LADF, art. 86 Bis I)

Así mismo, los programas que resultan fundamentales para el desarrollo de proyectos a nivel nacional y dentro de la Ciudad de México hacen mención de la importancia de la captación pluvial, como:

- El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) a través del *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (PGIRH) (2012)* impulsa un padrón de cosechadores de agua de lluvia, conformado por dependencias, entidades, organismos, instituciones, organizaciones, entes públicos y sociales, comunidades y pueblos, que implementen proyectos de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Para ello, brinda asesoría técnica a quien así lo solicite e incentivan la ejecución de los *Sistemas de Cosecha de Agua de Lluvia (SCALL)* en los hogares, donde se espera que la cosecha del agua pluvial ayude a disminuir entre 10% y 15% el consumo domiciliario. (PGIRH, 2012) (**Tabla 5.6**) (**Tabla 5.7**)
- En el *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (2012)*, en su visión a 20 años, se hace hincapié del aprovechamiento del recurso agua, incluyendo un apartado en el que hace referencia a una gestión orientada a la cosecha del agua de lluvia con uso de técnicas y mediante la planeación.
- Se ha reformulado el *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004)* que obliga al establecimiento de sistemas pluviales en las unidades habitacionales con pozos de recarga y drenajes separados de las aguas negras.
- En los *Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo (2012)* en el *Capítulo 3-Metodología para la implementación de Parques Públicos de Bolsillo*, inciso 3.1.1.3-*Materiales para superficies*, recomienda en las áreas ajardinadas la incorporación de pequeños pozos de absorción para la infiltración pluvial y para favorecer el crecimiento adecuado de vegetación con raíces profundas.

Es así, como se deja constancia de la importancia de la captación y aprovechamiento del agua de lluvia como una realidad presente en la principal normativa que regula la construcción y gestiona el recurso hídrico a nivel estatal y federal.

ESTRATEGIA	2013	2014	2015	TOTAL
Cosecha de agua de lluvia	115	427	453	2,526*
	2016	2017	2018	
	481	510	540	

Tabla 5.6 Cosecha de agua de lluvia. De acuerdo con el Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, 2012, el Programa de inversión del macroproceso B, invertirá dichas sumas hasta en año 2018. Así, la estrategia resulta un ejemplo de la inversión que se está logrando en metodologías alternativas para aproximarse a la sustentabilidad hídrica de la cuenca.

Fuente: Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años, 2012.

*Cifras en millones de pesos de 2011.

AÑO	Nº DE SISTEMAS ALTERNATIVOS ESTIMADOS	VOLUMEN ESTIMADO DE AGUA PLUVIAL A CAPTAR (m ³ /año)
2012	559	27,452
2013	935	45,918
2014	1,030	50,583
2015	1,135	55,248
2016	1,250	61,388
2017	1,375	67,526
2018	1,500	73,665
TOTAL	7,784	381,780

Tabla 5.7 Proyección de sistemas alternativos de captación pluvial al 2018. Los sistemas alternativos captan o aprovechan agua pluvial en desarrollos mayores a 200 m² desde el 2010, utilizando el agua de lluvia en usos domésticos donde no se requiere la calidad del agua potable.

Fuente: Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Visión 20 años, 2012.

5.7.3.3 Opinión técnica favorable

Una vez que se revisó la normativa vigente y se delimitaron los alcances, se propone la realización de un proyecto arquitectónico, el cual será remitido a las autoridades correspondientes, quienes deberán emitir su opinión técnica (**Tabla 5.8**) y, en caso de ser favorable, se podrá iniciar con la etapa de implementación del jardín de lluvia en cuestión. (**Fig. 5.12**)

DEPENDENCIAS QUE EMITEN OPINIÓN TÉCNICA	INFORMACIÓN A ENTREGAR	ÁREA
SEDUVI	Proyecto arquitectónico	Coordinación General de Desarrollo y Administración Urbana
AEP	Proyecto arquitectónico	Coordinación General
SETRAVI	Proyecto arquitectónico	Dirección General de Planeación y Vialidad
SEDEMA	Proyecto arquitectónico, DCA	Dirección General de Regulación Ambiental
DELEGACIÓN	Proyecto arquitectónico	Desarrollo Urbano / Obras Públicas

Tabla 5.8 Opinión técnica favorable. La tabla informa sobre las dependencias que emiten opinión técnica, la información que requieren y el área que se encarga de emitirla. Fuente: *Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo, 2012.*

5.7.3.4 Desarrollo de nuevas tipologías

En el desarrollo de esta tesis se presentan cuatro propuestas iniciales de *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, las cuales intentan satisfacer la demanda en las cuatro *Áreas con Potencial de Intervención (API)* expuestas, sin embargo, los modelos propuestos podrán ser adaptados y así mismo, podrán surgir nuevos *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* conforme se vislumbren nuevas API o con la aparición de nuevas demandas ambientales, sociales, económicas o paisajistas que exijan la evolución de los ya propuestos o propongan el desarrollo de nuevos modelos.



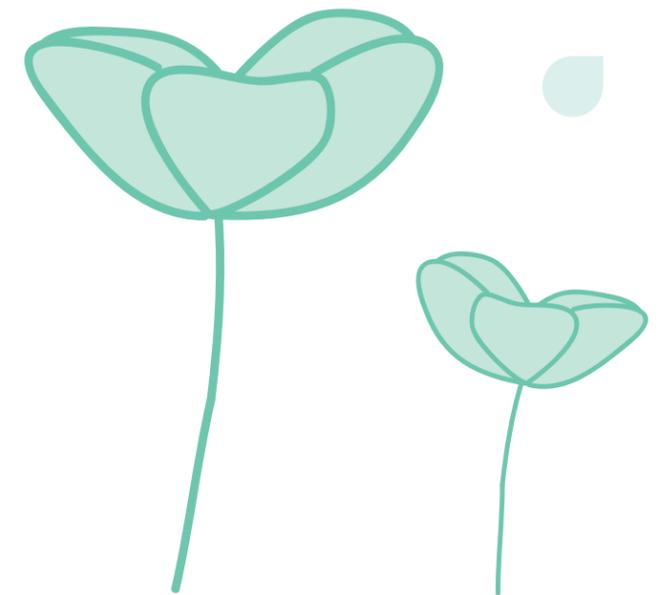
Figura 5.12 Procedimiento sugerido para conseguir la implementación de los jardines de lluvia en Azcapotzalco, el proceso toma como base lo establecido en los Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo, (2012) por ser el ejemplo más cercano a la construcción de proyectos en espacios públicos remanentes de la CDMX. Fuente: *Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo, 2012.*

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

«La lluvia
sólo es un problema
si no te quieres mojar»

PROVERBIO JAPONÉS



6.1 CONCLUSIONES GENERALES

- Los jardines de lluvia son sistemas alternativos de captación, aprovechamiento e infiltración de agua pluvial urbana; son una estrategia que considera pequeñas intervenciones en banquetas, camellones y espacios urbanos subutilizados, con potencial para el desarrollo de vida y aprovechamiento eficiente del agua de lluvia.
- Son una herramienta preventiva para el control de inundaciones al lograr retardar los picos de escorrentía que saturan los sistemas de drenaje convencionales, mitigando con ello el riesgo a padecer inundaciones y, por lo tanto, el daño al bienestar de la población y al entorno físico construido.
- Al aprovechar pequeños espacios residuales y subutilizados en las áreas urbanas, aplicados en escala masiva, logran generar un impacto significativo en el incremento de la calidad ambiental de las áreas urbanizadas.
- Al utilizar especies autóctonas tienen un consumo hídrico más eficiente en comparación con los jardines que emplean especies introducidas: las especies nativas se han adaptado de modo natural al régimen pluviométrico de la región, aprovechando las precipitaciones anuales y reduciendo su consumo de agua en la temporada de estiaje.
- Económicamente son sistemas que resultan menos costosos en comparación con la infraestructura ordinaria, al lograr captar, almacenar y aprovechar el agua pluvial en el mismo sitio donde se empleará; además, por ser próximos a los sistemas naturales, utilizan componentes sencillos que reducen considerablemente sus costos.

En el campo de acción con el que trabaja la arquitectura del paisaje:

- Existe la necesidad de recalificar e integrar el paisaje urbano, con la utilización de los jardines de lluvia como estrategia para dicho fin, se logra no sólo la creación de hermosos paisajes de bajo mantenimiento, sino que se consigue también la revalorización y rescate del espacio público, mejorando la imagen urbana y la percepción del entorno, aumentando por consiguiente, la calidad de vida de los habitantes de las ciudades.
- A través del empleo de ésta estrategia se puede hacer una diferencia en el manejo del agua pluvial de escorrentía urbana, involucrando a la arquitectura del paisaje para ofrecer una nueva perspectiva del aprovechamiento del agua pluvial, promoviendo una cultura de manejo adecuado del agua.
- Si bien tenemos la capacidad de alterar nuestro entorno, también tenemos la capacidad de transformarlo, no podemos revertir el daño causado, pero sí mitigar sus efectos; se debe empezar a entender al paisaje como parte de la infraestructura de las ciudades, aplicando estrategias locales que puedan ofrecer soluciones integrales en un horizonte temporal a largo plazo, logrando generar un impacto positivo en el entorno inmediato.

En una perspectiva presente y futura, los jardines de lluvia:

- No deben entenderse como sustitutos inmediatos de los sistemas tradicionales de drenaje, deben ser estudiados como estrategias complementarias e integradas a las tecnologías y redes convencionales.
- Son estrategias relativamente nuevas comparadas con los sistemas tradicionales de drenaje y control pluvial, por consiguiente, al ser tecnologías emergentes, están en proceso de evolución continua y mejora, originando que la información relativa a su implementación, mantenimiento y evaluación, sea limitada o esté en proceso de valoración.

6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

6.2.1 Capítulo I

- Los problemas que aquejan a la cuenca de México en torno a los sistemas de drenaje, continuarán persistiendo mientras sigan existiendo redes combinadas de aguas negras y pluviales, los habitantes de la ciudad seguirán expuestos a riesgos de inundaciones, saturación del drenaje, contaminación de mantos acuíferos y otros, mientras no se planeen más obras pensadas en la retención y aprovechamiento del agua pluvial urbana dentro de la misma cuenca y menos proyectadas para el desalojo de la misma.
- La lluvia por su parte seguirá manifestándose con su furia anual, por lo que es necesario lograr entenderla como un aliado que puede proveernos de una abundancia hídrica gratuita capaz de ser aprovechada para múltiples usos; es necesario perder el miedo infundado cada vez que inicia la temporada pluvial y comenzar a aprovechar, mediante estrategias masivas, un recurso que no distingue clases sociales y que se manifiesta más de la mitad del año.
- Es necesario recuperar el equilibrio entre el hombre urbano y su entorno natural; depende de los habitantes del presente, fundamentados en las nuevas tecnologías pero considerando los sistemas y principios de la naturaleza, restablecer el equilibrio de la cuenca que habitamos.

6.2.2 Capítulo II

- Azcapotzalco tiene un sistema medio físico-ambiental que resultó idóneo para los fines requeridos de la investigación: tiene las condiciones hidrometeorológicas promedio, la altura promedio, la topografía planimétrica que caracteriza a la región y dos de las clasificaciones climáticas que prevalecen dentro de la misma, por tal motivo, dichas condiciones resultaron acertadas para reflejar el sistema medio físico-ambiental arquetipo de la cuenca de México.
- Azcapotzalco tiene un sistema socio-cultural tipológico caracterizado por la existencia de una importante planta industrial, adicionada a la existencia de uso de suelo habitacional, uso mixto, para equipamiento y suelo destinado para espacios abiertos, presenta además el déficit de áreas verdes característico de la cuenca, por lo que es una necesidad imperante contribuir con pequeños espacios que puedan incrementar el porcentaje de las mismas.
- Azcapotzalco presenta riesgos de origen geomorfológico, hidrometeorológico y sanitario-ecológico que prevalecerán en un futuro y provocarán vulnerabilidad ante los mismos, por lo que se deberán considerar estrategias que ayuden a contrarrestar el hundimiento, las inundaciones, la contaminación de los mantos freáticos y del aire, entre otros.
- Azcapotzalco es una demarcación con potencial para el aprovechamiento del agua pluvial: existe una demanda creciente para implementar fuentes alternativas de agua que puedan ser aprovechadas en usos secundarios, mitigando la demanda de agua potable y contribuyendo en el empleo de un recurso antes no contemplado; así mismo la demarcación presenta parte de la infraestructura requerida para dichos fines.
- Azcapotzalco es una demarcación con un valioso pasado histórico, por lo que para la implementación de los sistemas de aprovechamiento pluvial, se deberá evitar la instalación de los mismos en Áreas de Conservación Patrimonial, en Zonas de Monumentos Históricos, en Zonas Patrimoniales y otros sitios protegidos por la ley.

6.2.3 Capítulo III

En el proceso de diseño del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*:

- Los estudios preliminares demostraron que el *Sitio de estudio* resultó idóneo para el establecimiento del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*, pues cada una de las pruebas realizadas indicó resultados positivos que confirmaron que el tipo de suelo, el pH y porosidad, eran acertados para los fines perseguidos, así también presentó el asoleamiento requerido para que la vegetación pudiera desarrollarse correctamente.
- El dimensionamiento resultó apropiado pues no se rebasó la Lámina de Retención Superficial (LRS) con excepción de aquellos eventos en los que se precipitaron más de 15 mm al día; por lo tanto se puede inferir, que los elementos constitutivos, así como el dimensionamiento en relación con la superficie impermeable de la que captó el escurrimiento, fueron bien calculados incluso cuando la ecuación original, fue simplificada.
- La planeación fue una valiosa herramienta que conllevó a una correcta construcción, la cual fue realizada en tiempo y forma a pesar de la interdependencia entre las etapas y de los atrasos comunes generados en las obras.
- El mantenimiento proporcionado al *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* resultó suficiente a pesar de estar basado en un programa mensual, empleando herramientas sencillas y de fácil acceso, y de haber sido limitado a acciones generales para mantener en óptimas condiciones a la vegetación.

6.2.4 Capítulo IV

En el monitoreo del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A*:

- El estado fitosanitario de las catorce especies fue satisfactorio al no presentar problemas de índole sanitaria o deterioro por agentes patógenos; así también, los daños inducidos antropogénicos fueron contados y el desarrollo y floración se presentaron conforme a lo esperado, mostrando con esto, signos de su buen desempeño.
- La ubicación por hidrozonas de cada una de las especies resultó acertada, pues no mostraron signos de estrés hídrico que demandaran el cambio de ubicación o la reposición del ejemplar.
- El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* logró aprobar el periodo de evaluación con un mínimo Riego Artificial Suministrado (RAS), comprobando el consumo hídrico eficiente de las especies nativas.
- En la evaluación de los tres eventos pluviales de mayor magnitud, se comprobó la eficiencia del dispositivo como sistema de infiltración de agua pluvial, donde en el máximo evento registrado se logró infiltrar un volumen de agua pluvial precipitado equivalente a 1,517 litros en un tiempo de 120 minutos, comprobando su desempeño hidráulico como alternativa en el manejo de aguas pluviales urbanas.
- El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* fue sometido a las condiciones hidrometeorológicas reales a las cuales estaría expuesto en caso de que su replicación ocurriera de forma extensiva, por tal motivo, su funcionamiento se aproxima al que tendría en una realidad urbana, logrando una evidencia demostrativa que valida el empleo de materiales y soluciones constructivas ya disponibles, las cuales son además de bajo costo y de fácil acceso para la mayor parte de la población, introduciendo en México una estrategia paisajística innovadora para el manejo de las aguas pluviales urbanas, la cual está lista para ser extrapolada a la realidad construida de Azcapotzalco y poder contribuir así en la mitigación de los efectos de la urbanización en el ciclo hidrológico, restaurando los ecosistemas construidos.

6.2.5 Capítulo V

- Los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* están orientados en funcionar como estrategias paisajísticas para el aprovechamiento del agua pluvial en las cuatro principales *Áreas con Potencial de Intervención (API)* de Azcapotzalco.
- Los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* están propuestos para contribuir en la escala urbana y arquitectónica de Azcapotzalco; pretenden ser propuestas factibles de implementarse con intervenciones mínimas requeridas sobre espacios ya construidos.
- Los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* proponen composiciones de materiales inertes y cubiertas vegetales semejantes a los examinados en esta investigación, por tal motivo, su funcionamiento debería de aproximarse al comprobado en esta pesquisa.
- Al ser modelos de carácter conceptual, permiten su adaptación a las condiciones de cada *Sitio con Potencial para Implementación (SPI)*; pudiendo modificar bajo determinadas circunstancias, sus dimensiones o componentes; así mismo,
- se debe considerar la posibilidad de mejorarlos eventualmente según se presenten futuras necesidades; se debe admitir también, la probabilidad de encontrar fallas en su funcionamiento que obliguen a la corrección de las mismas, modificando algunos de sus elementos o estructura.
- De implementarse los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en Azcapotzalco, se propone diagnosticar cada uno de los *Sitios con Potencial para Implementación (SPI)* donde se instalarían, así como realizar una inspección que localice cualquier tipo de infraestructura subterránea que pudiera interferir con las funciones o instalación de los mismos, siendo prioridad cumplir con la normativa y permisos pertinentes a las autoridades; se propone además, realizar estudios de factibilidad técnica y de impacto ambiental previo al establecimiento de los mismos.

- Se recomiendan revisar las condiciones topográficas, hidrológicas e hidrogeológicas de cada *Sitio con Potencial para Implementación* (SPI), al tratarse de modelos que incentivan la recarga artificial de los mantos acuíferos.
- De implementarse los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* en Azcapotzalco, se proponen realizar estudios de impacto ambiental posteriores a la implementación, así como estudios de calidad de agua y otros que puedan evaluar el desempeño de los mismos; se sugiere también, mantenerlos en óptimas condiciones para que su funcionamiento pueda ser el adecuado y ejecutar las acciones necesarias para enfrentar las exigencias que pudieran surgir.
- Al haber evaluado apenas 14 de las 110 especies presentadas en la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*, se propone analizar, en los fines que se crean convenientes, el resto de las especies propuestas para poder obtener información sobre su comportamiento como especies con potencial de uso en jardines de lluvia.
- Si bien los *Modelos conceptuales de jardín de lluvia*, así como la *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*, están planteados para el uso y desarrollo en los límites de la demarcación estudiada, no descartan la posibilidad de que con las pertinentes adaptaciones a las condiciones de un nuevo caso de estudio, puedan ser aplicados en diferentes zonas de la cuenca de México, como objeto inicial de estudio del presente trabajo.

6.3 APOORTE AL DISEÑO

La presente investigación contribuyó al campo de investigación del diseño y de la arquitectura del paisaje en el:

- Desarrollo de un proyecto sin precedentes nacionales, al ser el primer jardín de lluvia con fines de investigación en México.
- Plantea los primeros *Modelos conceptuales de jardín de lluvia* con potencial para implementarse en la realidad construida de Azcapotzalco, contemplando la escala urbana y arquitectónica de la demarcación.
- Propuso la primera *Paleta vegetal propuesta para jardines de lluvia en Azcapotzalco*, de la cual se encuentran ya evaluadas y en funcionamiento el 12% de las especies.
- El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* fue el primer jardín de lluvia latinoamericano inscrito en el *National Low Impact Development (LID) Atlas*, iniciativa estadounidense por parte de la Universidad de Connecticut (UCONN) del estado de Connecticut (CT) y del *Nonpoint Education for Municipal Officials (NEMO)*, como recurso en línea que provee ejemplos georeferenciados de prácticas innovadoras en el manejo de estrategias de desarrollo de bajo impacto; la iniciativa muestra a través de la página web los proyectos construidos; mediante un filtro el usuario puede localizar los proyectos clasificados en diez categorías, teniendo acceso a las especificaciones de cada uno, un resumen con sus datos principales, fotografías si estuvieran disponibles y un link para más información. El *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* fue clasificado como biorretención/jardín de lluvia con fecha de inscripción el 03/09/2014.⁸⁶ (**Ver anexo B**)

⁸⁶ Información disponible en: <http://lidmap.uconn.edu/index_original.php> Acceso en octubre, 2017.

6.4 RECOMENDACIONES

En vista de que existe una carencia de bibliografía relativa al uso de los jardines de lluvia como estrategia paisajística en el manejo de aguas pluviales urbanas en el contexto nacional, tanto en el campo de la investigación, de la implementación y de la evaluación, se recomienda:

- Desarrollar estudios que evalúen la eficiencia de los jardines de lluvia en función de parámetros hidráulicos, tales como tasa de retención, tiempo de infiltración, lámina de retención superficial, u otros que puedan comprobar su eficacia en suelo mexicano.
- Profundizar en investigaciones sobre los sustratos requeridos para el óptimo funcionamiento de los jardines de lluvia, así como del orden y dimensión de las capas que los componen; se deberán realizar experimentaciones sobre el uso de sustratos diversos, que ayuden a la fertilidad y permeabilidad del suelo.
- Examinar mediante simulaciones en laboratorio o con experimentaciones reales, diferentes regímenes pluviométricos, para poder ofrecer un panorama más amplio del comportamiento de los jardines de lluvia en las diferentes latitudes nacionales.
- Se sugieren estudios sobre el dimensionamiento y su relación con el volumen de escurrimiento, así como la proporción que mantienen con la superficie impermeable de la que reciben la descarga pluvial.
- Se recomienda ahondar en investigaciones que propongan, implementen y evalúen, el uso de vegetación nativa propicia para utilizarse en jardines de lluvia desde una perspectiva nacional.

La presente investigación es apenas un acercamiento al desarrollo de sistemas de biorretención en el contexto nacional, pero espera ser un punto de partida para futuras investigaciones en torno al aprovechamiento del agua pluvial en las grandes urbes, las cuales deberán involucrar a profesionistas e investigadores de disciplinas como urbanismo, arquitectura, arquitectura del paisaje, ingeniería ambiental, hidráulica y otras, en los problemas ambientales de las ciudades, logrando un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y haciendo uso de las tecnologías emergentes, para aproximarse a la restauración de los ecosistemas antropizados.

BIBLIOGRAFÍA

- ADLER, I.; CARMONA, G. & BOJALIL, J.A. *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. México, 2008. Disponible en: <http://irrimexico.org/pdf/manual_captacion_aguas_lluvias_centros_urbanos.pdf> Acceso en enero, 2014.
- ALCÁNTARA, S.; ALAVID, E.A. & MARTÍNEZ, F.A., (2002), *Diseño, Planificación y Conservación de Paisajes y Jardines*. Posgrado: Especialización y Maestría en Diseño, 2002, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- ÁLVAREZ, R. "Aprovechamiento del agua en los jardines y paseos urbanos". En: *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*. [en línea]. [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]. Disponible en: <http://www.ciccp.es/biblio_digital/icitema_iii/congreso/pdf/040211.pdf>.
- ANDRADE, J.C.; TAVARES, S.R. & MAHLER, C.F., (2007), *Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental*. Brasil, São Paulo, Brasil: Oficina de Textos.
- ÁNGELES, S.A., (2004), *La sobreexplotación de mantos acuíferos en México. Efectos económicos y a la salud*. México D.F., México: Instituto de Investigación Económica y Social Lucas Alamán, A.C.
- AUGUSTO, J. (Julio de 2004). *La recarga de los acuíferos debe ser prioridad nacional*. En: *Arbórea*. Año 6, Núm. 10, pp. 05-07.
- BAZANT, J., (1995), *Manual de criterios de diseño urbano*. México D.F., México: Editorial Trillas S.A. de C.V.
- BECKER, N.C. (2013). *Biorretenção: Tecnologia ambiental urbana para manejo das águas de chuva* (Tesis doctoral). Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Pós-Graduação em Paisagem e Ambiente, São Paulo, Brasil.
- BENEDICT, M.A. & McMAHON, E.T., (2006), *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*, EE. UU. Washington D.C., EE. UU.: Island Press.
- BENITO, G.N. "El uso de jardines de lluvia como mecanismo de restauración ambiental". En: *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*. [en línea]. Trabajo 139. [Fecha de consulta: Mayo, 2013]. Disponible en: <http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/vista/detalle_articulo.php?id_articulo=5143&id_libro=144>.
- BRADY, A.; BRAKE, D. & STARKS, C. "The Green infrastructure guide: Planning for a healthy urban and community forest". [en línea]. 2001. [Fecha de consulta: Mayo, 2014]. Disponible en: <<http://www.planningpartners.org/projects/gig>>.
- BROOKES, J., (1998), *Jardinería y paisaje. La nueva guía para crear el mejor jardín en función de su entorno natural*, Inglaterra, Londres. España: Blume.
- BURNS, E., (2009), *Repensar la Cuenca. La gestión de ciclos del agua en el Valle de México*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- CHACALO, A., (1999), *Manual de arboricultura. Guía de estudio para la certificación del arborista*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- CHACALO, A. & CORONA, V., (2009), *Árboles y arbustos para ciudades*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- CIRIA. *The SuDS Manual*. Inglaterra, 2007. Disponible en: <<https://www.hackney.gov.uk/Assets/Documents/The-SuDS-Manual-C697.pdf>> Acceso en febrero, 2015.
- CITY OF PORTLAND. *Stormwater Management Manual*. EE. UU., 2016. Disponible en: <<https://www.portlandoregon.gov/bes/71127>> Acceso en septiembre, 2016.
- CLAVIJERO, F.J., (2009), *Historia antigua de México*, México D.F., México: Editorial Porrúa.

BIBLIOGRAFÍA

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zona Metropolitana de la Cd. de México (0901), Distrito Federal*. México, 2015. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_0901.pdf> Acceso en noviembre, 2015.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). *Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. México, 2002. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_0901.pdf> Acceso en junio, 2015.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). *Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México*. México, 2007. Disponible en: <<http://201.116.60.81/sustentabilidadhidricadelValledeMexico/Introduccion.aspx?Pag=1>> Acceso en diciembre, 2014.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), (2007), *Proyecto lago de Texcoco. Rescate hidroecológico*, México D.F., México: Comisión Nacional del Agua.
- CORMIER, N.S. & PELLEGRINO, P.R. "Infra-estructura verde. Una estrategia paisagística para a água urbana". En: *Paisagem e Ambiente*. [en línea]. N° 25, 2008, pp. 125-142. [Fecha de consulta: Septiembre, 2013]. Disponible en: <<http://www.espiral.fau.usp.br/arquivos-artigos/2008-Nate&Paulo.pdf>>.
- CROWE, B. (2007). *The Development and Application of a Four- Level Rain Garden Assessment* (Tesis de maestría). University of Minnesota. Master of Science, Minnesota, EE. UU.
- DARKE, R., (1994), *For your Garden. Ornamental Grasses*, EE. UU. New York, China: Friedman/Fairfax.
- DE BENAVENTE, T., (1969), *Historia de los indios de la Nueva España*, México D.F., México: Editorial Porrúa.
- DEBUSK, K.M. & WYNN, T.M. "Storm-Water Bioretention for Runoff Quality and Quantity Mitigation". En: *Journal of Environmental Engineering*. [en línea]. Marzo, 2011, pp. 01-27. [Fecha de consulta: Agosto, 2014]. Disponible en: <[http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000388](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000388)>.
- DE LA CRUZ, M. & BADIANO, J., (1991), *Libellus de medicinalibus indorum herbis*, México D.F., México: Fondo de Cultura Económica/Instituto Mexicano del Seguro Social.
- DEL GENIO, A.D.; LACIS, A.A. & RUEDY, R.A. "Simulations of the effect of a warmer climate on atmospheric humidity". En: *Nature*. [en línea]. Vol. 351, mayo, 1991, pp. 382-385. [Fecha de consulta: Agosto, 2014]. Disponible en: <<http://www.nature.com/nature/journal/v351/n6325/pdf/351382a0.pdf>>.
- DENAULT, C.; MILLAR, R.G. & LENCE, B.J. "Assessment of possible impacts of climate change in an urban catchment". En: *Journal of American Water Resources Association*. [en línea]. Junio, 2006, pp. 685-697. [Fecha de consulta: Agosto, 2014]. Disponible en: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2006.tb04485.x/full>>.
- DE SAHAGÚN, B., (1981), *Historia general de las cosas de Nueva España*, México D.F., México: Editorial Porrúa.
- DIETZ, M.E. "Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions". En: *Water, Air and Soil Pollution*. [en línea]. Vol. 186, septiembre, 2007. pp. 351-363. [Fecha de consulta: Julio, 2014]. Disponible en: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11270-007-9484-z>>.
- DIETZ, M.E. & CLAUSEN, J.C. "A Field Evaluation of Rain Garden Flow and Pollutant Treatment". En: *Water, Air and Soil Pollution*. [en línea]. Vol. 167, junio, 2005, pp.123-138. [Fecha de consulta: Agosto, 2014]. Disponible en: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11270-005-8266-8>>.
- DIETZ, M.E. & CLAUSEN, J.C. "Saturation to improve pollutant retention in a raingarden". En: *Environmental Science & Technology*. [en línea]. Vol. 40, febrero, 2007. pp. 1335-1340. [Fecha de consulta: Julio, 2014]. Disponible en: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16572794>>.

BIBLIOGRAFÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS DE ZAPOPAN. *Manual de Diseño del Espacio Público*. México, 2012. Disponible en: <<http://ciesas.edu.mx/proyectos/fomix-cidy/disen/manua.pdf>> Acceso en noviembre, 2015.

DOMÈNECH, M.D; PERALES, S. & SOTO, R. "Innovación y sostenibilidad en la gestión del drenaje urbano: Primeras experiencias de SuDS en la Ciudad de Barcelona". En: *Ingeniería del agua*. [en línea]. 2009. [Fecha de consulta: Julio, 2015] Disponible en: <<http://www.ingenieriadelaagua.com/2004/JIA/Jia2009/fs/CO07rev.pdf>>.

DUNNETT, N. & CLAYDEN, A., (2007), *Rain gardens. Managing water sustainably in the garden and designed landscape*, EE. UU. Portland, China: Timber Press Inc.

FERNÁNDEZ, B., (1996), *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvia en sectores urbanos*. Chile, Santiago de Chile, Chile: MINVU.

FRANCO, X.M. & HINCAPIÉ, D.E. (2015). *Evaluación del balance hídrico de un jardín de lluvia a escala piloto en el campus Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena* (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil, Cartagena, Colombia.

GALINDO, A.S. & VICTORIA, R. "La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca". En: *Quivera*. [en línea]. Vol. 14, Núm. 1, enero-junio, 2012, pp. 98-108. [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894006>>.

GARCÍA, C.A., (1993), *Geografía e historia del Distrito Federal*, México D.F., México: Instituto Mora.

GARCÍA, F.; ROSELLÓ, J. & SANTAMARINA, M., (2006), *Introducción al funcionamiento de las plantas*, España, Valencia. España: Universidad Politécnica de Valencia.

GHERTNER, P. *Rain Gardens. A Do-It Yourself Guide for Homeowners in Middle Tennessee*. EE. UU., 2009. Disponible en: <http://manatee.ifas.ufl.edu/FFL/Dazzling-Designs-pdfs/Fact_sheet_Bioretention_Basins_Rain_Gardens.pdf> Acceso en agosto, 2013.

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL-SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA-AUTORIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO. *Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de Bolsillo*. México, 2012. Disponible en: <http://www.seduvi.df.gob.mx/portal/docs/Lineamientos_Parques_de_Bolsillo.pdf> Acceso en noviembre, 2015.

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL-SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA-AUTORIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO. *Manual técnico de accesibilidad*. México, 2012. Disponible en: <<http://www.libreacceso.org/downloads/MTA.pdf>> Acceso en noviembre, 2015.

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL-SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE-SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO. *Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, visión 20 años*. México, 2012. Disponible en: <http://www.agua.unam.mx/sacmex/assets/docs/PGIRH_Final.pdf> Acceso en noviembre, 2015.

GUTIÉRREZ, A. "Captación de agua pluvial, una solución ancestral". En: *Impluvium*. [en línea]. N° 1, abril-junio, 2014, pp. 6-11. [Fecha de consulta: Agosto, 2015]. Disponible en: <<http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>>.

HERNÁNDEZ, F., (1959), *Historia natural de Nueva España*, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

HUPFER, P., (2007), *Global Change: Enough water for all?*, Alemania Berlín, Alemania: Wissenschaftliche Auswertungen.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta de Uso del Suelo Ciudad de México* (E14-A39), escala 1:50, 000. México D.F., Segunda impresión, 1983.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta de Uso del Suelo Cuautitlán* (E14-A29), escala 1:50, 000. México D.F., Segunda impresión, 1979.

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta de Uso Potencial Ciudad de México* (E14-A39), escala 1:50, 000. México D.F., Segunda impresión, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta de Uso Potencial Cuautitlán* (E14-A29), escala 1:50, 000. México D.F., Segunda impresión, 1979.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta Edafológica Ciudad de México* (E14-A39), escala 1:50, 000. México D.F., Segunda impresión, 1979.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta Edafológica Cuautitlán* (E14-A29), escala 1:50, 000. México D.F., Primera impresión, 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta Geológica Ciudad de México* (E14-A39), escala 1:50, 000. México D.F., Segunda impresión, 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta Geológica Cuautitlán* (E14-A29), escala 1:50, 000. México D.F., Segunda impresión, 1983.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta Hidrológica de Aguas Subterráneas Ciudad de México* (E14-2), escala 1:250, 000. México D.F., Cuarta impresión, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta Topográfica Ciudad de México* (E14-A39), escala 1:50, 000. México D.F., Quinta impresión, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Carta Topográfica Cuautitlán* (E14-A29), escala 1:50, 000. México D.F., Quinta impresión, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Cuaderno estadístico y geográfico de la zona metropolitana del Valle de México*. México, 2014. Disponible en: <http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/valle_mex/702825068318.pdf> Acceso en noviembre, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Diccionario de datos de hidrología subterránea. Escalas 1:250,000 y 1:1,000,000*. México, 2000. Disponible en: <[http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/hidrologia/doc/dd_hidrosub\(alf\)_1m_250k.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/hidrologia/doc/dd_hidrosub(alf)_1m_250k.pdf)> Acceso en noviembre, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *División geoestadística Delegacional. Azcapotzalco*. México, 2000. Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem04/info/df/m002/mapas.pdf>> Acceso en octubre, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Los análisis físicos y químicos en la cartografía hidrológica del INEGI. Guía normativo-metodológica*. México, 2000. Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/hidrologia/doc/normhidro.pdf>> Acceso en noviembre, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP). *Catálogo de especies arbóreas y arbustivas para la reforestación de la 2a sección del Bosque de Chapultepec*. México. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/catalogo_especies.pdf> Acceso en enero, 2014.

KOSMERL, P. F. (2012). *Water Balance of Retrofit, Right-of-way Rain Gardens* (Tesis de maestría). The Ohio State University. Master of Science in the Graduate School of The Ohio State University, Ohio, EE. UU.

KRAMER, P.J., (1974), *Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna*, México D.F., México: Centro Regional de Ayuda Técnica.

BIBLIOGRAFÍA

- LEGORRETA, J., (2006), *El agua y la Ciudad de México. De Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- LEGORRETA, J., (2008), *La ciudad de México a debate*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- LEY DE AGUAS DEL DISTRITO FEDERAL. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 23 de marzo de 2015.
- LEY DE PLANEACIÓN DEL DESARROLLO DEL DISTRITO FEDERAL. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 27 de enero de 2000.
- LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO. Diario Oficial de la Federación, México D.F., 06 de junio de 2012.
- LI, J.Q. & ZHAO, W.W. (2008), "Design and hydrologic estimation method of multipurpose rain garden: Beijing case study". En: *International Low Impact Development Conference*. Congreso llevado a cabo en Seattle, Washington.
- LORENZI, H., (2008), *Manual de identificação de controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional*, Brasil, São Paulo, Brasil: Instituto Plantarum.
- LORENZI, H., (2000), *Plantas daninhas do Brasil: Terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas*, Brasil, São Paulo, Brasil: Instituto Plantarum.
- MARTÍNEZ, F.A. & SOTO, J.A., (1993), *El barrio de la banda. Paisaje y valor histórico*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- MARTÍNEZ, L., (2008), *Árboles y áreas verdes urbanas. De la Ciudad de México y su zona metropolitana*, México D.F., México: Fundación Xochitla A.C.
- MARTÍNEZ, L. & CHACALO, A., (1994), *Los árboles de la Ciudad de México*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- MARTÍNEZ, M., (1979), *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*, México D.F., México: Fondo de Cultura Económica.
- MARYLAND DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. *Maryland Stormwater Design Manual*. EE. UU., 2000. Disponible en: <<http://www.mde.state.md.us/programs/Water/StormwaterManagementProgram/SoilErosionandSedimentControl/Documents/MD%20SWM%20Volume%201.pdf>> Acceso en julio, 2014.
- MCHARG, I., (1969), *Design with nature*, México D.F., México: Gustavo Gili.
- MCKINLEY, M., (2005), *Complete Guide to Landscaping*, EE. UU. Iowa, EE. UU.: Ortho Books.
- MORALES, J.M. "Jardines prehispánicos de México en las Crónicas de Indias". En: *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. [en línea]. N° 77, 2004, 308, pp. 351-373. [Fecha de consulta: Febrero, 2015]. Disponible en: <<http://xn--archivospaoldearte-53b.revistas.csic.es/index.php/aea/article/download/218/215>>.
- MOUTHON, J. "Evaluación de la remoción de nutrientes y comportamiento hidráulico en dos jardines de lluvia a escala de laboratorio en la Universidad de Cartagena". En: *Colciencias*. [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: Agosto, 2015]. Disponible en: <<http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/1354/7/Propuesta%20COLCIENCIAS.pdf>>.
- NADF-001-RNAT-2012. "NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBERÁN CUMPLIR LAS PERSONAS FÍSICAS, MORALES DE CARÁCTER PÚBLICO O PRIVADO, AUTORIDADES, Y EN GENERAL TODOS AQUELLOS QUE REALICEN PODA, DERRIBO, TRASPLANTE Y RESTITUCIÓN DE ÁRBOLES EN EL DISTRITO FEDERAL". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 14 de febrero de 2014.

BIBLIOGRAFÍA

NADF-006-RNAT-2012. "NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS, CRITERIOS, LINEAMIENTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBEN CUMPLIR LAS AUTORIDADES, PERSONAS FÍSICAS O MORALES QUE REALICEN ACTIVIDADES DE FOMENTO, MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE ÁREAS VERDES EN EL DISTRITO FEDERAL". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 17 de septiembre de 2013.

NADF-007-RNAT-2004. "NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL QUE ESTABLECE LA CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MANEJO PARA RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 12 de julio de 2006.

NADF-009-AIRE-2006. "NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA ELABORAR EL ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 29 de noviembre de 2006.

NADF-015-AGUA-2009. "NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE PROCESOS Y SERVICIOS AL SISTEMA DE DRENAJE Y ALCANTARILLADO DEL DISTRITO FEDERAL, PROVENIENTES DE LAS FUENTES FIJAS". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 25 de septiembre de 2012.

NADF-020-AMBT-2011. "NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL, QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES, ASÍ COMO LAS ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE CALIDAD DE LA COMPOSTA PRODUCIDA Y/O DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO FEDERAL". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 30 de noviembre de 2012.

NAVARRO, J., (1992), *Historia natural o jardín americano*, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Mexicano del Seguro Social.

NOM-011-CONAGUA-2015. "CONSERVACIÓN DEL RECURSO AGUA-QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES Y EL MÉTODO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE LAS AGUAS NACIONALES". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 27 de marzo de 2015.

NOM-014-CONAGUA-2003. "REQUISITOS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA RESIDUAL TRATADA". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 18 de agosto de 2009.

NOM-015-CONAGUA-2007. "INFILTRACIÓN ARTIFICIAL DE AGUA A LOS ACUÍFEROS.- CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LAS OBRAS Y DEL AGUA". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 18 de agosto de 2009.

NOM-020-SSA1-2014. "SALUD AMBIENTAL. VALOR LÍMITE PERMISIBLE PARA LA CONCENTRACIÓN DE OZONO (O3) EN EL AIRE AMBIENTE Y CRITERIOS PARA SU EVALUACIÓN". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 19 de agosto de 2014.

NOM-021-SSA1-1993. "SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE CON RESPECTO AL MONOXIDO DE CARBONO (CO). VALOR PERMISIBLE PARA LA CONCENTRACION DE MONOXIDO DE CARBONO (CO) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCION A LA SALUD DE LA POBLACIÓN". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 23 de diciembre de 1994.

NOM-022-SSA1-2010. "SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL DIÓXIDO DE AZUFRE (SO2). VALOR NORMADO PARA LA CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO2) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCIÓN A LA SALUD DE LA POBLACIÓN". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 08 de septiembre de 2010.

NOM-023-SSA1-1993. "SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL BIXIDO DE NITROGENO (NO2). VALOR NORMADO PARA LA CONCENTRACION DE BIXIDO DE NITROGENO (NO2) EN EL AIRE AMBIENTE, COMO MEDIDA DE PROTECCION A LA SALUD DE LA POBLACION". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 23 de diciembre de 1994.

BIBLIOGRAFÍA

NOM-025-SSA1-2014. "SALUD AMBIENTAL. VALORES LÍMITE PERMISIBLES PARA LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PM10 Y PM2.5 EN EL AIRE AMBIENTE Y CRITERIOS PARA SU EVALUACIÓN". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 20 de agosto de 2014.

NOM-059-SEMARNAT-2010. "PROTECCIÓN AMBIENTAL-ESPECIES NATIVAS DE MÉXICO DE FLORA Y FAUNA SILVESTRES-CATEGORÍAS DE RIESGO Y ESPECIFICACIONES PARA SU INCLUSIÓN, EXCLUSIÓN O CAMBIO-LISTA DE ESPECIES EN RIESGO". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 30 de diciembre de 2010.

NOM-127-SSA1-1994. "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN". Diario Oficial de la Federación, México D.F., 22 de noviembre de 2000.

NONPOINT EDUCATION FOR MUNICIPAL OFFICIALS (NEMO). *Low Impact Development in Northern Nevada: Plant Materials*. EE. UU., 2009. Disponible en: <<http://www.unce.unr.edu/publications/files/nr/2009/fs0928.pdf>> Acceso en abril, 2014.

NORMA GENERAL DE ORDENACIÓN 4. "ÁREA LIBRE DE CONSTRUCCIÓN Y RECARGA DE AGUAS PLUVIALES AL SUBSUELO". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 08 de abril de 2005.

NORMA GENERAL DE ORDENACIÓN 5. "ÁREA CONSTRUIBLE EN ZONIFICACIÓN DENOMINADA ESPACIOS ABIERTOS (EA)". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 08 de abril de 2005.

NORMA GENERAL DE ORDENACIÓN 27. "DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES". Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 08 de abril de 2005.

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 08 de febrero de 2011.

NOVOTNY, V., (2003), *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*, EE. UU. New Jersey, EE. UU.: Wiley & Sons.

NOVOTNY, V.; AHERN, J. & BROWN, P., (2010), *Water Centric Sustainable Communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment*, EE. UU., New Jersey, EE. UU.: John Wiley Inc.

NOVOTNY, V. & BROWN, P., (2007), *Cities of the Future: Towards Integrate Sustainable Water and Landscape Management*, Inglaterra Londres, Inglaterra: IWA Publishing.

PEÑA, J., (2012), *Crisis del agua en Monterrey, Guadalajara; San Luis Potosí, León y la ciudad de México (1950-2010)*, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad Intercultural Estado de México.

PERALES, S. (Julio de 2008), "Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible". En: *5ª Semana Temática de la Tribuna del Agua*. Conferencia llevada a cabo en la Exposición Internacional sobre Agua y Desarrollo Sostenible (Expo Zaragoza 2008) Zaragoza, España.

PERLÓ, M., (1999), *El paradigma porfiriano. Historia del drenaje profundo del Valle de México*, México D.F., México: Editorial Porrúa/Universidad Nacional Autónoma de México.

PLANO DE DIVULGACIÓN. escala 1:10,000 anexo al PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO PARA LA DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO 2008. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 24 de septiembre de 2008.

PRINCE GEORGE'S COUNTY, MARYLAND. *Bioretention Manual*. EE. UU., 2007. Disponible en: <http://www.ct.gov/deep/lib/deep/p2/raingardens/bioretention_manual_2009_version.pdf> Acceso en julio, 2014.

BIBLIOGRAFÍA

- PROGRAMA DE GOBIERNO DELEGACIONAL. DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO 2009-2012. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., enero de 2010.
- PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO PARA LA DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO 2008. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 24 de septiembre de 2008.
- PROGRAMA GENERAL DE DESARROLLO DEL DISTRITO FEDERAL 2013-2018. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 11 de septiembre de 2013.
- PROGRAMA GENERAL DE DESARROLLO URBANO DEL DISTRITO FEDERAL 2003. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 31 de diciembre de 2003.
- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México D.F., 29 de enero de 2004.
- RIVERA, J.E. & FLORES H.N., (2013), *Flora y vegetación del Distrito Federal. Conservación y problemática*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa/Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C.
- RODRÍGUEZ, H. & SANDOVAL, M.L., (2001), *Análisis del sitio: agua*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- RODRÍGUEZ, H. & SANDOVAL, M.L., (2010), *Calidad de vida. Los espacios de recreación. Hacia una planeación integral. Delegación Azcapotzalco*, México D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- ROJAS, T., (1990), *La agricultura chinampera. Compilación histórica*, México D.F., México: Universidad Autónoma Chapingo.
- ROJAS, T., (1995), *Presente, pasado y futuro de las chinampas*, México D.F., México: Ciesas.
- ROJAS, W.J., (1999), *Jardines naturales. Flora silvestre del Estado de México*, México Estado de México, México: Instituto Mexiquense de Cultura.
- ROLDÁN, E. (2012). *Estrategia de biofiltro para el manejo de escorrentías en centro urbano de Aguadilla* (Tesis de maestría). Universidad Metropolitana. Maestría en Planificación Ambiental, San Juan, Puerto Rico.
- ROYAL HORTICULTURAL SOCIETY, (1998), *Manual de identificación. Perennes*, Inglaterra Londres. Singapur: Blume.
- RZEDOWSKI, G. & RZEDOWSKI, J., (2001), *Flora fanerogámica del Valle de México*, México D.F., México: Instituto de Ecología, A.C./Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). *Vialidad urbana*. México, 2008. Disponible en: <<http://www.cmic.org/mnsectores/vivienda/desarrollourbano/t1c1.pdf>> Acceso en noviembre, 2015.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA-AUTORIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO-GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL. *Criterios para el ordenamiento del espacio público. Banquetas*. México, 2012. Disponible en: <http://www.aep.df.gob.mx/gestionpublica/images/2_BANQUETAS_.pdf> Acceso en noviembre, 2015.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA-AUTORIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO-GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL. *Criterios para el ordenamiento del espacio público. Saneamiento de estructuras menores, mobiliario urbano y publicidad*. México, 2012. Disponible en: <<http://aep.df.gob.mx/docs/transparencia/articulo14/fraccion/2015/2trimestre/CT-3.pdf>> Acceso en noviembre, 2015.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE (SEDEMA). *Calidad del aire en la Ciudad de México, informe 2014*. México, 2014. Disponible en: <http://sedema.df.gob.mx/flippingbook/informe_anual_calidad_aire_2014/informe-calidad-aire-2014.pdf> Acceso en noviembre, 2015.

BIBLIOGRAFÍA

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE (SEDEMA). *Plan Verde. Programa de gobierno a 15 años*. México, 2011. Disponible en: <http://centro.paot.org.mx/documentos/sma/Informe_PV_a_4anos.pdf> Acceso en julio, 2014.

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE (SEDEMA). *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020*. México, 2014. Disponible en: <<http://www.cms.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/PACCM-2014-2020.pdf>> Acceso en noviembre, 2015.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018*. México, 2013. Disponible en: <<http://www.ordenjuridico.gob.mx/sectoriales.php>> Acceso en enero, 2015.

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS (SOBSE). *Zonificación del D.F.* México, 2011. Disponible en: <http://www.obras.df.gob.mx/contingencia/plano_zonificacion.pdf> Acceso en noviembre, 2015.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN). *Normal climatológica Egipto 7 (00009021), 1951-2010*, México D.F.

SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACMEX). *Programa Especial del Agua, Visión 20 años. Programa hidráulico a largo plazo de la Ciudad de México y su zona metropolitana, 2012-2031*. México, 2012. Disponible en: <http://www.agua.unam.mx/sacmex/assets/docs/PGIRH_Final.pdf> Acceso en noviembre, 2015.

SOLUÇÕES PARA CIDADES. *Projeto técnico: Jardins de Chuva*. Brasil. Disponible en: <http://solucoeparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf> Acceso en mayo, 2015.

STEINER, L. & DOMM, R., (2012), *Rain gardens. Sustainable landscaping for a beautiful yard and a healthy world*, EE. UU. Minneapolis, China: Voyageur Press.

SUÁREZ, A.; CAMARENA, P.; HERRERA, I. & LOT, A., (2011), *Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: Ecología urbana del sur de la Ciudad de México*, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

TENÓRIO, T.A. (2011). *Jardim de chuva: Sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas* (Tesis de maestría). Universidade Federal de Pernambuco. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Recife, Brasil.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. EE. UU., 2005. Disponible en: <http://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf> Acceso en julio, 2015.

THE NORTHERN VIRGINIA SOIL AND WATER CONSERVATION DISTRICT. *Rain Garden. Design and Construction. A Northern Virginia Homeowner's Guide*. EE. UU., 2009. Disponible en: <<http://www.fairfaxcounty.gov/nvswcd/raingardenbk.pdf>> Acceso en septiembre, 2013.

TUCCI, C., (1995), *Drenagem urbana*, Brasil Porto Alegre, Brasil: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS.

ULACIA, R. "La infraestructura verde como sistema de captación de agua de lluvia". En: *Impluvium*. [en línea]. N° 1, abril-junio, 2014, pp. 17-22. [Fecha de consulta: Agosto, 2015]. Disponible en: <<http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>>.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO (UAEMEX). *Plantas ornamentales mexicanas*. México. Disponible en: <<http://web.uaemex.mx/ornamentalesred/red-symposium1.pdf>> Acceso en febrero, 2015.

UNIVERSITY OF CONNECTICUT (UConn) COOPERATIVE EXTENSION SYSTEM. *Rain Gardens. A Design Guide for Homeowners in Connecticut. Helping to improve water quality in your community*. EE. UU. Disponible en: <http://nemo.uconn.edu/publications/rain_garden_broch.pdf> Acceso en abril, 2014.

BIBLIOGRAFÍA

UNIVERSITY OF MINNESOTA EXTENSION. *Rain Garden Plants*. EE. UU., 2008. Disponible en: <<http://www.extension.umn.edu/garden/yard-garden/landscaping/best-plants-for-tough-sites/docs/08464-rain-garden.pdf>> Acceso en septiembre, 2013.

UNIVERSITY OF TENNESSEE EXTENSION. *Rainwater: Your Liquid Asset A Home Stormwater Exercise*. EE. UU., 2013. Disponible en: <<https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W300.pdf>> Acceso en noviembre, 2013.

URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT, DENVER CO. *Urban Storm Drainage. Criteria Manual. Volume 3-Best Management Practices*. EE. UU., 2010. Disponible en: <[https://yosemite.epa.gov/oa/eab_web_docket.nsf/Attachments%20By%20ParentFilingId/AD542E028730375785257C5100567622/\\$FILE/EPA-BAFB-00001518.pdf](https://yosemite.epa.gov/oa/eab_web_docket.nsf/Attachments%20By%20ParentFilingId/AD542E028730375785257C5100567622/$FILE/EPA-BAFB-00001518.pdf)> Acceso en septiembre, 2014.

VILLASEÑOR, J.L. & ESPINOSA, F.J., (1998), *Catálogo de malezas de México*, México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

VIRGINIA DEPARTMENT OF FORESTRY. *Rain Gardens. Technical Guide. A Landscape Tool to Improve Water Quality*. EE. UU., 2008. Disponible en: <<http://www.dof.virginia.gov/print/mgt/Rain-Gardens-Tech-Guide.pdf>> Acceso en septiembre, 2013.

WALDHEIM, C., (2006), *The Landscape Urbanism Reader*, EE. UU. New York, EE. UU.: Princeton Architectural Press.

WALLACE, T., (2009), *The Rain Garden Planner*, EE. UU., China: Schiffer Publishing Ltd. & Design.

WASHINGTON STATE UNIVERSITY. *Rain Garden. Handbook for Western Washington Homeowners. Designing your landscape to protect our streams, lakes, bays, and wetlands*. EE. UU., 2007. Disponible en: <http://county.wsu.edu/mason/nrs/water/Documents/Raingarden_handbook.pdf> Acceso en septiembre, 2013.

WATER RESOURCES PROGRAM-RUTGERS NEW JERSEY AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION. *Rain Garden Inspection and Maintenance*. EE. UU. Disponible en: <http://www.water.rutgers.edu/Rain_Gardens/RGWebsite/Certification%20Program/RGS_RGST_RGInspMaintenance.pdf> Acceso en abril, 2014.

WEISS, P.T.; GULLIVER, J.S. & ERICKSON, A.J. "Cost and Pollutant Removal of Storm-Water Treatment Practices". En: *Journal of Water Resources Planning and Management*. [en línea]. mayo-junio, 2007, pp. 218-229. [Fecha de consulta: Septiembre, 2014]. Disponible en: <<http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282007%29133%3A3%28218%29>>.

WHITE, L. & ZEPEDA, C., (2008), *El paraíso botánico del convento de Malinalco Estado de México*, México Estado de México, México: Universidad Autónoma del Estado de México.

WINTER, E.J., (1979), *El agua, el suelo y la planta*, México D.F., México: Diana.

WISCONSIN DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES. *Rain Gardens. A how-to manual for homeowners*. EE. UU., 2003. Disponible en: <<http://learningstore.uwex.edu/assets/pdfs/GWQ037.pdf>> Acceso en septiembre, 2013.

WOELFLE-ERSKINE, C. & UNCAPHER, A., (2012), *Creating Rain Gardens. Capturing the Rain for Your Own Water-Efficient Garden*, EE. UU. Portland, EE. UU.: Timber Press Inc.

WONG, J. (2012). *Investigating a Potential Incentive Program to Encourage the Adoption of Rain Gardens: A Study of Contingent Behavior in Howard County, Maryland* (Tesis de pregrado). University of Maryland. Environmental Science and Policy- Environmental Economics, Maryland, EE. UU.

WOODWELL, G.M., (1984), *The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: Measurement by remote sensing*. EE. UU., EE. UU.: The Ecosystems Center Marine Biological Laboratory Woods Hole.

YU, K. (2009), "A New Aesthetic: Key for High Performance Landscapes". En: *Anais do 46° IFLA World Congress*. Congreso llevado a cabo en Rio de Janeiro, Brasil.

SITOGRAFÍA

ÁRBOLES DE LA UNAM. Disponible en: <<http://www.arboles.org/>> Acceso en julio, 2015.

ARCHDAILY. Disponible en: <<https://www.archdaily.mx/mx/02-309271/qunli-parque-de-humedales-y-aguas-lluvias-turenscape>> Acceso en agosto, 2017.

ARIZONA MUNICIPAL WATER USERS ASSOCIATION. Disponible en: <<http://www.amwua.org/groundcovers.html/>> Acceso en junio, 2015.

AUTORIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO. Disponible en: <<http://www.aep.cdmx.gob.mx/>> Acceso en junio, 2016.

BANCO MUNDIAL. Disponible en: <<http://www.bancomundial.org/>> Acceso en septiembre, 2016.

BIBLIOTECA DIGITAL DE LA MEDICINA TRADICIONAL MEXICANA. Disponible en: <<http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx>> Acceso en junio, 2014.

BIODIVERSIDAD MEXICANA. Disponible en: <<http://www.biodiversidad.gob.mx/>> Acceso en febrero, 2015.

CDMX. Disponible en: <<http://www.cdmx.gob.mx/>> Acceso en octubre, 2016.

CENTRO DE INFORMACIÓN DEL AGUA. Disponible en: <<https://agua.org.mx/>> Acceso en julio, 2015.

CENTRO DE NOTICIAS ONU. Disponible en: <<http://www.un.org/spanish/News/>> Acceso en julio, 2015.

CENTRO DEL AGUA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE. Disponible en: <<http://www.centrodelagua.org/home.aspx>> Acceso en junio, 2015.

CENTROS DE TRANSFERENCIA MODAL (CETRAM). Disponible en: <<http://www.cetram.cdmx.gob.mx/>> Acceso en agosto, 2016.

CIUDADANOS EN RED. *Acotan vecinos plan Chimalistac*. Marzo, 2011. Disponible en: <<http://ciudadanosenred.com.mx/noticia/acotan-vecinos-plan-chimalistac>> Acceso en agosto, 2015.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA). Disponible en: <<https://www.gob.mx/conagua>> Acceso en octubre, 2015.

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). Disponible en: <<https://www.gob.mx/conafor>> Acceso en diciembre, 2016.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO). Disponible en: <<https://www.gob.mx/conabio>> Acceso en agosto, 2016.

CT NEMO PROGRAM. *What is a rain garden?*. 2014. Disponible en: <<http://nemo.uconn.edu/raingardens>> Acceso en abril, 2014.

DIVISÃO DE BIBLIOTECAS E DOCUMENTAÇÃO. *Tipologias de infraestrutura verde para a escala local*. 2011. Disponible en: <http://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0913870_2011_cap.4.pdf> Acceso en mayo, 2016.

DRENAJE URBANO SOSTENIBLE. *Técnicas de drenaje sostenible*. 2013. Disponible en: <<http://drenajurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/>> Acceso en agosto, 2015.

EL JARDINERO URBANO. Disponible en: <<http://www.eljardinerourbano.com/>> Acceso en agosto, 2014.

EXCELSIOR. *Centro Verde Azcapotzalco capacita a más de 4 mil personas*. Enero, 2015. Disponible en: <<http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2015/01/14/1002724>> Acceso en febrero, 2015.

SITOGRAFÍA

FERROCARRILES SUBURBANOS. Disponible en: <<http://www.fsuburbanos.com/>> Acceso en octubre, 2015.

FLORA CUAUTLA. Disponible en: <<http://www.floracuatla.com/>> Acceso en junio, 2014.

GEOFÍSICA UNAM. *Subsidencia urbana*. 2014. Disponible en: <<http://cardi.geofisica.unam.mx/subsidence/>> Acceso en agosto, 2015.

GOBIERNO DELEGACIONAL Y POLÍTICO DE AZCAPOTZALCO. Disponible en: <<http://azcapotzalco.cdmx.gob.mx/>> Acceso en mayo, 2014.

HARVARD DESIGN MAGAZINE. *Beautiful big feet*. N° 31. Disponible en: <<http://www.harvarddesignmagazine.org/issues/31/beautiful-big-feet>> Acceso en agosto, 2017.

HEALTHY LAND & WATER. Disponible en: <<http://hlw.org.au/initiatives/waterbydesign/water-sensitive-urban-design-wsud>> Acceso en octubre, 2014.

INFOJARDÍN. Disponible en: <<http://www.infojardin.com/>> Acceso en junio, 2014.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA). Disponible en: <<https://www.gob.mx/imta>> Acceso en septiembre, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA (INAH). Disponible en: <<http://www.inah.gob.mx/es/>> Acceso en noviembre, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC). Disponible en: <<https://www.gob.mx/inecc>> Acceso en julio, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). Disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/default.aspx>> Acceso en julio, 2015.

INTEGRATED TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM (ITIS). Disponible en: <<https://www.itis.gov/>> Acceso en junio, 2015.

ISLA URBANA. Disponible en: <<http://islaurbana.mx/>> Acceso en febrero, 2014.

JEHUIITE. Disponible en: <<http://jehuite.blogspot.mx/>> Acceso en marzo, 2014.

LOW IMPACT DEVELOPMENT CENTER. Disponible en: <<http://lowimpactdevelopment.org/>> Acceso en diciembre, 2014.

MALEZAS DE MÉXICO. Disponible en: <<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>> Acceso en abril, 2014.

MAPOTECA MANUEL OROZCO Y BERRA. Disponible en: <<http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/>> Acceso en junio, 2016.

MELBOURNE WATER. *Raingardens*. Disponible en: <<https://www.melbournewater.com.au/raingardens>> Acceso en julio, 2013.

METROBÚS. Disponible en: <<http://www.metrobus.cdmx.gob.mx/>> Acceso en enero, 2016.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN. Disponible en: <<http://www.missouribotanicalgarden.org/>> Acceso en junio, 2015.

NATIVE RAIN GARDEN. Disponible en: <<http://www.native-raingarden.com/>> Acceso en abril, 2014.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Disponible en: <<http://www.who.int/es/>> Acceso en junio, 2015.

PLANTAS FACILÍSIMO. Disponible en: <<http://plantas.facilísimo.com/>> Acceso en julio, 2014.

SITOGRAFÍA

- PLANTAS MEDICINALES DE MÉXICO. Disponible en: <<http://plantasdemexico.blogspot.mx/>> Acceso en julio, 2014.
- PLANTAS Y FLORES. Disponible en: <<http://plantayflor.blogspot.mx/>> Acceso en julio, 2014.
- PROCURADURÍA AMBIENTAL Y DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PAOT). Disponible en: <<http://www.paot.org.mx/>> Acceso en octubre, 2016.
- RAIN GARDEN ALLIANCE. Disponible en: <<http://raingardenalliance.org/>> Acceso en diciembre, 2013.
- RAIN GARDEN ARTS. Disponible en: <<https://raingardenartsblog.com/>> Acceso en enero, 2014.
- RAIN GARDEN NETWORK. Disponible en: <<http://www.raingardennetwork.com/>> Acceso en abril, 2014.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Disponible en: <<http://www.rae.es/>> Acceso en junio, 2017.
- RED VIVERISTA. Disponible en: <<http://www.redviverista.com/inicio>> Acceso en junio, 2014.
- SDPNOTICIAS. *Descartan desbordamiento del Río Hondo en Azcapotzalco*. Julio, 2011. Disponible en: <<https://www.sdpsnoticias.com/notas/2011/07/01/descartan-desbordamiento-del-rio-hondo-en-azcapotzalco>> Acceso en diciembre, 2014.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). *Ollas de agua, jagüeyes, cajas de agua o aljibes*. Disponible en: <<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf>> Acceso en agosto, 2015.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). Disponible en: <<http://www.gob.mx/sedesol>> Acceso en julio, 2016.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA (SEDUVI). Disponible en: <<http://www.seduvi.cdmx.gob.mx/>> Acceso en abril, 2017.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). Disponible en: <<https://www.gob.mx/semarnat/>> Acceso en febrero, 2017.
- SECRETARÍA DE MOVILIDAD (SEMOVI). Disponible en: <<http://www.semovi.cdmx.gob.mx/>> Acceso en noviembre, 2016.
- SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS (SOBSE). Disponible en: <<http://www.obras.cdmx.gob.mx/>> Acceso en marzo, 2016.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE (SEDEMA). Disponible en: <<http://www.sedema.cdmx.gob.mx/>> Acceso en diciembre, 2016.
- SERVICIO DE TRANSPORTES ELÉCTRICOS (STE). Disponible en: <<http://www.ste.cdmx.gob.mx/>> Acceso en febrero, 2016.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (SMN). Disponible en: <<http://smn.cna.gob.mx/es/>> Acceso en mayo, 2014.
- SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACMEX). Disponible en: <<http://www.sacmex.cdmx.gob.mx/>> Acceso en mayo, 2014.
- SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO. Disponible en: <<http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php>> Acceso en junio, 2017.
- SISTEMA DE MOVILIDAD 1 (SM1). Disponible en: <<http://www.rtp.gob.mx/>> Acceso en mayo, 2017.
- SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO (STCM). Disponible en: <<http://www.metro.cdmx.gob.mx/>> Acceso en mayo, 2016.

SITOGRAFÍA

STEWARDSHIP PARTNERS. Disponible en: <<http://www.stewardshippartners.org/programs/rain-gardens/>> Acceso en agosto, 2014.

STROUD WATER RESEARCH CENTER. Disponible en: <<http://stroudcenter.org/news/>> Acceso en junio, 2015.

TALLER CAPITAL. Disponible en: <<http://www.tallercapital.mx/>> Acceso en marzo, 2017.

TALLER DE OPERACIONES AMBIENTALES (TOA). Disponible en: <<http://www.tallertoa.com/v1/index.php>> Acceso en agosto, 2015.

TECTÓNICA BLOG. *Construcciones. Chultún*. Marzo, 2015. Disponible en: <<http://tectonicablog.com/?p=57303>> Acceso en agosto, 2015.

TEXAS' BOTANIC GARDEN. Disponible en: <<https://www.wildflower.org/>> Acceso en junio, 2014.

THE INTERNATIONAL PLANT NAMES INDEX (IPNI). Disponible en: <<http://www.ipni.org/>> Acceso en junio, 2015.

THE PLANT LIST. Disponible en: <<http://www.theplantlist.org/>> Acceso en junio, 2015.

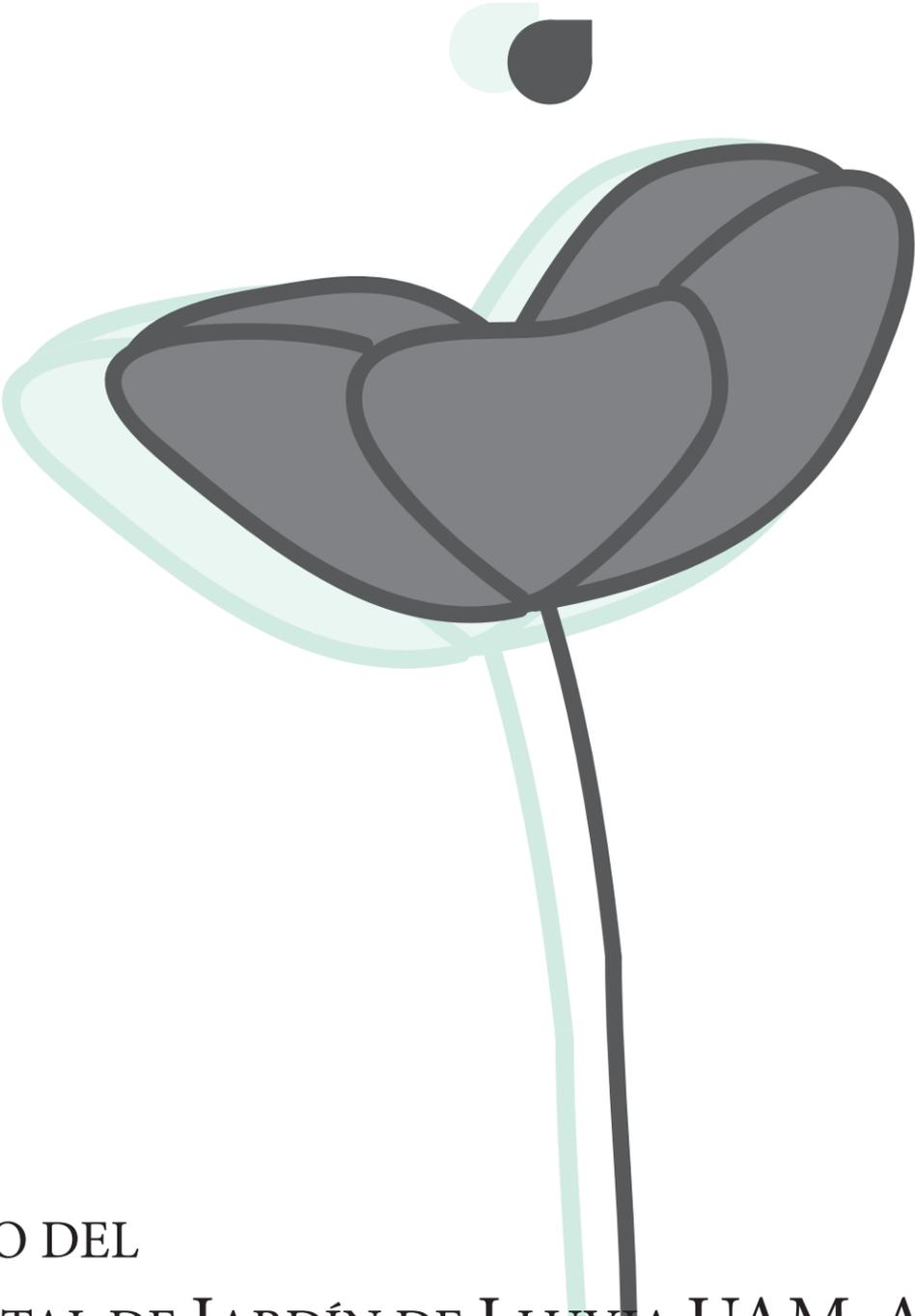
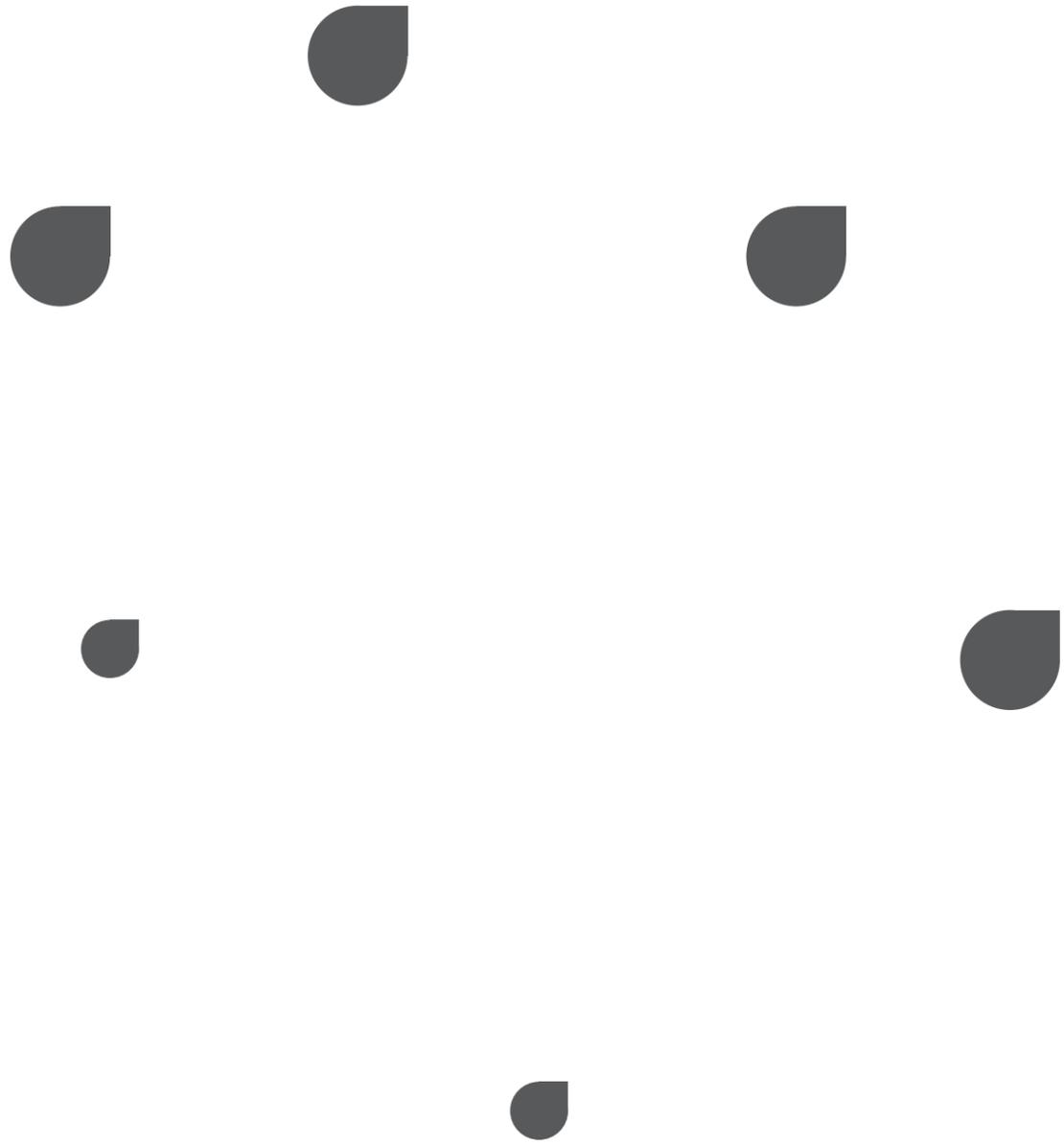
TRAFFIC CALMING. Disponible en: <<http://trafficalming.org/definition/>> Acceso en julio, 2015.

UNIDAD DE INFORMÁTICA PARA LA BIODIVERSIDAD (UNIBIO). Disponible en: <<http://unibio.unam.mx/>> Acceso en agosto, 2015.

UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (UICN). Disponible en: <<https://www.iucn.org/es>> Acceso en junio, 2015.

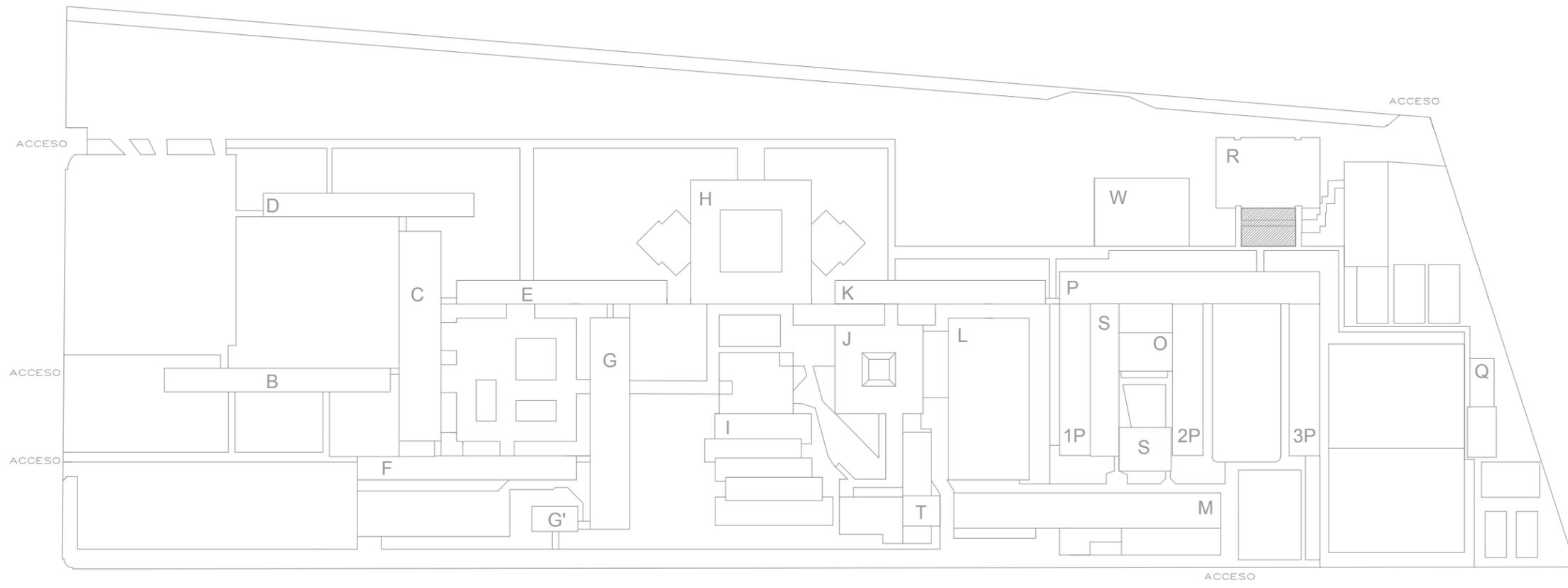
UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Disponible en: <<https://www.epa.gov/>> Acceso en junio, 2015.

WWT WETLAND CENTRES. Disponible en: <<https://www.wwt.org.uk/get-involved/get-involved/gardening-for-wetlands/rain-gardening/>> Acceso en junio, 2015.



ANEXO A
PROYECTO EJECUTIVO DEL
MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

AV. SAN PABLO



EJE VIAL 5 NORTE

ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

 Sitio de estudio

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

UBICACIÓN DEL JARDÍN DE LLUVIA

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

01

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:2500

ACOTACIÓN:

metros

CLAVE:

A-01

FECHA:

21/JULIO/2014

EDIFICIO R

ACCESO AL EDIFICIO

ACCESO AL EDIFICIO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Azcapotzalco
Casa abierta al tiempo



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

- Área con potencial de captación pluvial
- Área con potencial de acción

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONFRE

NOMBRE DEL PLANO:

ANÁLISIS DEL SITIO DE ESTUDIO

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

02

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:100

ACOTACIÓN:

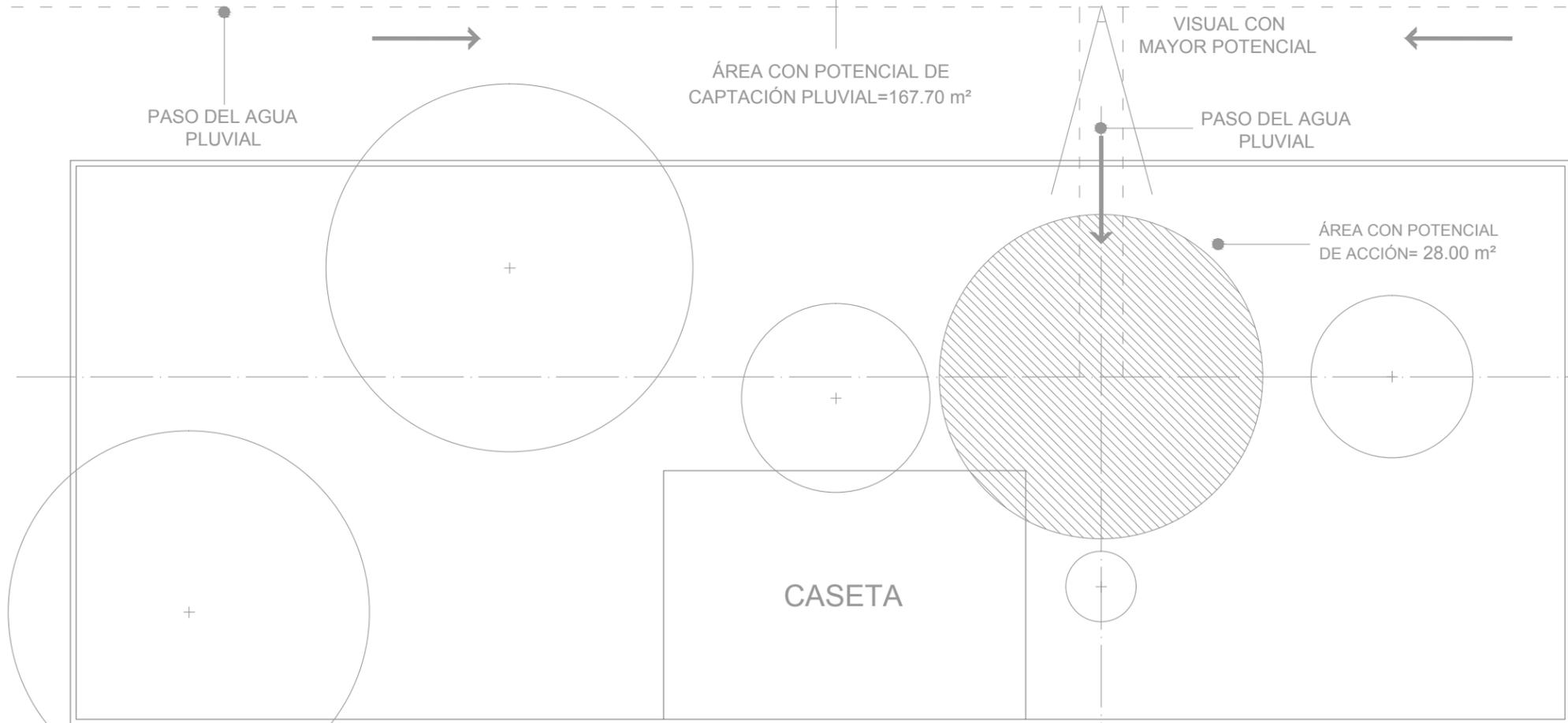
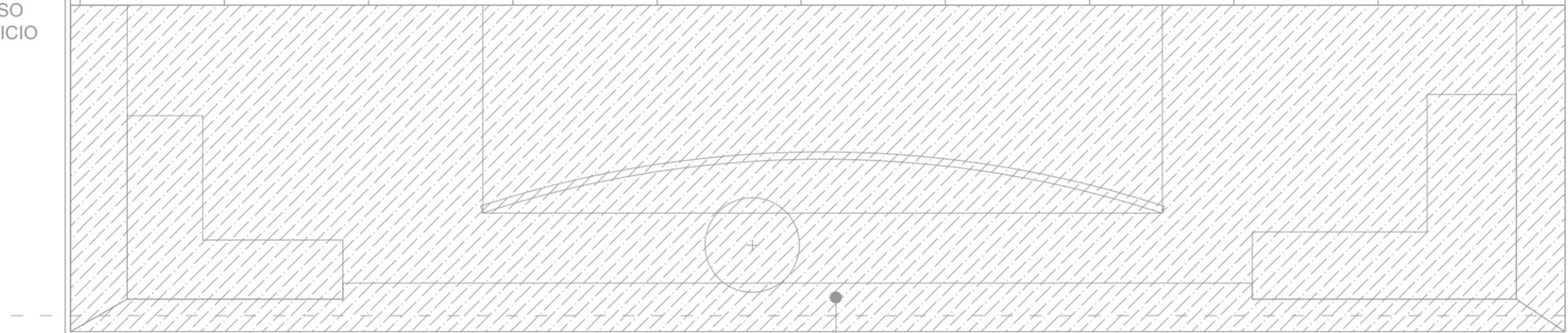
metros

CLAVE:

A-02

FECHA:

21 / JULIO / 2014



ÁREA CON POTENCIAL DE CAPTACIÓN PLUVIAL=167.70 m²

ÁREA CON POTENCIAL DE ACCIÓN= 28.00 m²

CASETA

EJE NATURAL DE COMPOSICIÓN

AL EDIFICIO P

VISUAL 1

S

EJE NATURAL DE COMPOSICIÓN

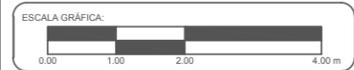
VISUAL 2



LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

- Circulación primaria
- Circulación secundaria
- Flujo alto
- Flujo bajo



PROYECTO:
**MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A**

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DIAGRAMA DE CIRCULACIONES

ÁREA: **14.00 m²** N° DE PLANO: **03**

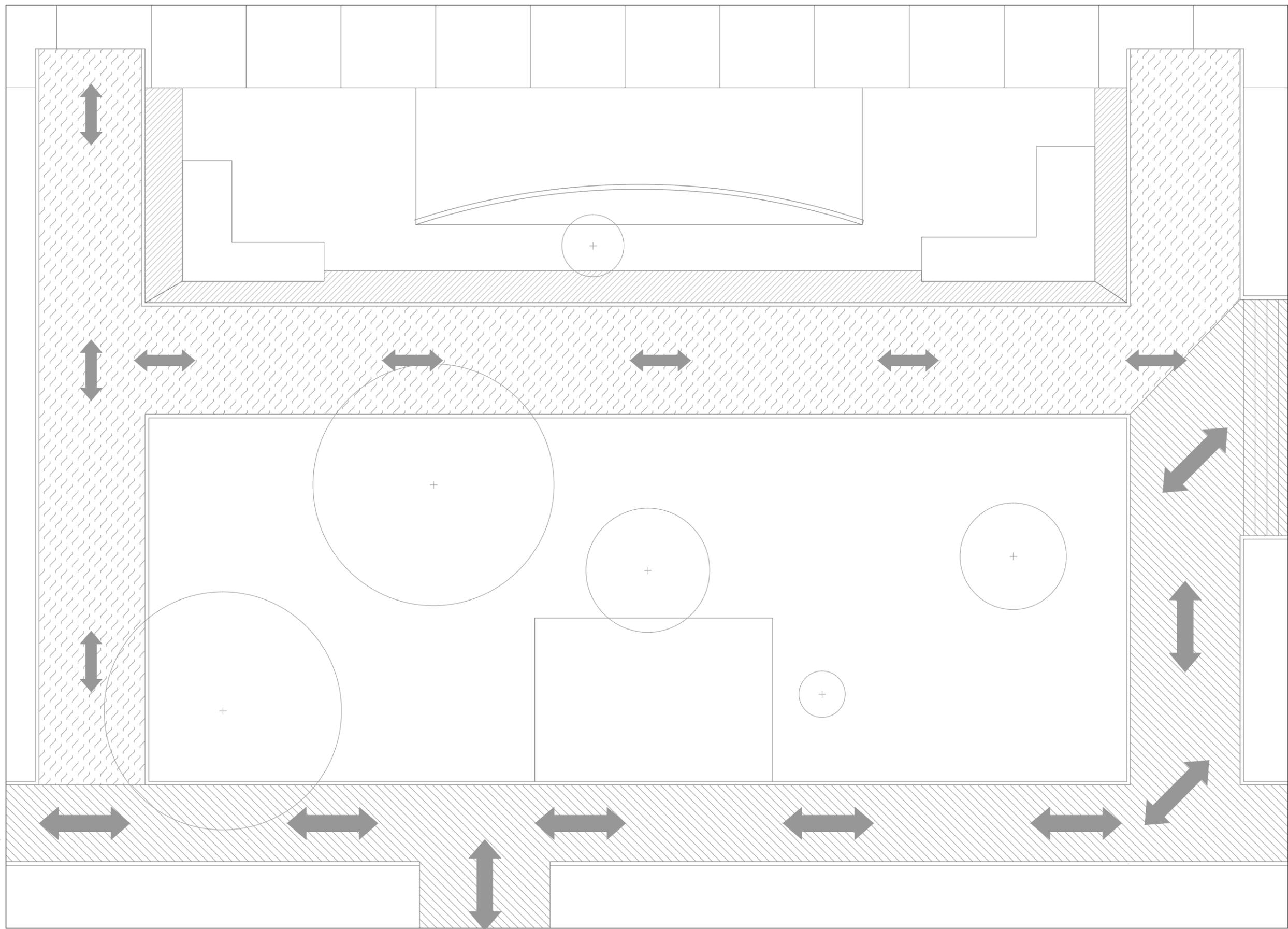
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

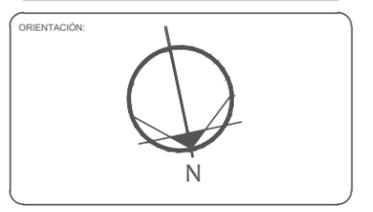
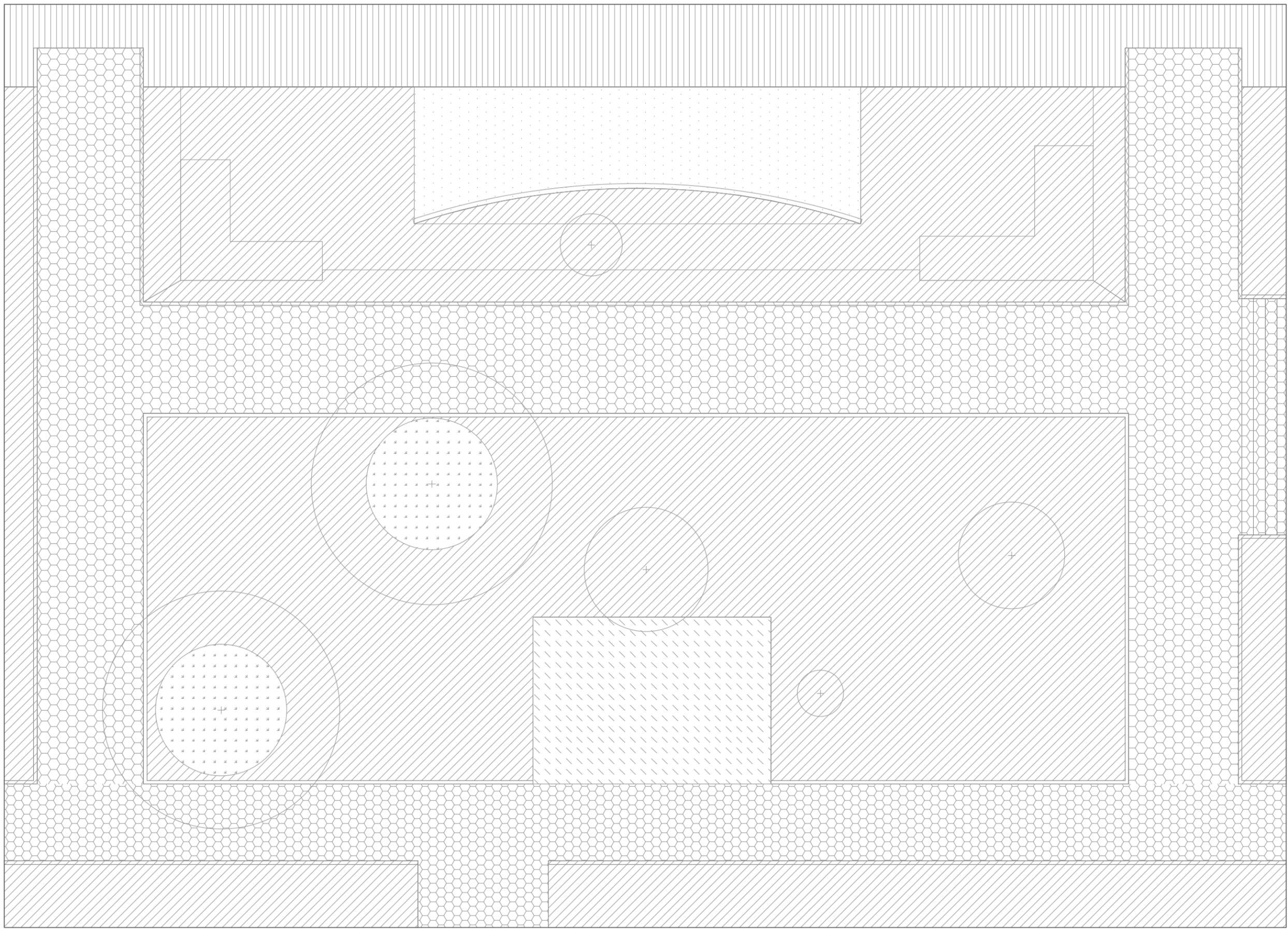
ESCALA:
1:100

ACOTACIÓN:
metros

FECHA:
21 / JULIO / 2014

CLAVE:
A-03

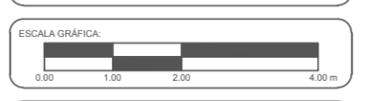




LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ÁREA	USO		
	Parterre		Área verde
	Caseta		Almacenar
	Edificio R		Ejercitar
	Tanque de gas		Calentar agua
	Andador		Circular
	Jardinera		Descansar



PROYECTO:
**MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A**

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DIAGRAMA DE USOS

ÁREA: **14.00 m²** N° DE PLANO: **04**

PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:100

ACOTACIÓN:
metros

FECHA:
21 / JULIO / 2014

CLAVE:
A-04

ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ÁREA	USO/HORARIO
	Andador principal ALTO/ 07:00-19:00
	Jardinera ALTO/ 08:00-19:00
	Edificio R ALTO/ 09:00-18:00
	Andador secundario MEDIO/ 10:00-18:00
	Almacenes BAJO-PASIVO 24 HORAS CONTINUAS SIN TRÁNSITO

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

DIAGRAMA DE USOS POR HORARIOS

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

05

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:100

ACOTACIÓN:

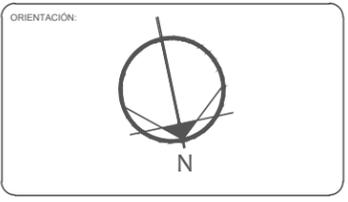
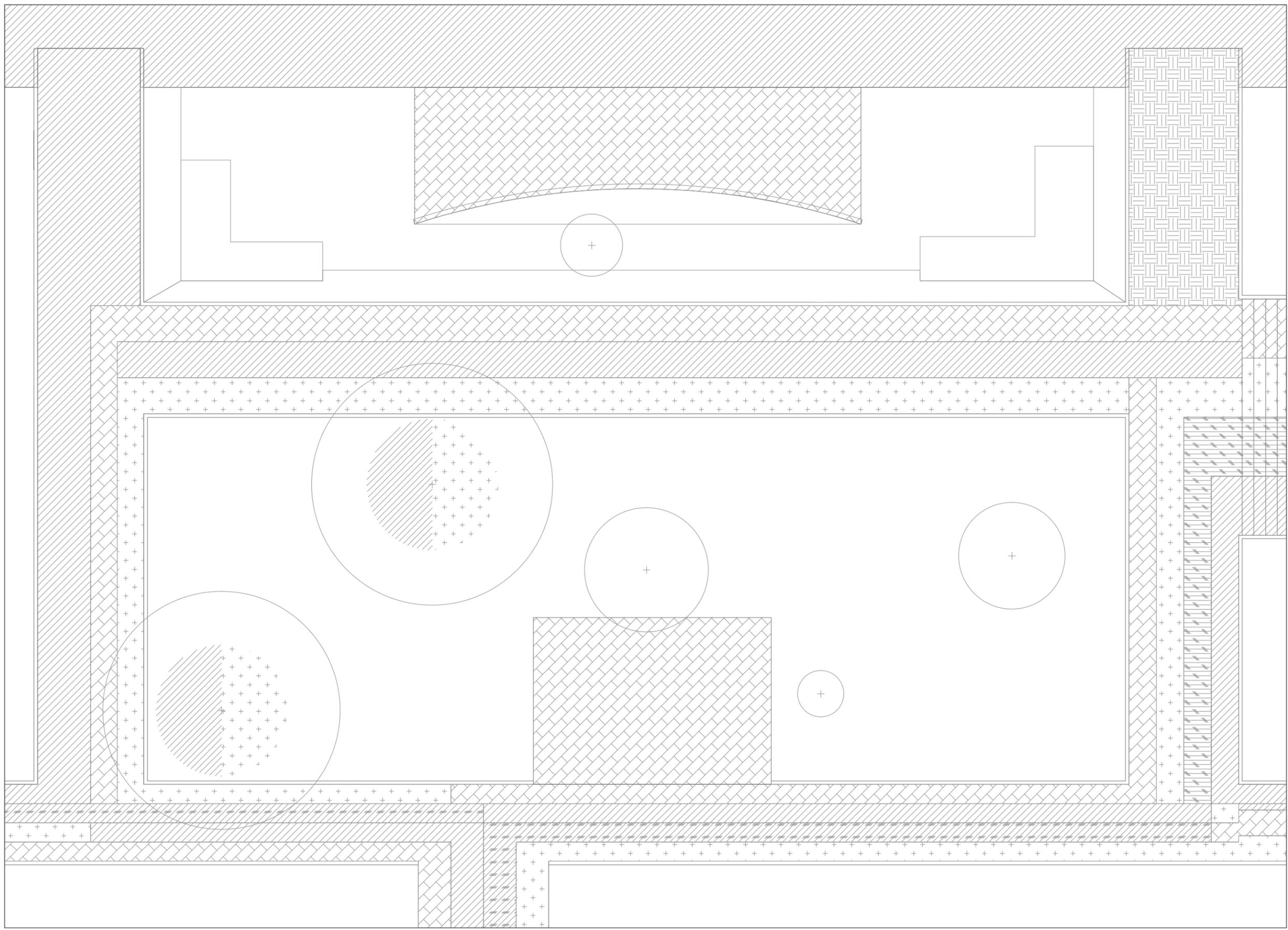
metros

CLAVE:

A-05

FECHA:

21 / JULIO / 2014

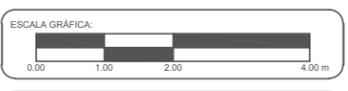


LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

USUARIO

- Alumnos que usan las áreas deportivas
- Alumnos varios
- Trabajadores de la UAM
- Académicos de la UAM
- En desuso



PROYECTO:
**MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A**

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DIAGRAMA DE USUARIOS

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
06

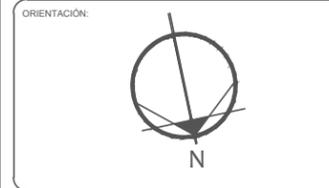
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:100

ACOTACIÓN:
metros

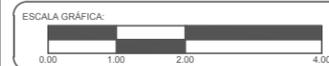
FECHA:
21 / JULIO / 2014

CLAVE:
A-06



LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:
Ec=*Euphorbia cotinifolia*
LI=*Ligustrum lucidum*
*LI**=*Ligustrum lucidum* (muerto)
Mc=*Myrtus communis*
Tm=*Taxodium mucronatum*



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
LEVANTAMIENTO DEL
SITIO DE ESTUDIO

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
07

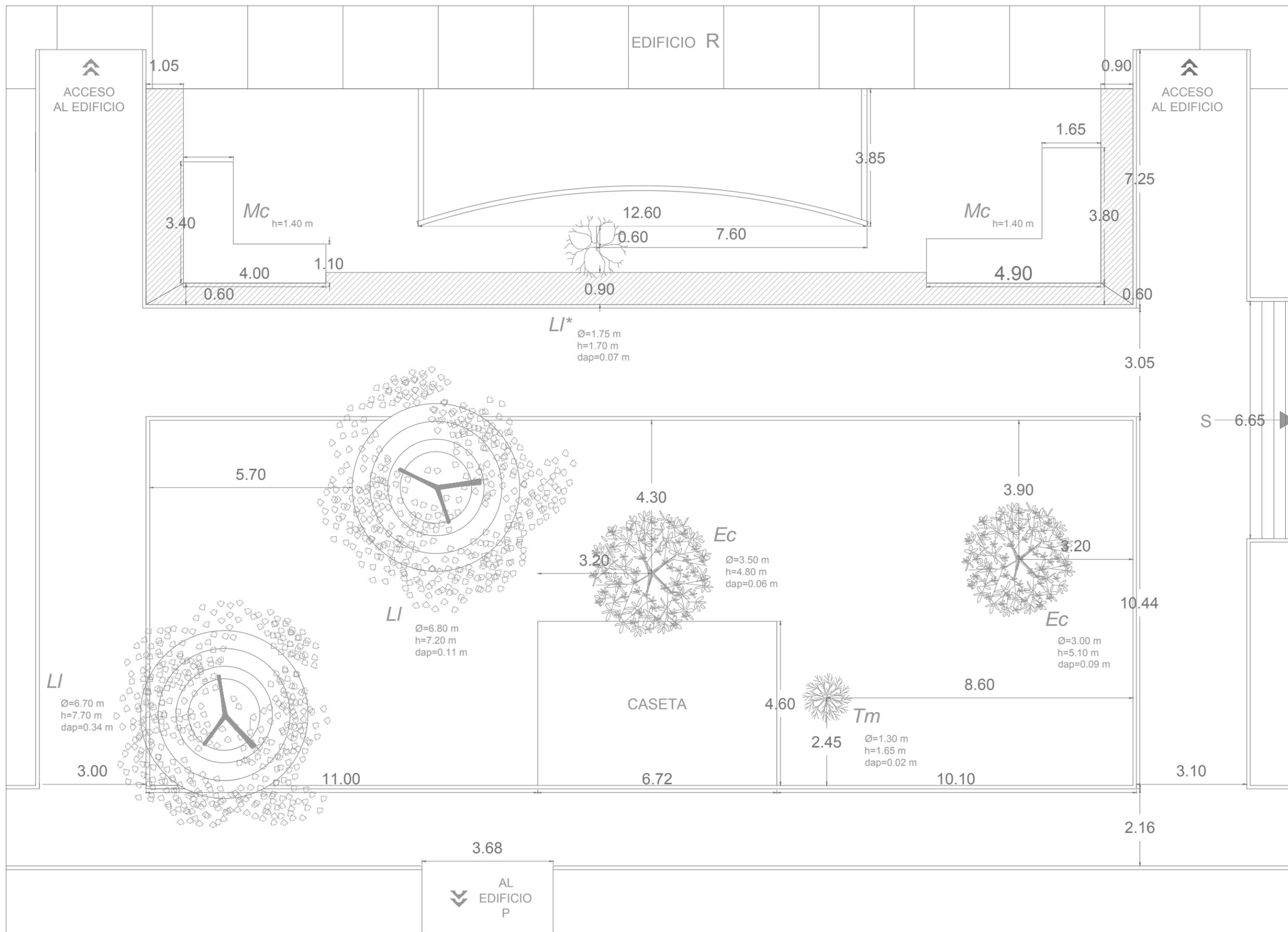
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:100

ACOTACIÓN:
metros

CLAVE:
A-07

FECHA:
21 / JULIO / 2014





LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
**MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A**

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
EJES RECTORES

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
08

PLAN DE ESTUDIOS:
MAestrÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:100

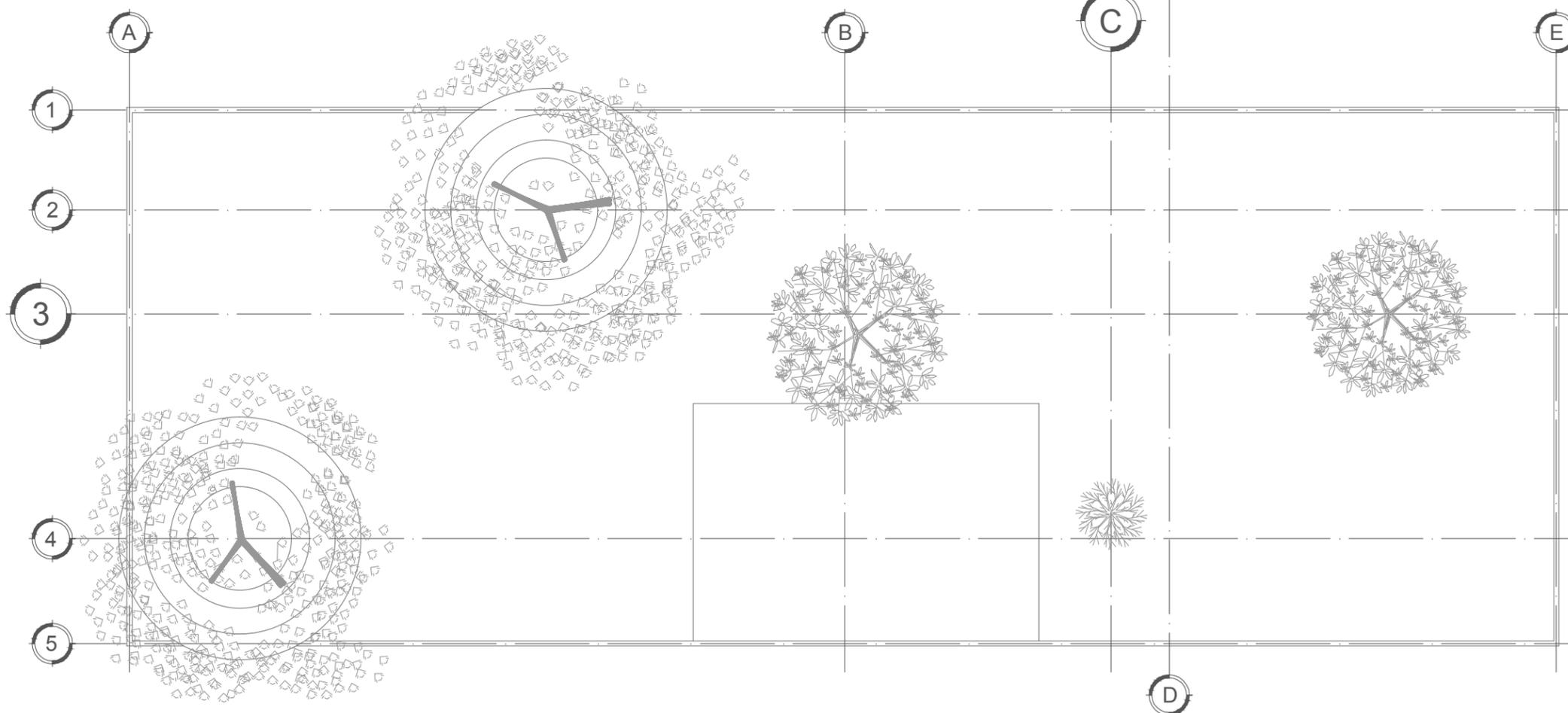
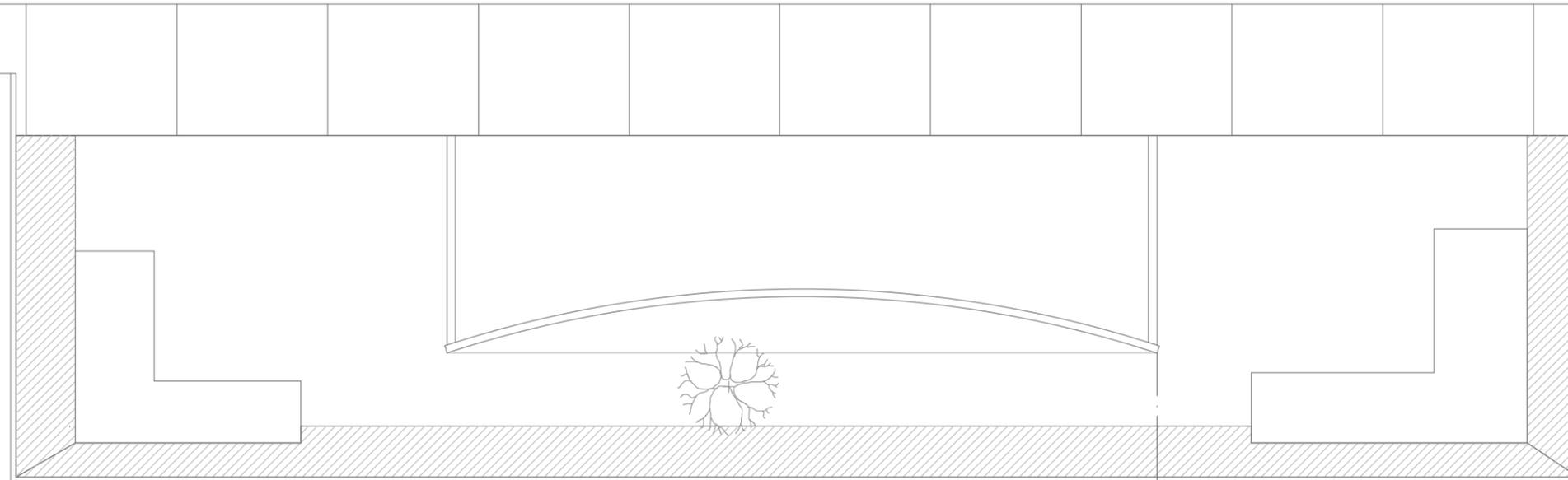
ACOTACIÓN:
metros

CLAVE:
A-08

FECHA:
21 / JULIO / 2014

↑
ACCESO
AL EDIFICIO

↑
ACCESO
AL EDIFICIO



↓
AL
EDIFICIO
P

ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

TRAZO GENERAL DE LAS CANALETAS

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

09

PLAN DE ESTUDIOS:

MAestrÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:100

ACOTACIÓN:

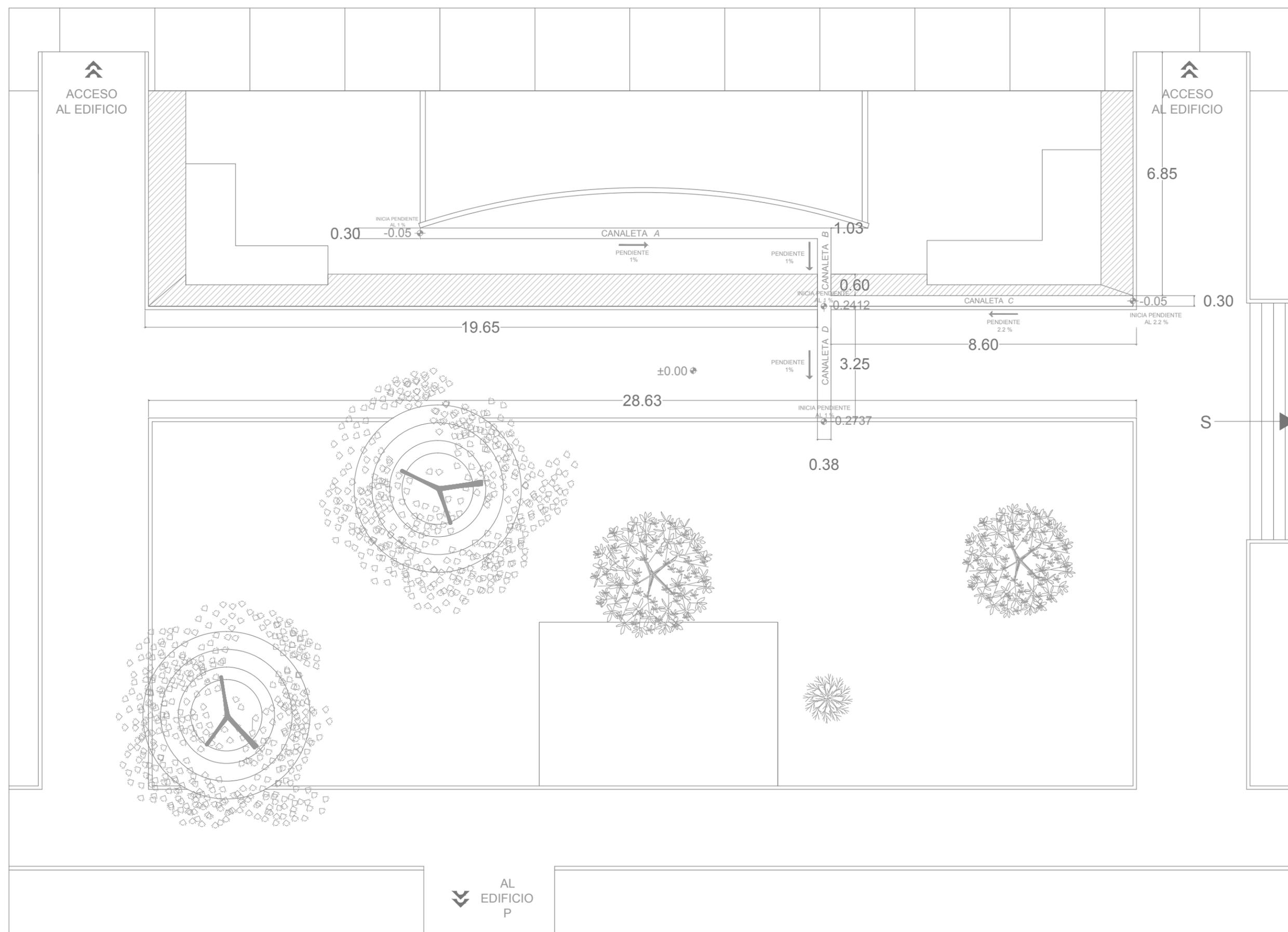
metros

CLAVE:

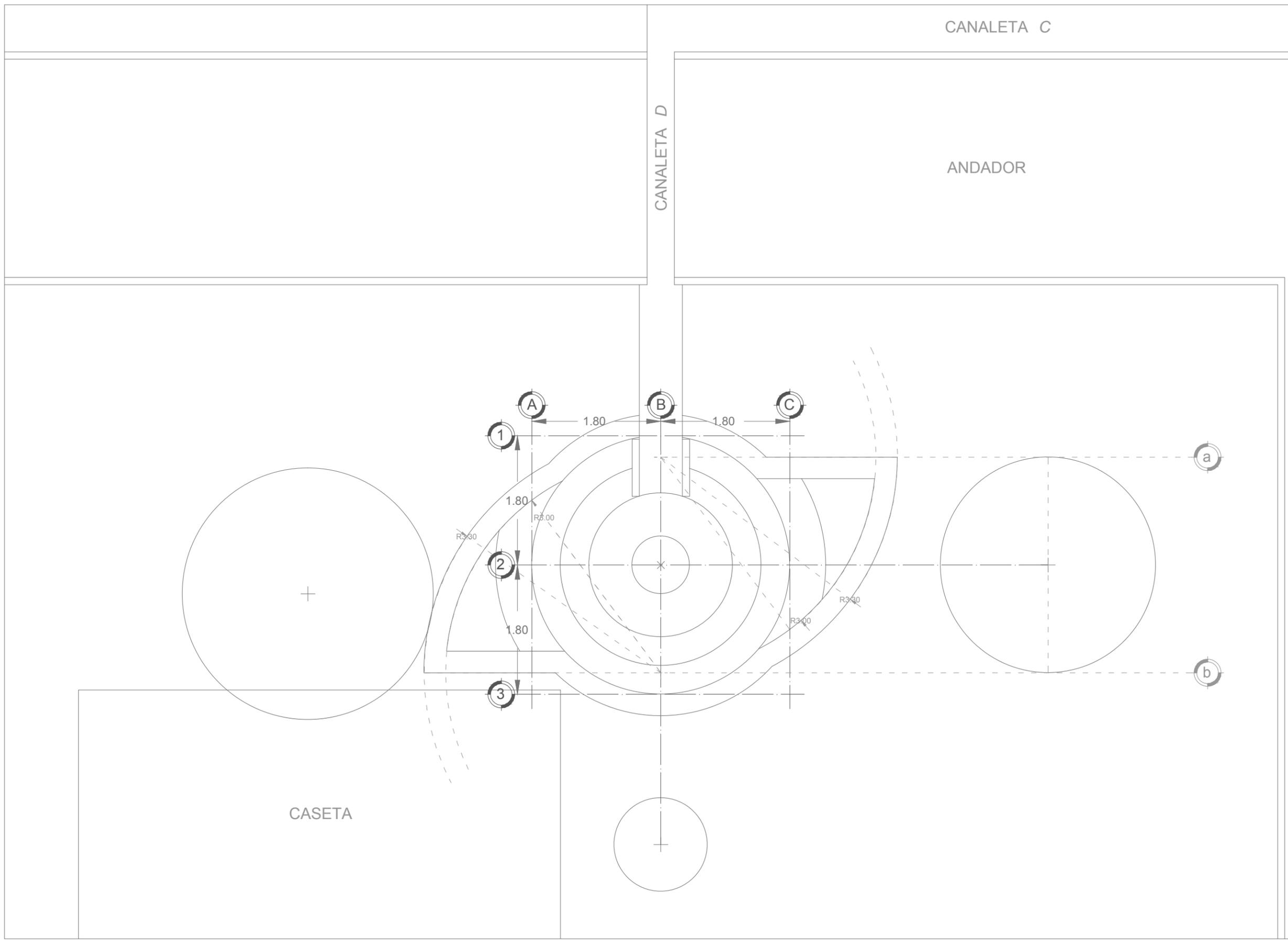
A-09

FECHA:

21 / JULIO / 2014



AL
EDIFICIO
P



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

TRAZO

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

11

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:50

ACOTACIÓN:

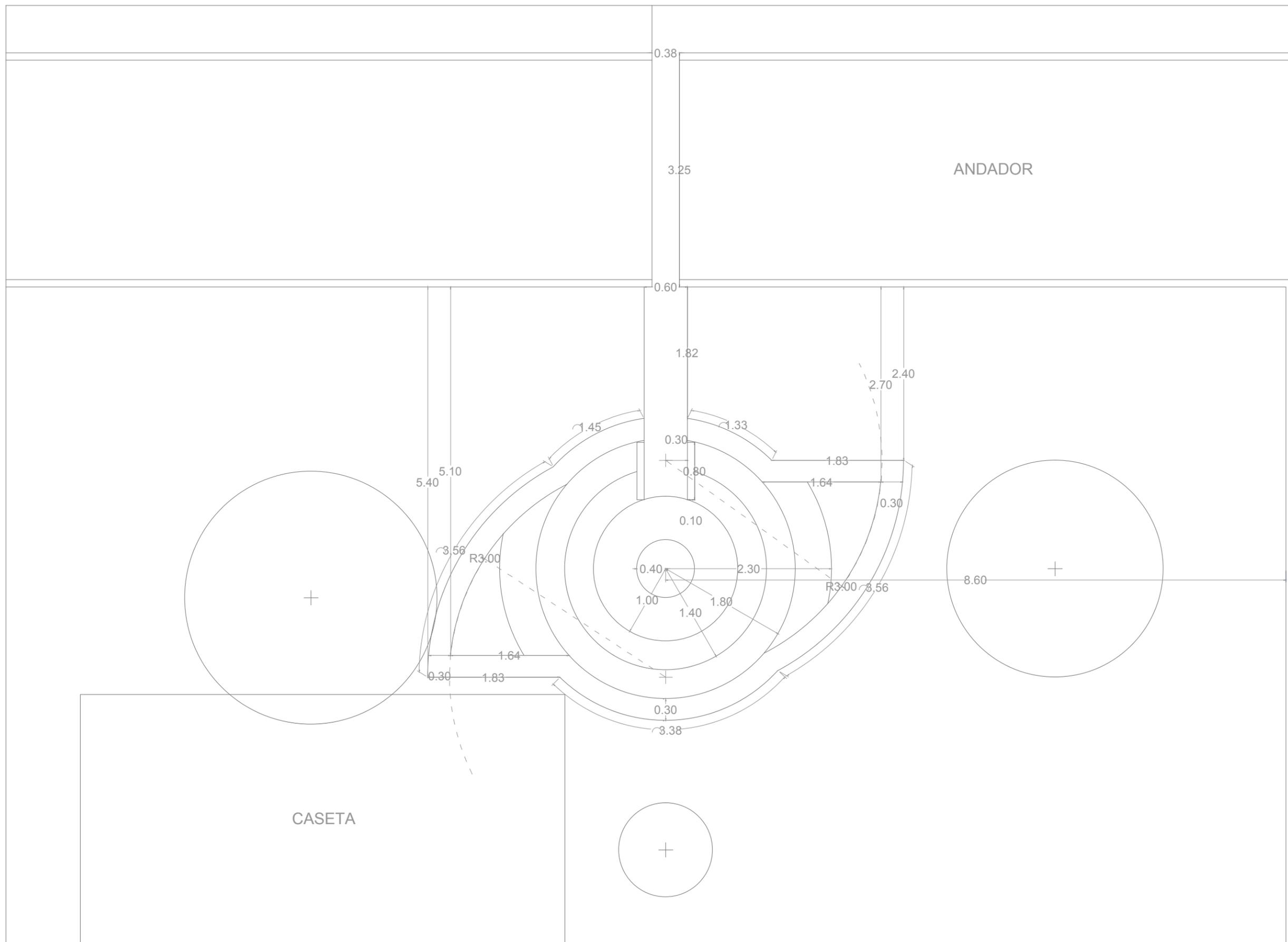
metros

CLAVE:

A-11

FECHA:

21 / JULIO / 2014



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

NIVELACIÓN

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

12

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:50

ACOTACIÓN:

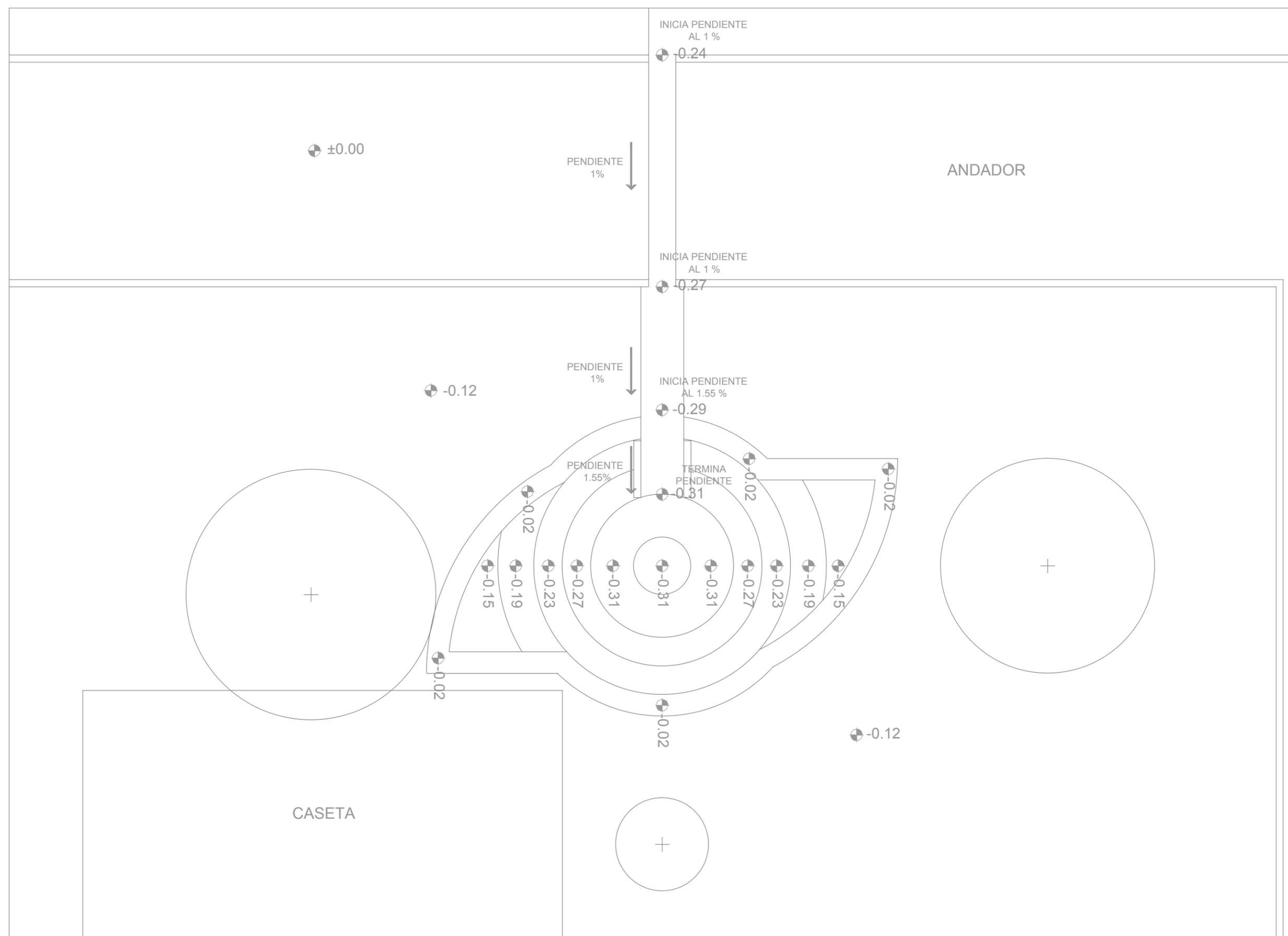
metros

CLAVE:

A-12

FECHA:

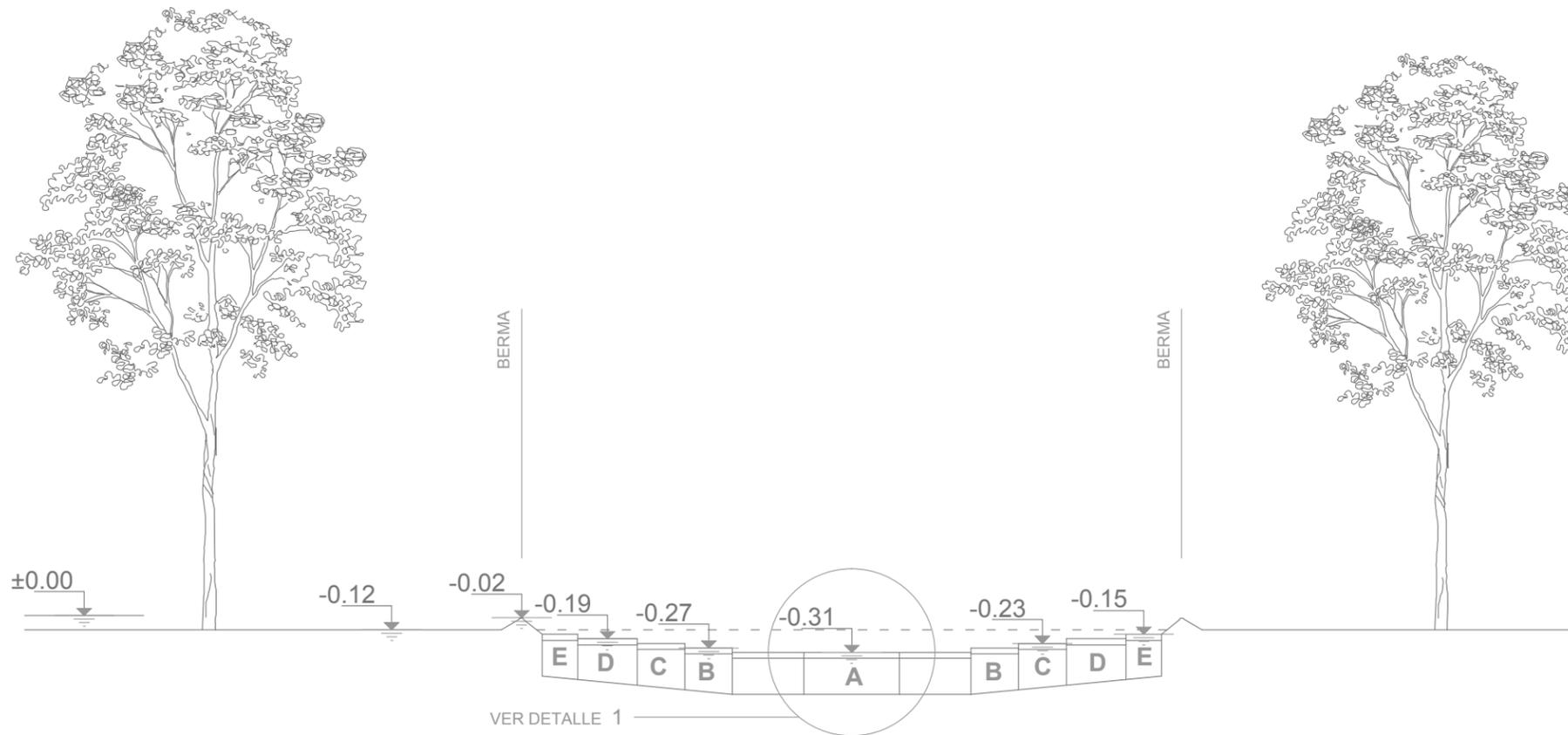
21 / JULIO / 2014





CORTE TRANSVERSAL A-A'

Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A **ESC 1:50**



CORTE TRANSVERSAL B-B'

Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A **ESC 1:50**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
**MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A**

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
**CORTE LONGITUDINAL
Y TRANSVERSAL**

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
13

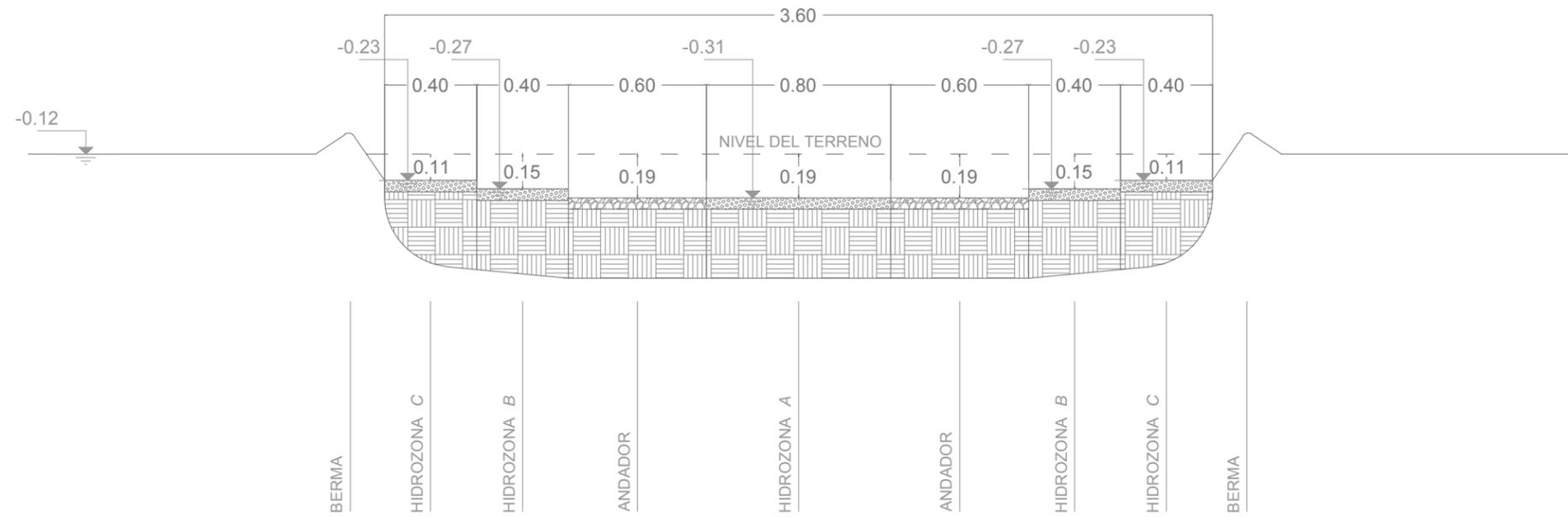
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:50

ACOTACIÓN:
metros

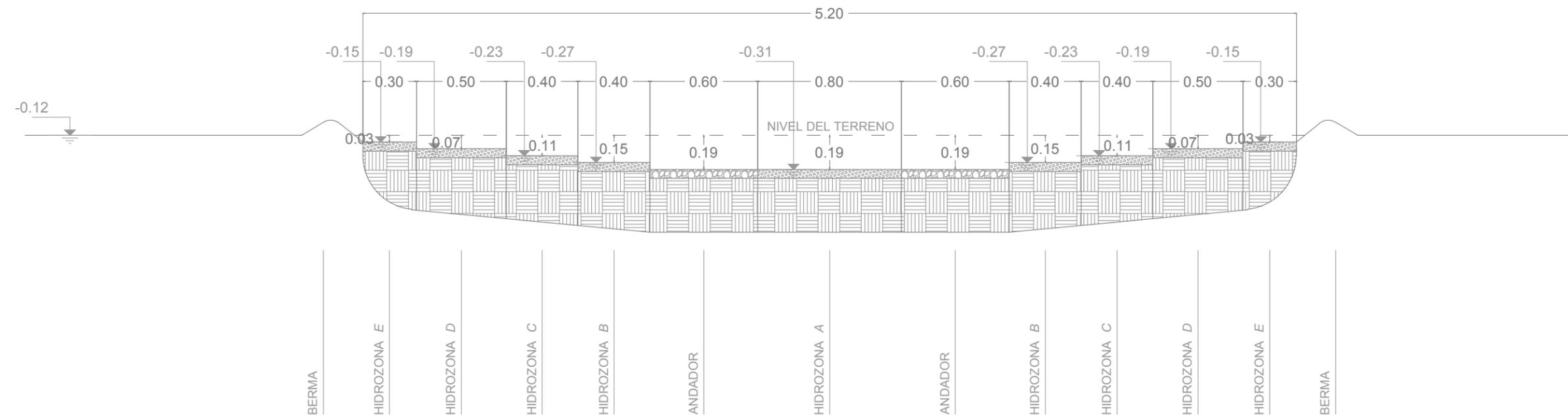
CLAVE:
A-13

FECHA:
21 / JULIO / 2014



CORTE SECCIÓN A-A'

Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A **ESC 1:25**



CORTE SECCIÓN B-B'

Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A **ESC 1:25**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
SECCIONES

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
14

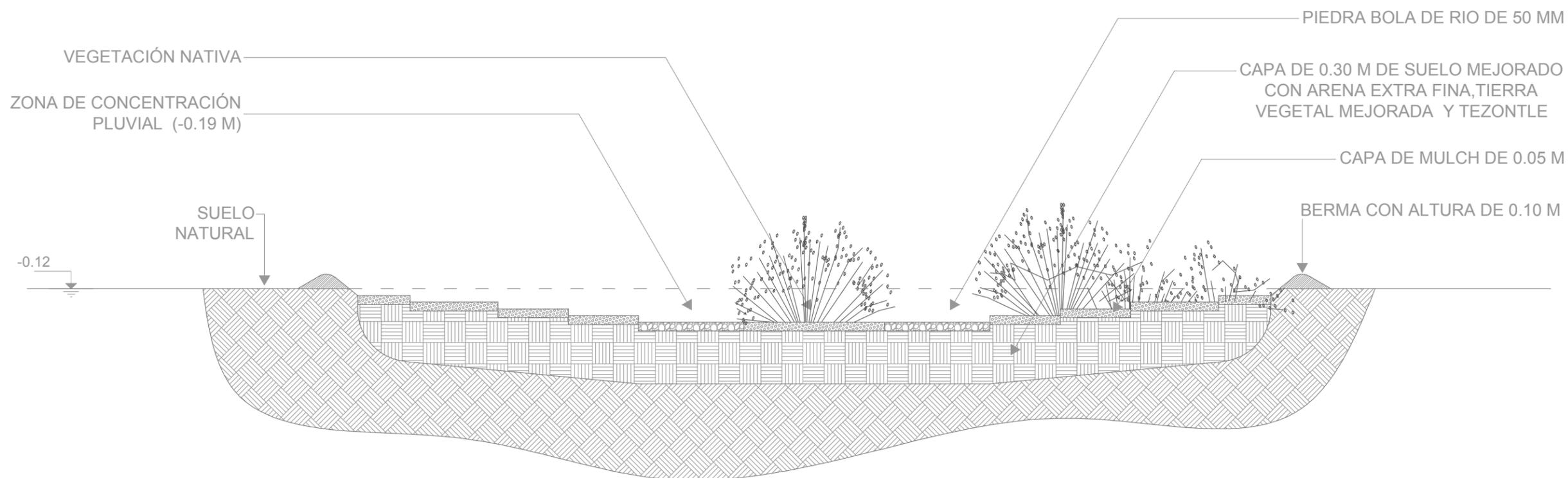
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:25

ACOTACIÓN:
metros

CLAVE:
A-14

FECHA:
21 /JULIO/ 2014



NOTAS:

1. LA CAPA DE SUELO DE PLANTACIÓN DEBERÁ MEJORARSE CON ARENA DE GRANULOMETRÍA EXTRA FINA EN PROPORCIÓN 1:10; TIERRA VEGETAL MEJORADA EN PROPORCIÓN 1:2 Y TEZONTLE DE GRANULOMETRÍA DE 3-8 MM EN PROPORCIÓN 1:5.
2. EL SUELO EXISTENTE DEBERÁ RASTRILLARSE PREVIO A LA COLOCACIÓN DEL SUELO DE PLANTACIÓN, CON EL FIN DE EVITAR LA COMPACTACIÓN DEL MISMO Y PERMITIR LA INFILTRACIÓN DEL AGUA PLUVIAL.
3. PARA REALIZAR LA CONSTRUCCIÓN DE LA BERMA, LA TIERRA QUE SE UTILICE EN LA MISMA DEBERÁ APISONARSE CON EL FIN DE CREAR UNA BARRERA EFICIENTE QUE IMPIDA EL DESBORDAMIENTO DEL AGUA. **VER DETALLE 17.**
4. LA CAPA DE *MULCH* SE OBTENDRÁ COMO RESULTADO DE LA TRITURACIÓN DE LAS RAMAS DE PODA DE LOS ÁRBOLES DE LA UNIVERSIDAD, CON LA FINALIDAD DE REDUCIR COSTOS Y TRASLADOS; DICHA CAPA AUMENTARÁ SU GROSOR EN LA TEMPORADA DE INVIERNO CON EL FIN DE PROTEGER LAS RAÍCES DE LAS PLANTAS Y COMO PARTE DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.

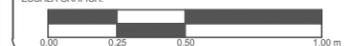
ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

DETALLE CONSTRUCTIVO
FUNCIONAMIENTO

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

15

PLAN DE ESTUDIOS:

MAestría EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

metros

CLAVE:

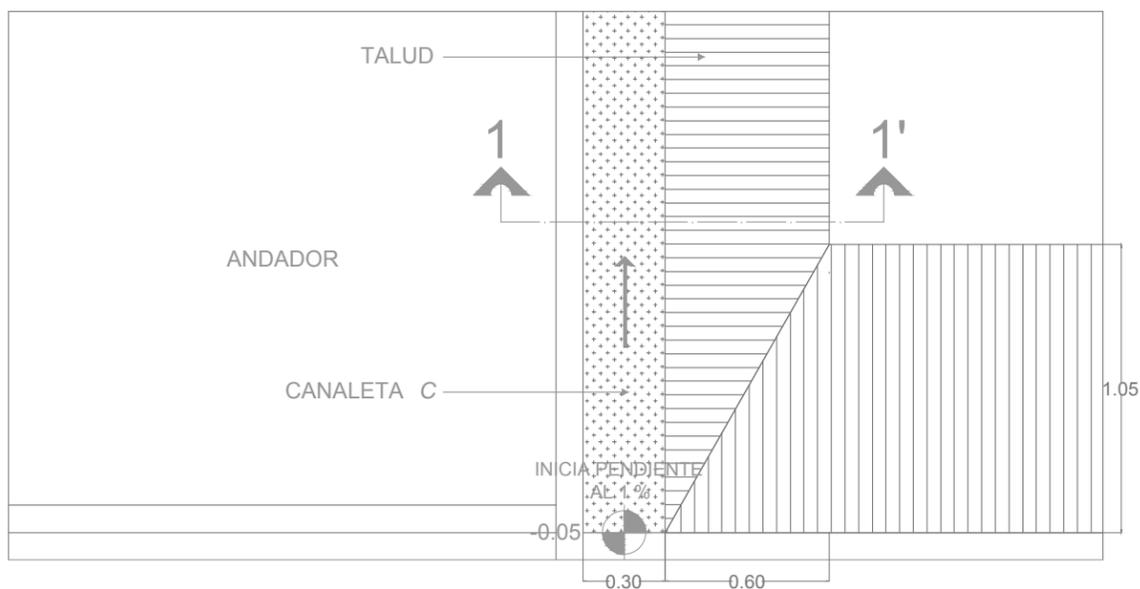
D-01

FECHA:

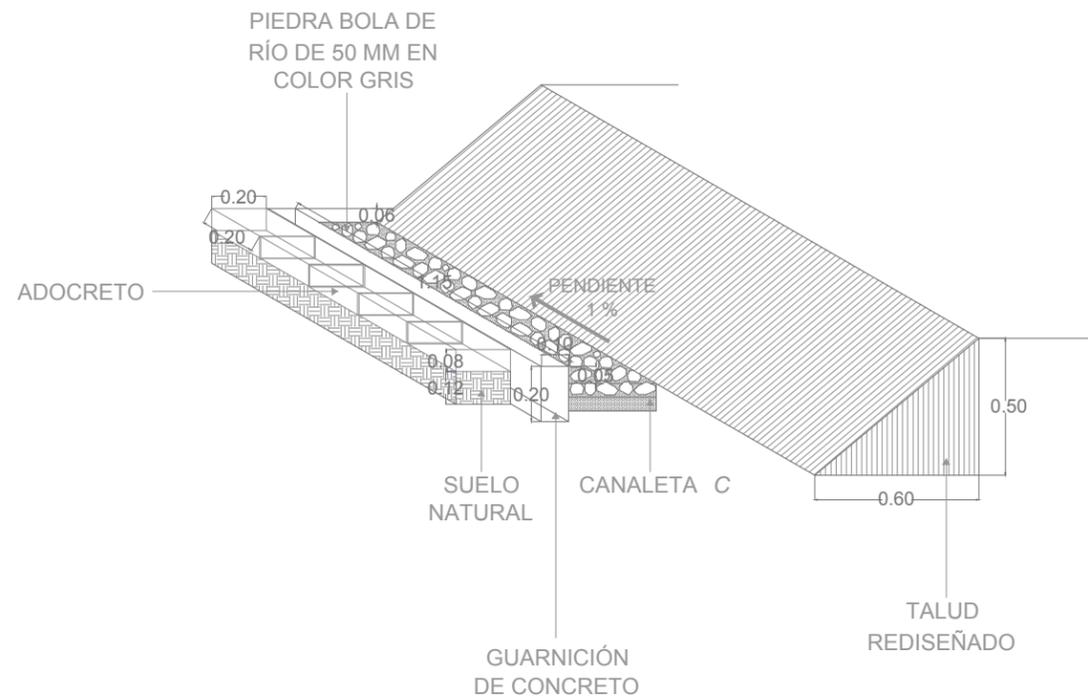
21 /JULIO/ 2014

1 DETALLE CONSTRUCTIVO
Componentes del suelo

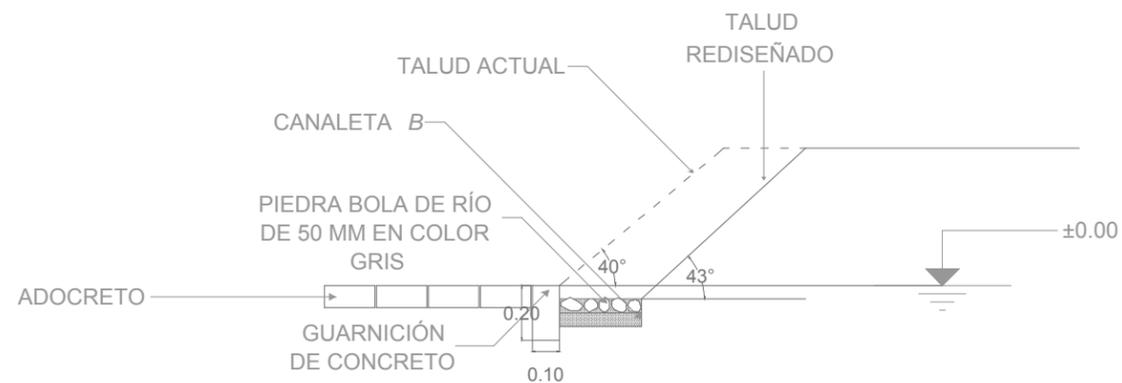
ESC 1:25



2 DETALLE CONSTRUCTIVO
Planta-Talud **ESC 1:25**



3 DETALLE CONSTRUCTIVO
Perspectiva-Talud **ESC 1:25**



4 DETALLE CONSTRUCTIVO
Corte 1-1'-Talud **ESC 1:25**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DETALLE CONSTRUCTIVO
TALUD

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
16

PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:25

ACOTACIÓN:
metros

CLAVE:
D-02

FECHA:
21 /JULIO/ 2014

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

DETALLE CONSTRUCTIVO
UNIÓN CANALETAS D Y E

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

17

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:10

ACOTACIÓN:

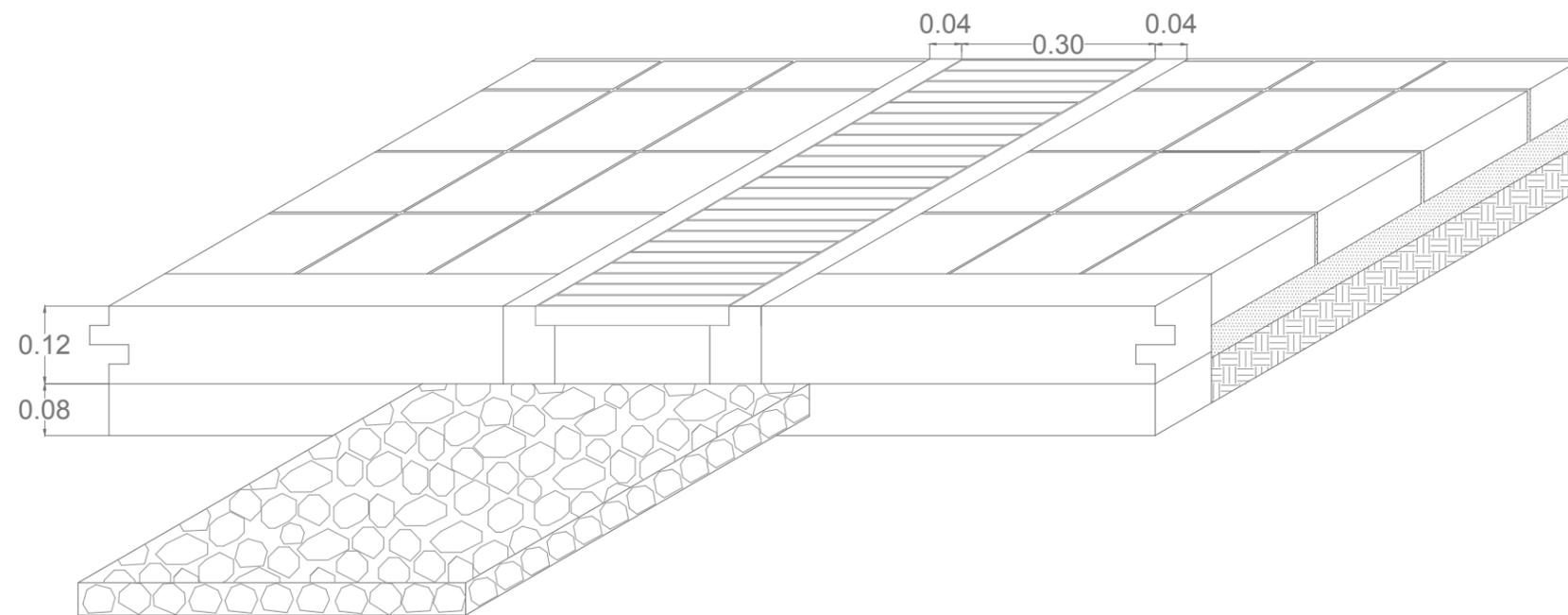
metros

CLAVE:

D-03

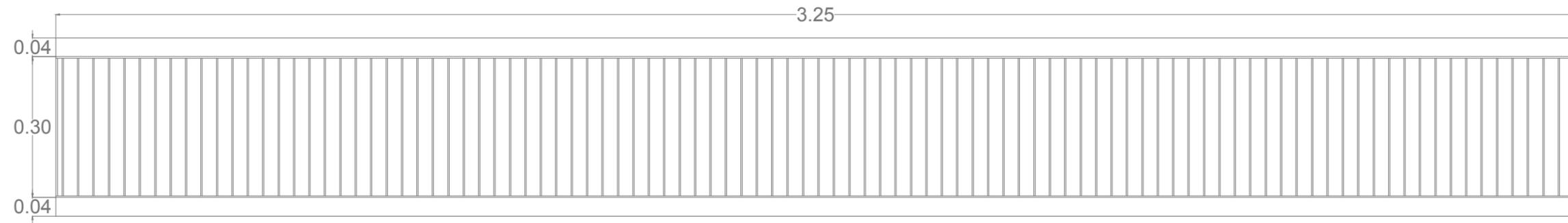
FECHA:

21 /JULIO/ 2014

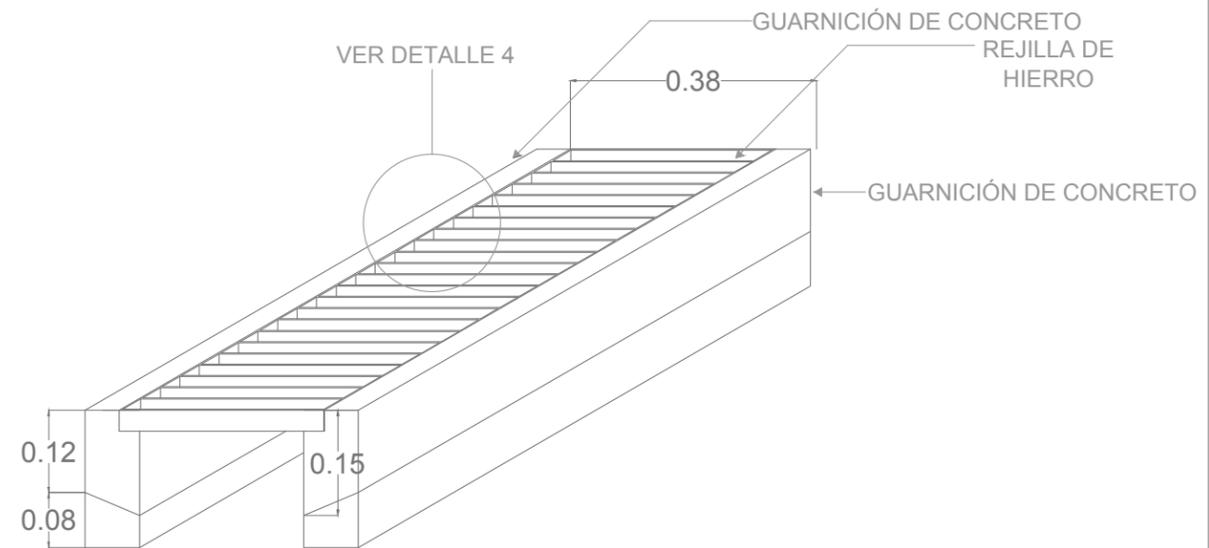


5 DETALLE CONSTRUCTIVO
Unión canaletas *D y E*

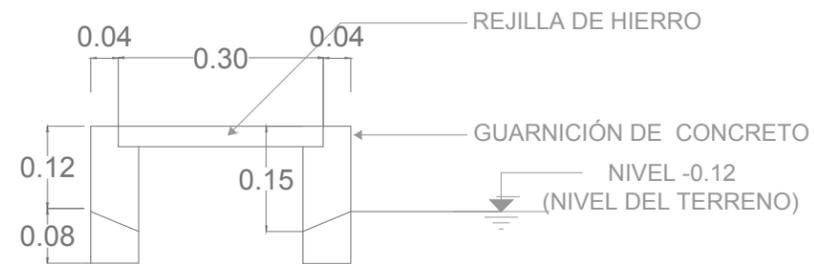
ESC 1:10



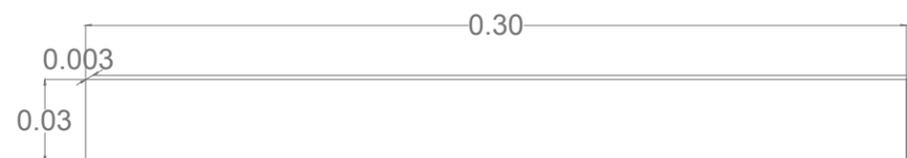
6 DETALLE CONSTRUCTIVO
Planta- Rejilla de la canaleta *D* **ESC 1:10**



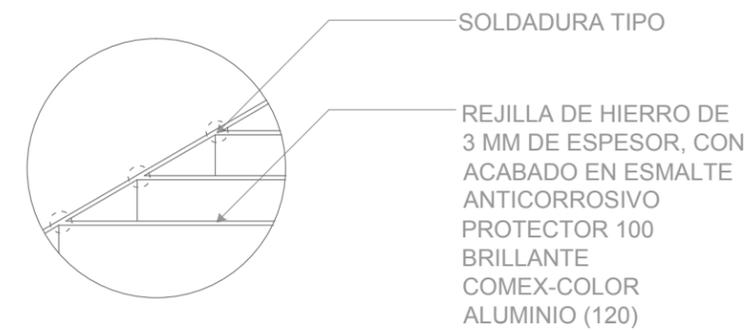
8 DETALLE CONSTRUCTIVO
Perspectiva- Rejilla de la canaleta *D* **ESC 1:10**



7 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado- Rejilla de la canaleta *D* **ESC 1:10**



9 DETALLE CONSTRUCTIVO
Rejilla tipo de la Canaleta *D* **SIN ESCALA**

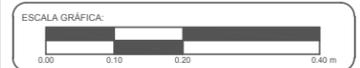


10 DETALLE CONSTRUCTIVO
Soldadura de rejillas **SIN ESCALA**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DETALLE CONSTRUCTIVO
REJILLA

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
18

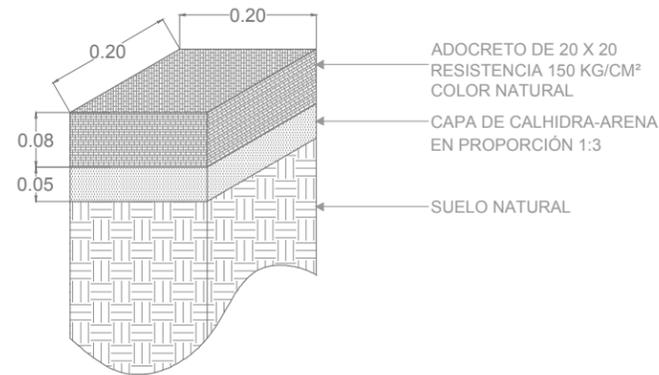
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:10

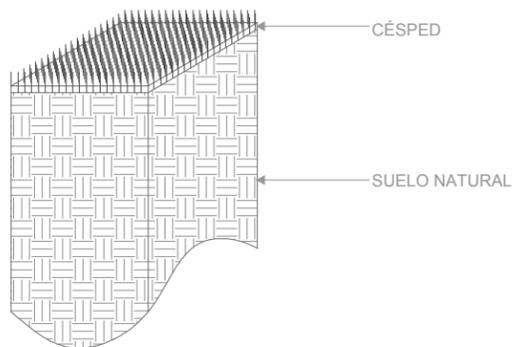
ACOTACIÓN:
metros

FECHA:
21 /JULIO/ 2014

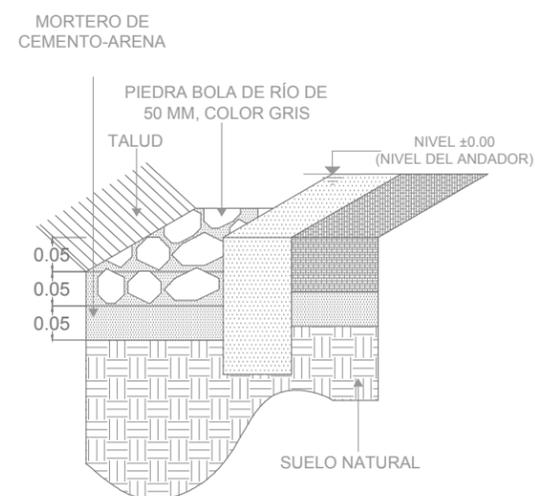
CLAVE:
D-04



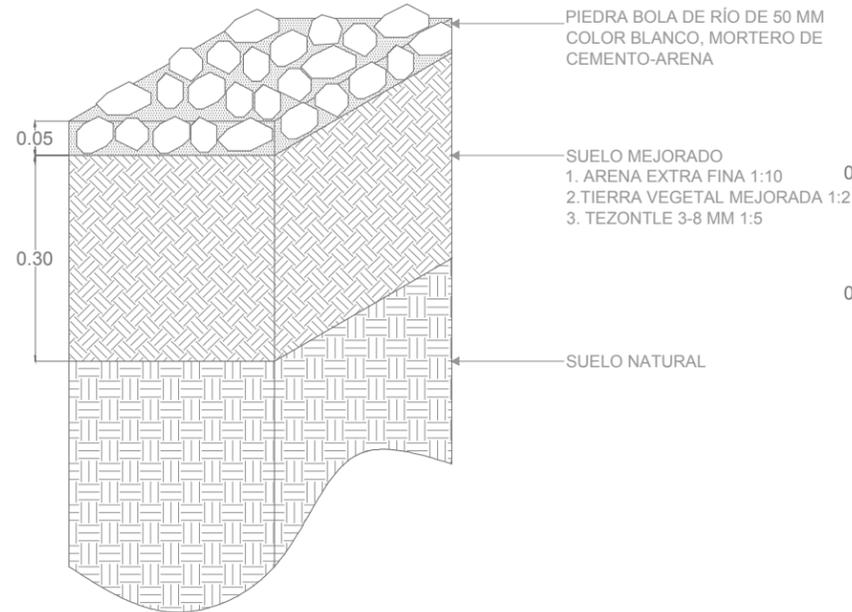
11 DETALLE CONSTRUCTIVO
Asentamiento-Adocreto en andador **ESC 1:10**



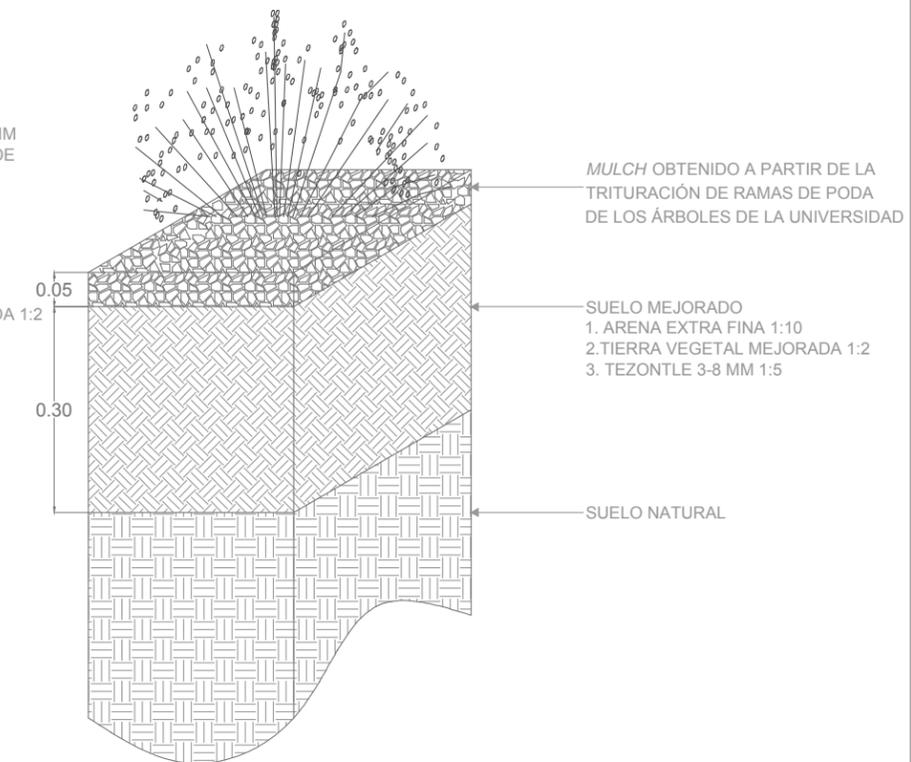
12 DETALLE CONSTRUCTIVO
Asentamiento-Césped en suelo natural **ESC 1:10**



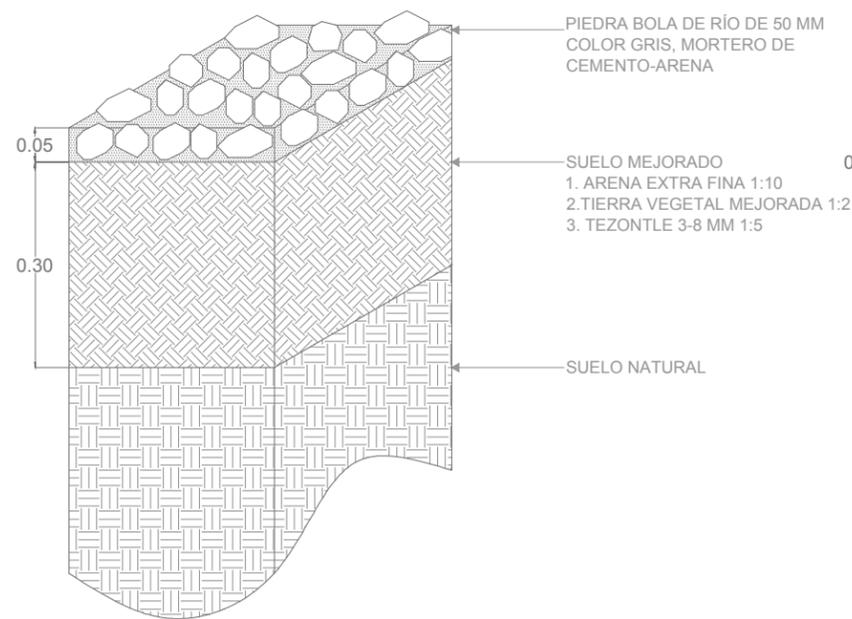
13 DETALLE CONSTRUCTIVO
Asentamiento-Canaletas A y C **ESC 1:10**



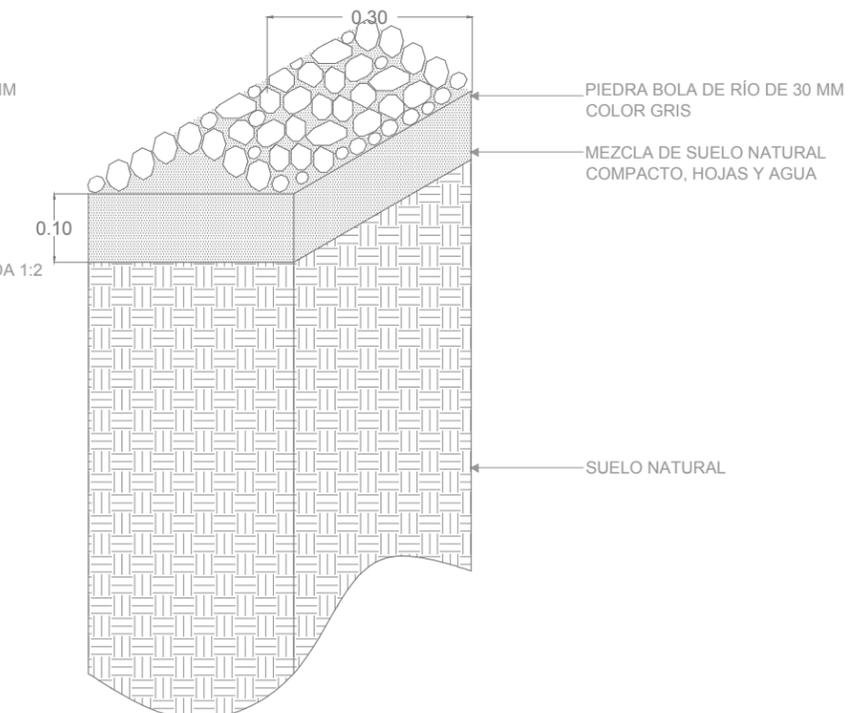
14 DETALLE CONSTRUCTIVO
Asentamiento-Piedra bola blanca en andador **ESC 1:10**



15 DETALLE CONSTRUCTIVO
Asentamiento-Mulch en plantación **ESC 1:10**



16 DETALLE CONSTRUCTIVO
Asentamiento-Piedra bola gris en andador **ESC 1:10**

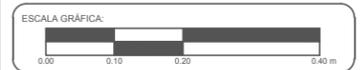


17 DETALLE CONSTRUCTIVO
Asentamiento-Berma **ESC 1:10**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DETALLE CONSTRUCTIVO
ASENTAMIENTOS

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
19

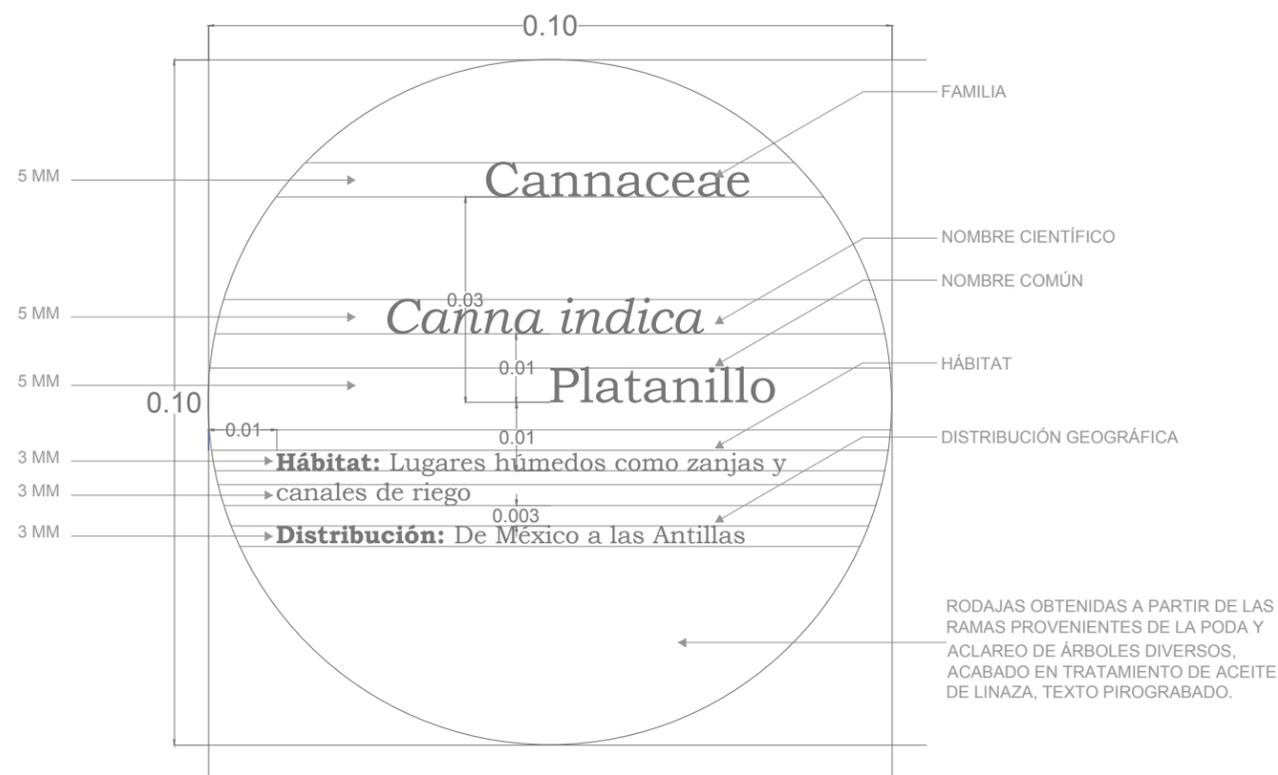
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:10

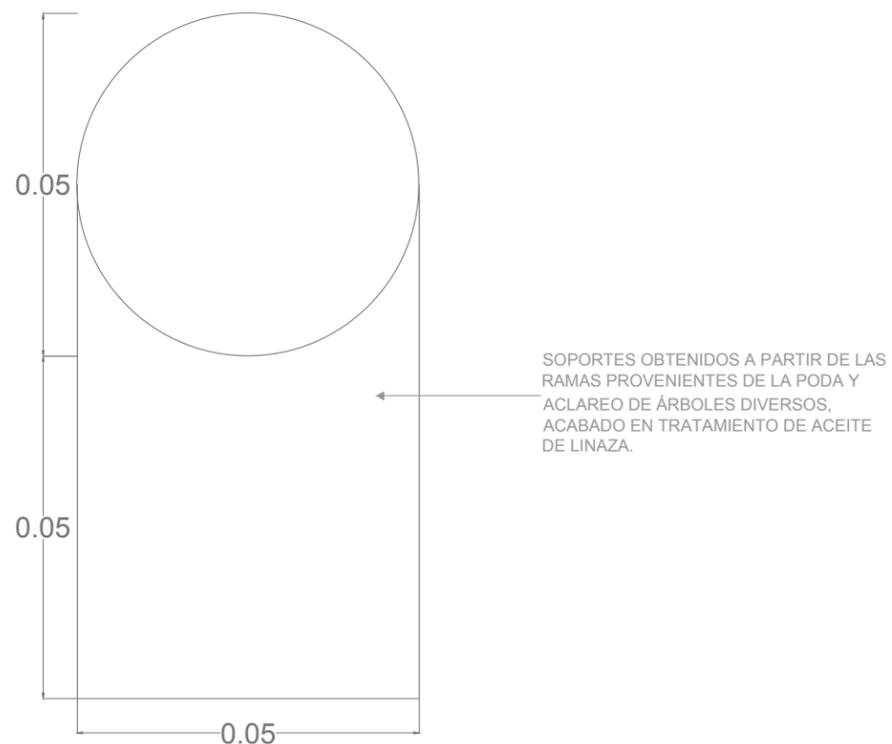
ACOTACIÓN:
metros

CLAVE:
D-05

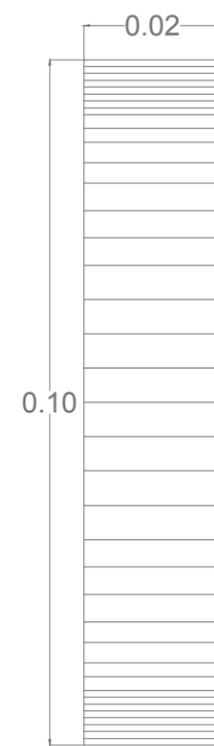
FECHA:
21 /JULIO/ 2014



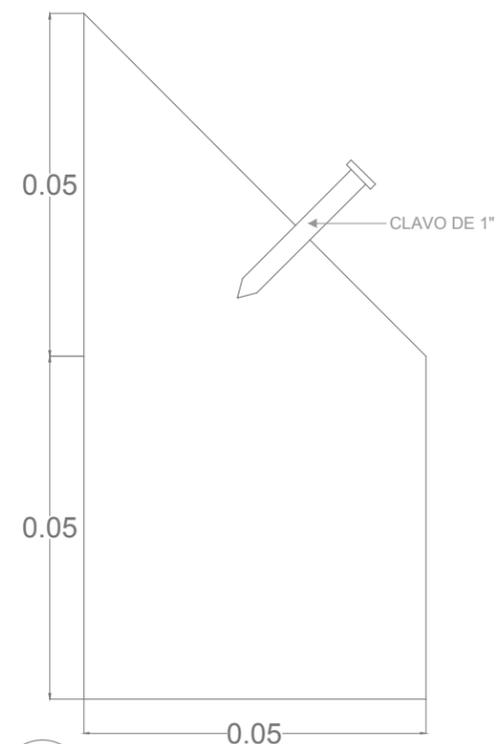
18 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado frontal-Cédula de identificación **ESC 1:10**



20 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado frontal-SopORTE **ESC 1:10**



19 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado lateral-Cédula de identificación **ESC 1:10**

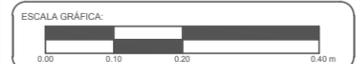


21 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado lateral-SopORTE **ESC 1:10**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DETALLE CONSTRUCTIVO CÉDULA DE IDENTIFICACIÓN

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
20

PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO. LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

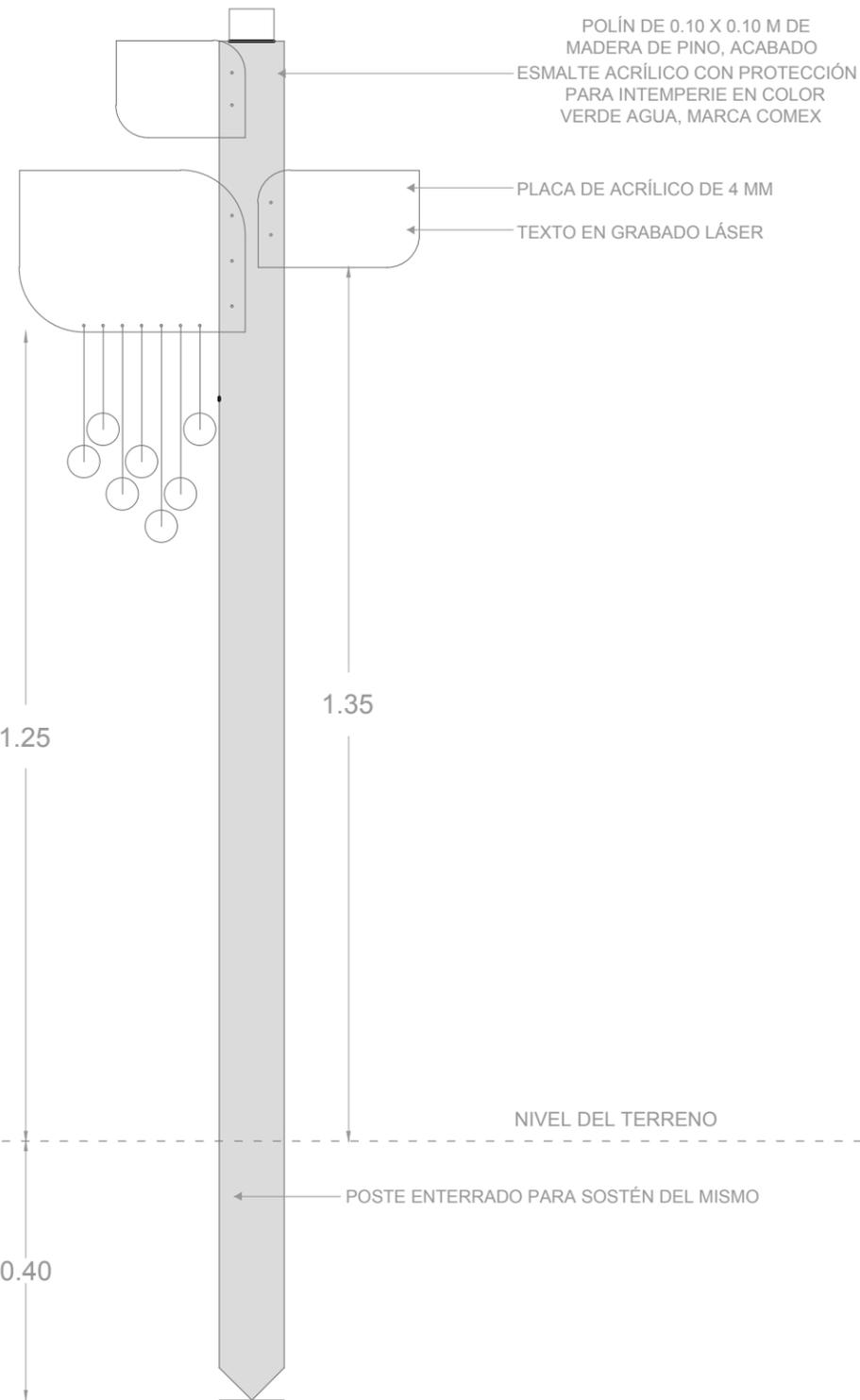
ESCALA:
1:10

ACOTACIÓN:
metros

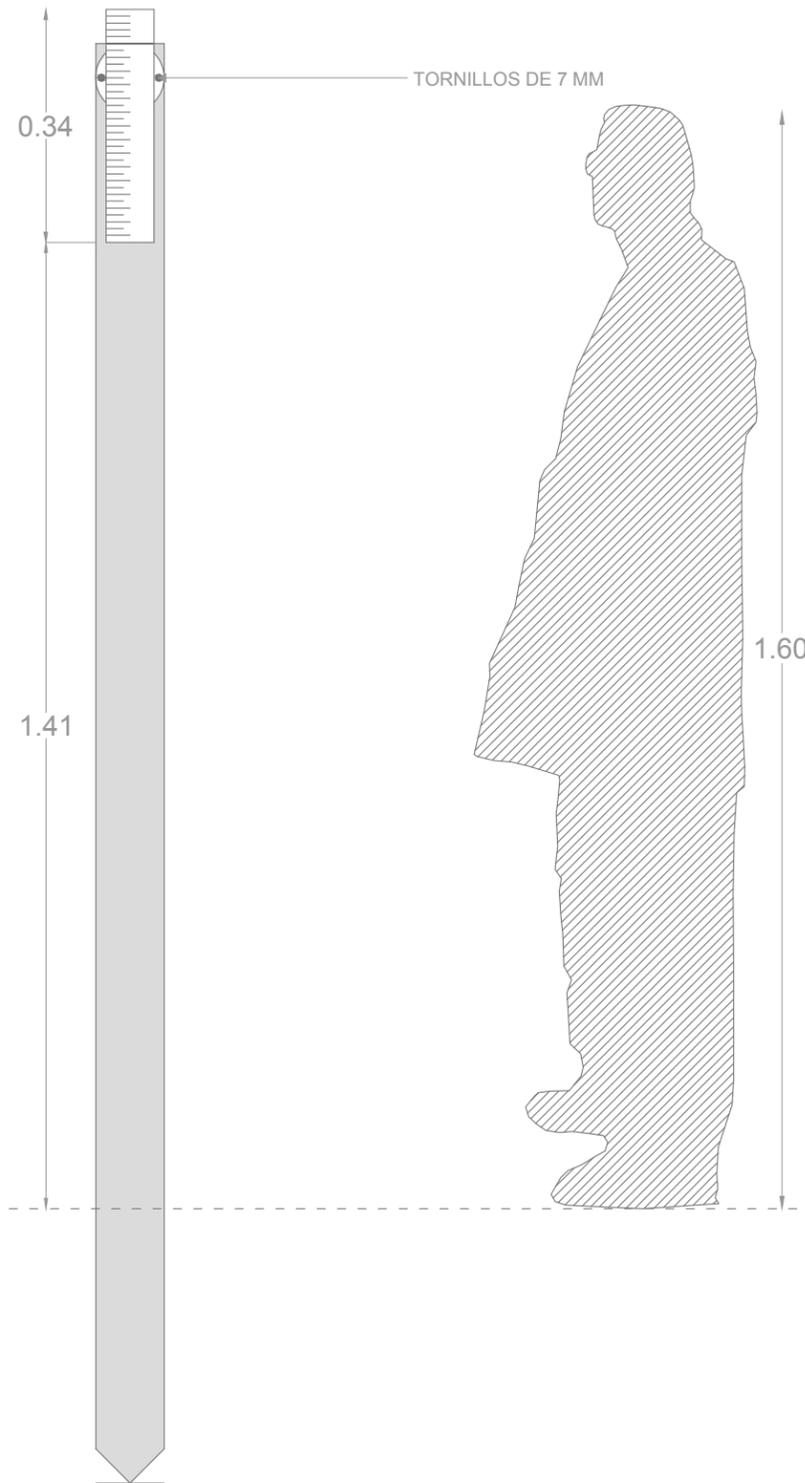
CLAVE:

D-06

FECHA:
21 /JULIO/ 2014



22 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado frontal- Estela informativa **ESC 1:10**



23 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado posterior- Estela informativa **ESC 1:10**

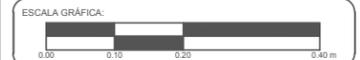


24 DETALLE CONSTRUCTIVO
Alzado lateral- Estela informativa **ESC 1:10**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
DETALLE CONSTRUCTIVO
ESTELA INFORMATIVA 1

ÁREA: **14.00 m²** N° DE PLANO: **21**

PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:10

ACOTACIÓN:
metros

FECHA:
21 /JULIO/ 2014

CLAVE:
D-07

¿Qué es un Jardín de lluvia?

Es una depresión en el terreno con una cubierta vegetal que captura e infiltra el torrente pluvial proveniente de techos, andadores, estacionamientos o áreas pavimentadas al subsuelo, evitando que el agua de lluvia se canalice al drenaje, además de ofrecer múltiples beneficios ambientales.

Características de los Jardines de lluvia

25 DETALLE CONSTRUCTIVO

Placa con las características

ESC 1:2

Por lo general son de dimensiones pequeñas

Se ubican cerca de alguna descarga pluvial para aprovecharla

Utilizan vegetación nativa

Ofrecen un hábitat para aves e insectos benéficos

Suman áreas verdes a la ciudad

Mejoran la calidad y cantidad de agua de lluvia infiltrada

Debido a los sustratos del suelo, el agua pluvial se infiltra en un periodo de 24 a 48 horas

27 DETALLE CONSTRUCTIVO

Placa con las recomendaciones

ESC 1:2

28 DETALLE CONSTRUCTIVO

Características de un jardín de lluvia

ESC 1:2

26 DETALLE CONSTRUCTIVO

Placa con el logotipo

ESC 1:2

Proyecto de Investigación

Zona en constante monitoreo. Para lograr óptimos y verídicos resultados te pedimos:

- No tirar basura.
- No pisar las plantas.
- Cuidar el diseño.

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

DETALLE CONSTRUCTIVO ESTELA INFORMATIVA 2

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

22

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO. LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:2

ACOTACIÓN:

metros

CLAVE:

D-08

FECHA:

21 / JULIO / 2014

ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

HIDROZONAS

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

23

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

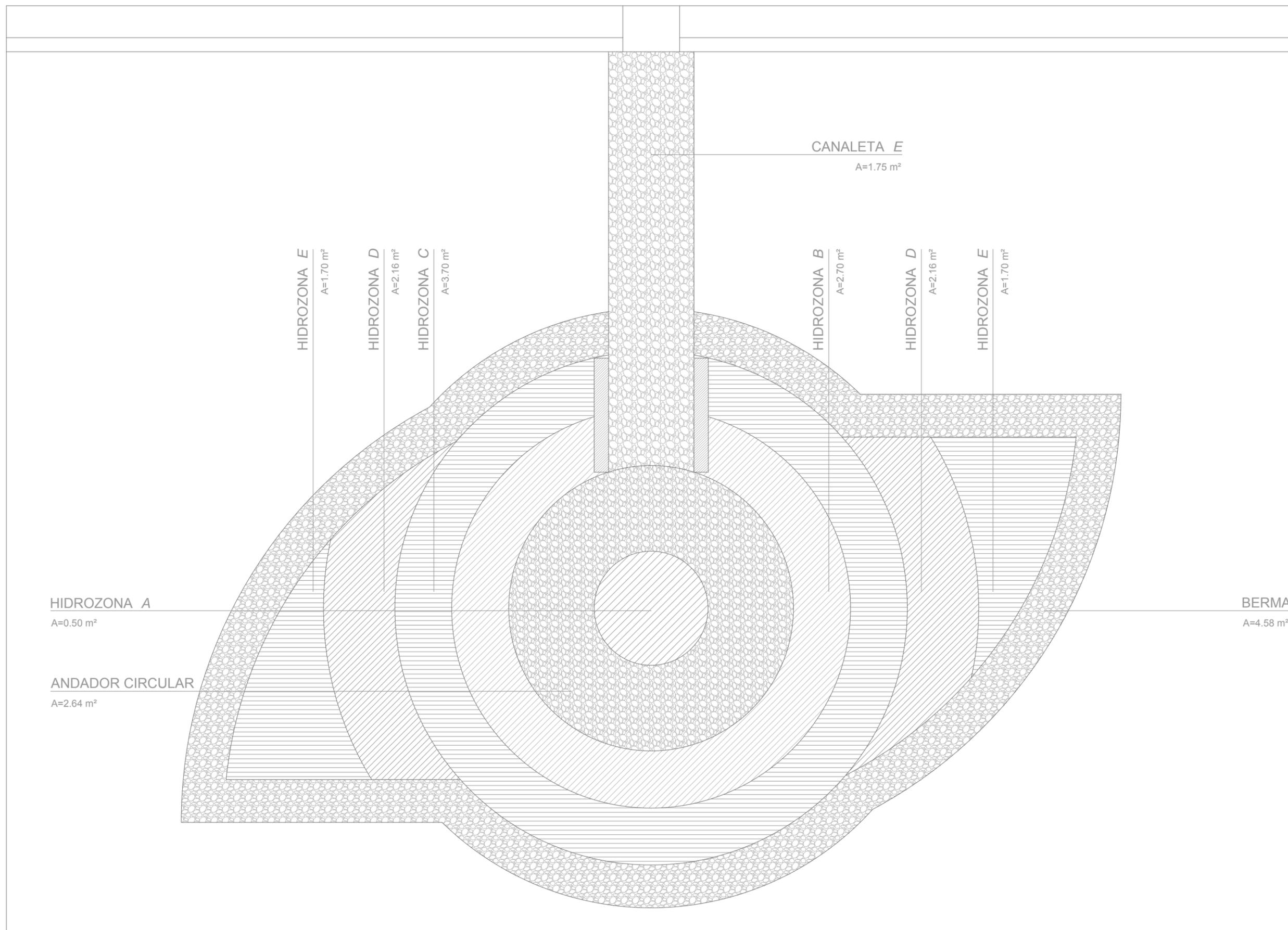
metros

CLAVE:

A-15

FECHA:

21 / JULIO / 2014



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

PLANTACIÓN
REPRESENTATIVO

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

24

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

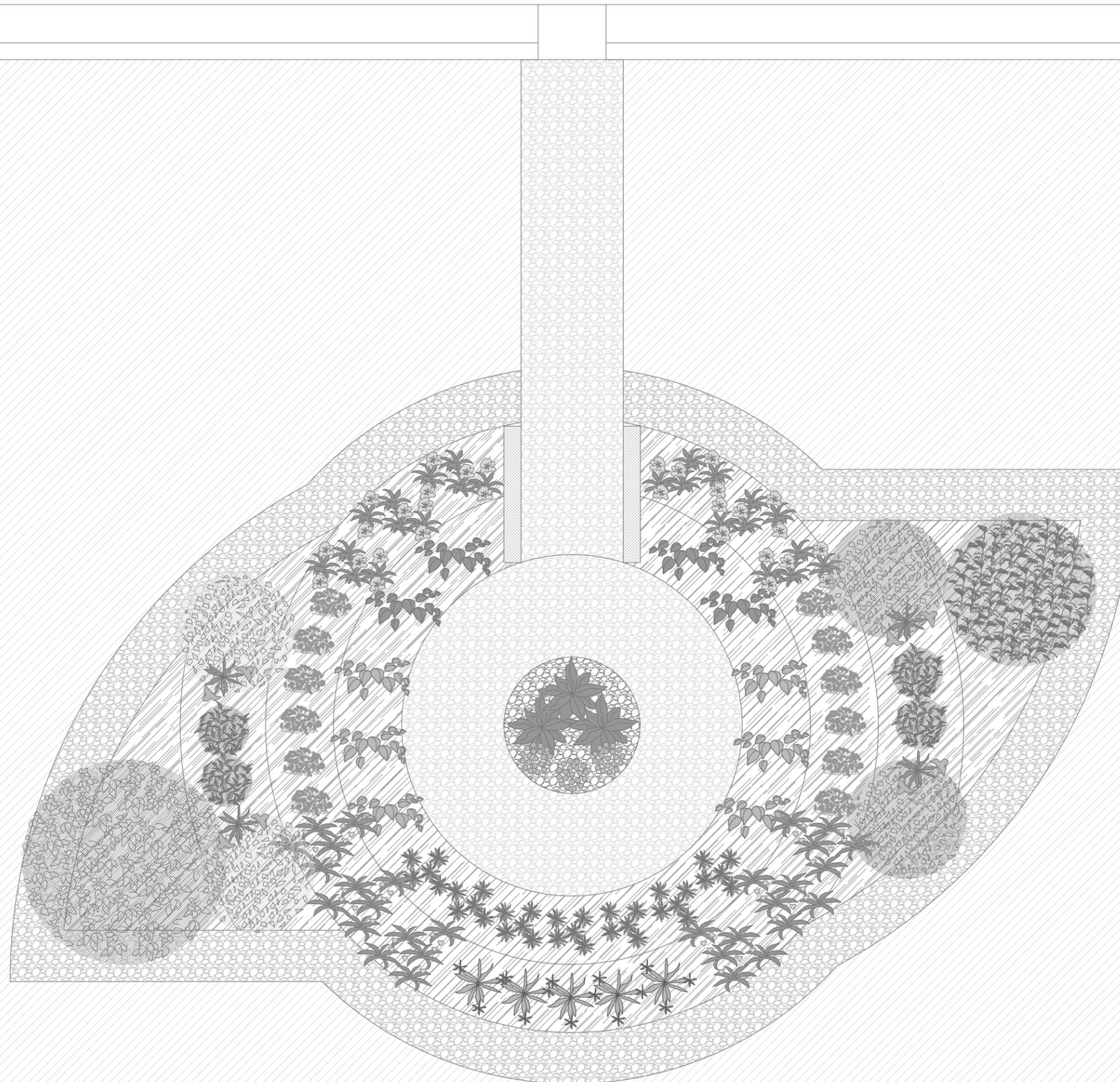
metros

CLAVE:

A-16

FECHA:

21 / JULIO / 2014





LOCALIZACIÓN:
AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:



PROYECTO:
MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:
ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:
DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:
PLANTACIÓN
ESQUEMÁTICO

ÁREA:
14.00 m²

N° DE PLANO:
25

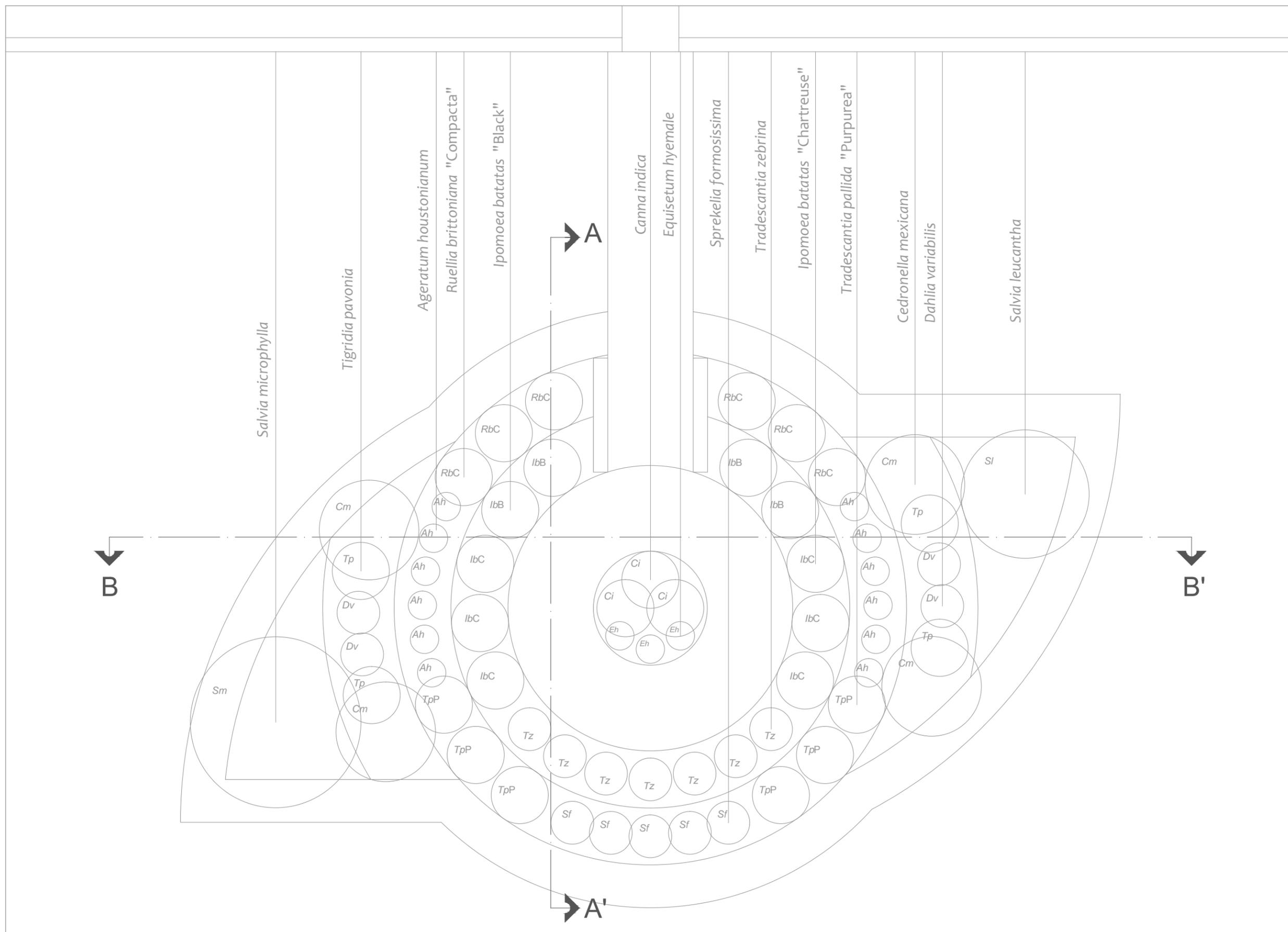
PLAN DE ESTUDIOS:
MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:
1:25

ACOTACIÓN:
metros

CLAVE:
A-17

FECHA:
21 /JULIO/ 2014



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

EJES DE PLANTACIÓN
HIDROZONA A

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

26

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

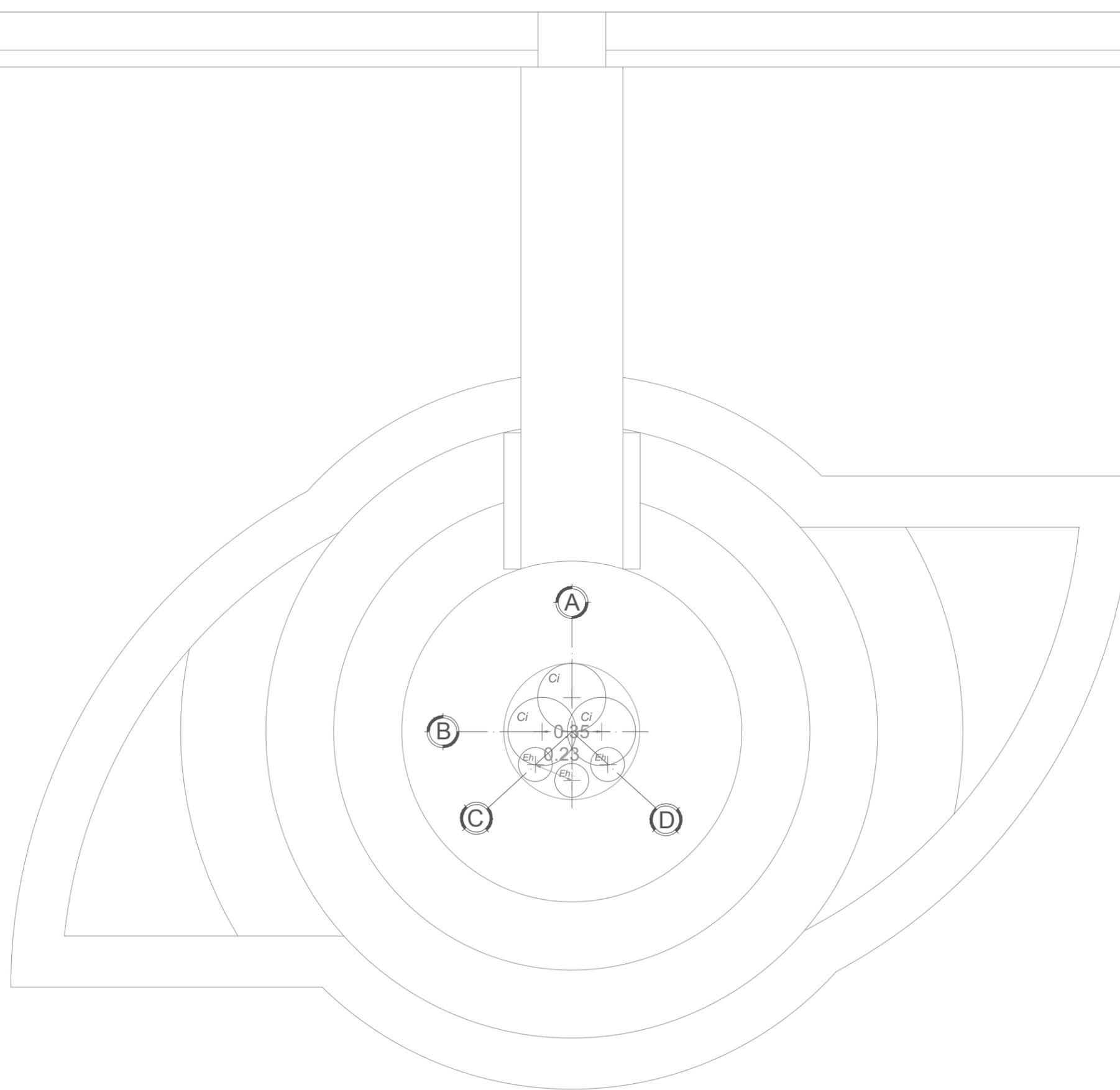
metros

CLAVE:

A-18

FECHA:

21 /JULIO/ 2014



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

EJES DE PLANTACIÓN
HIDROZONA B

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

27

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

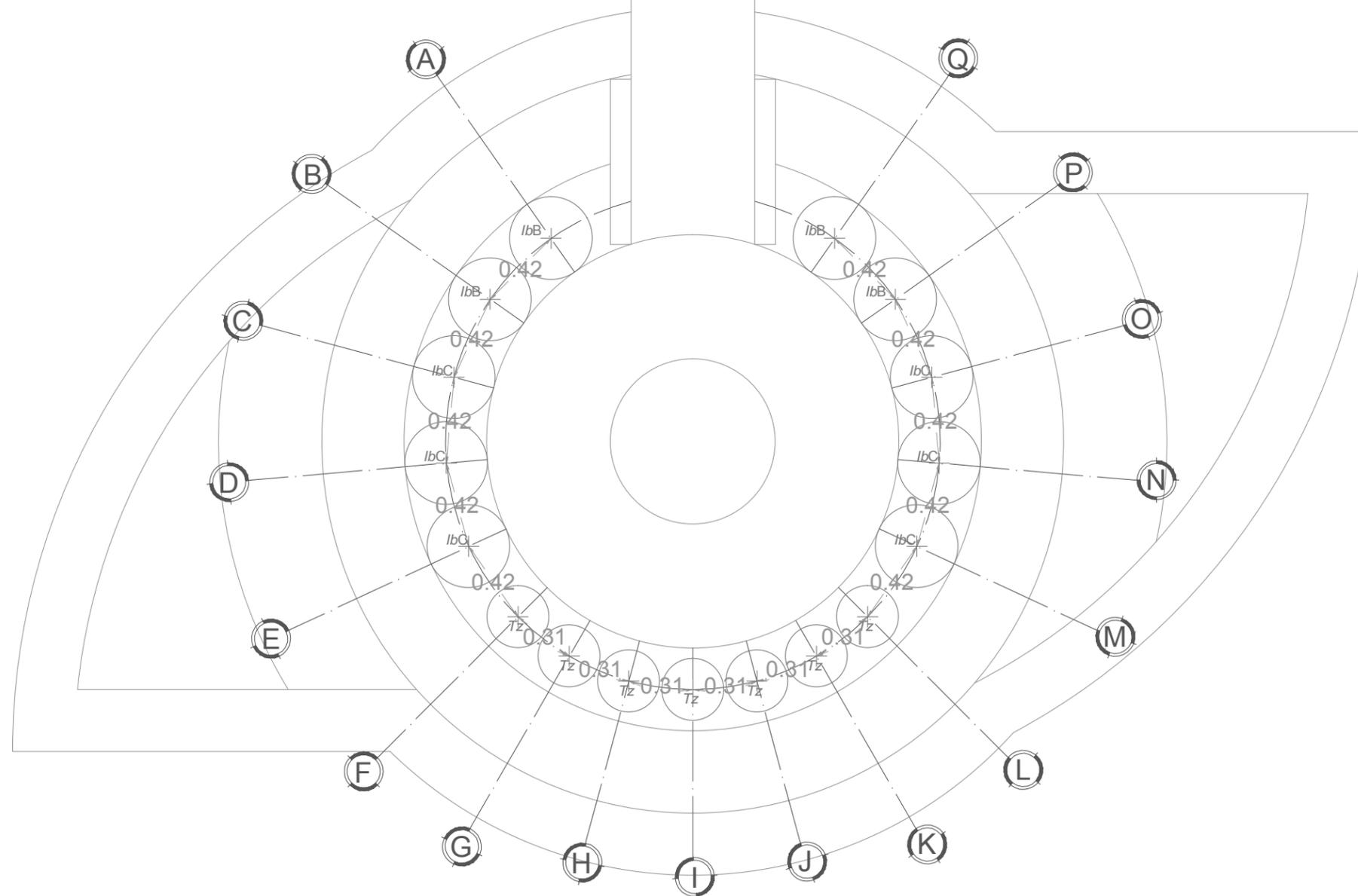
metros

CLAVE:

A-19

FECHA:

21 /JULIO/ 2014



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

EJES DE PLANTACIÓN
HIDROZONA C

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

28

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

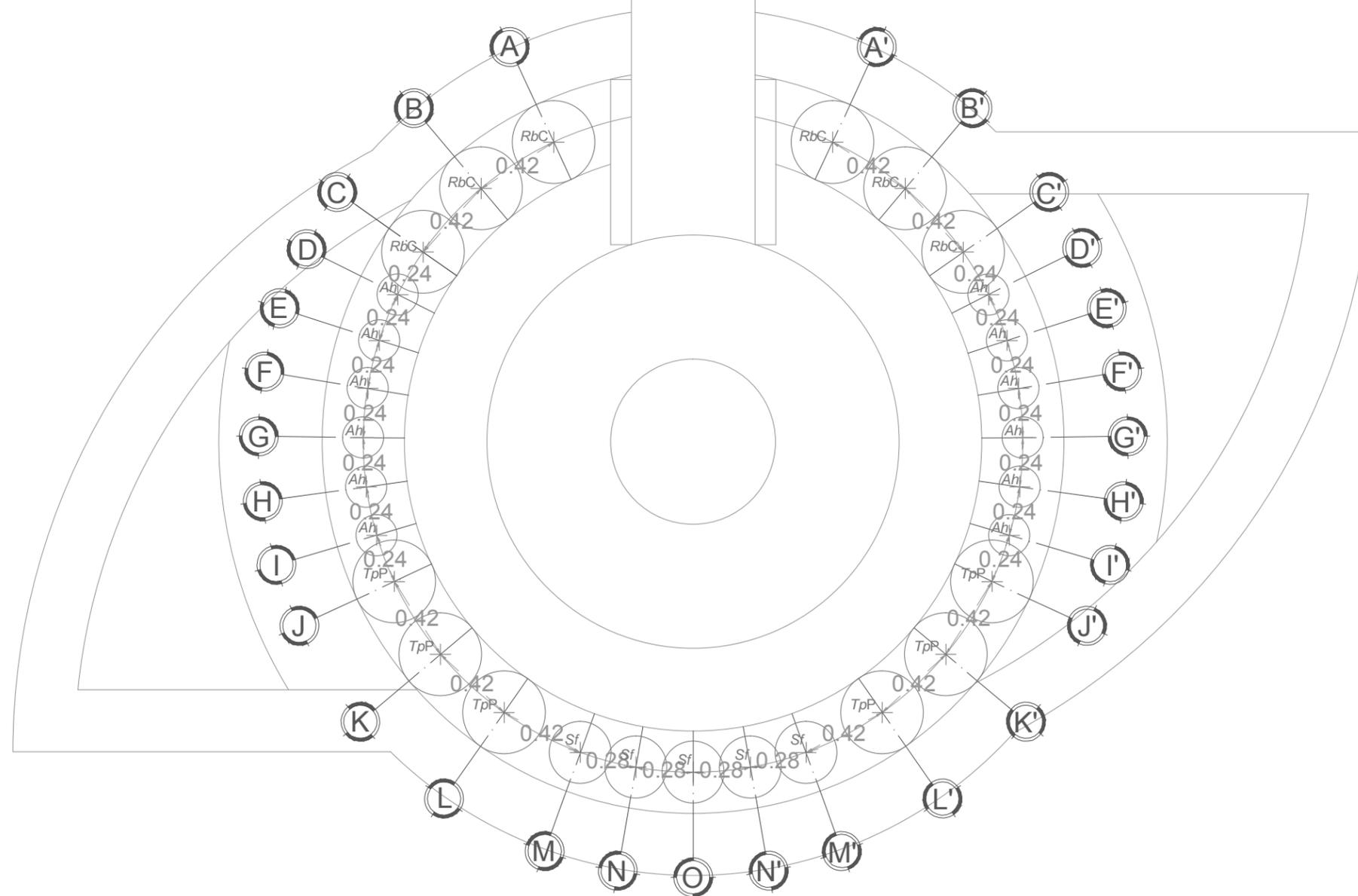
metros

CLAVE:

A-20

FECHA:

21 /JULIO/ 2014



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

EJES DE PLANTACIÓN
HIDROZONA D

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

29

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

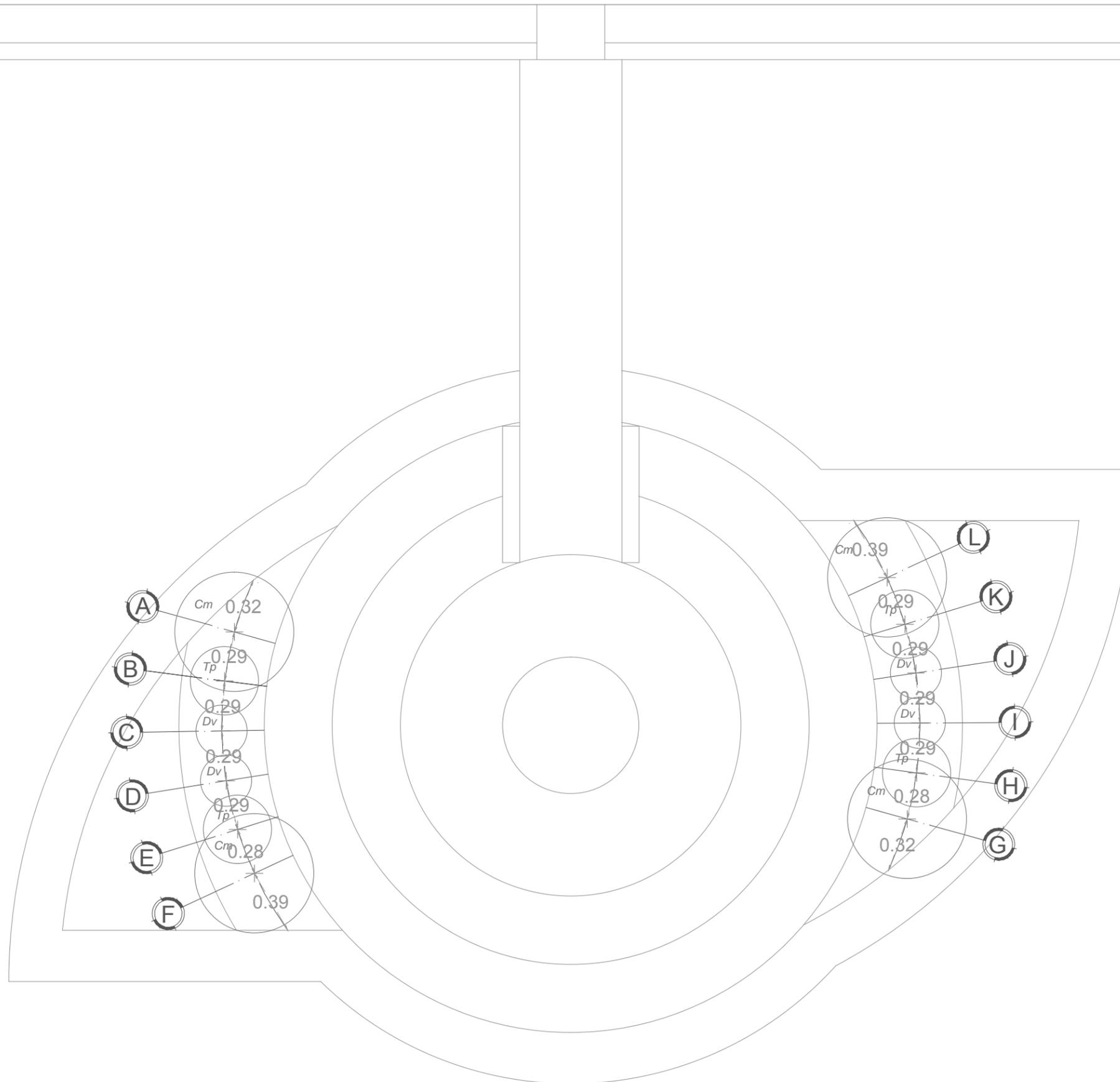
metros

CLAVE:

A-21

FECHA:

21 /JULIO/ 2014



ORIENTACIÓN:



LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

EJES DE PLANTACIÓN
HIDROZONA E

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

30

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

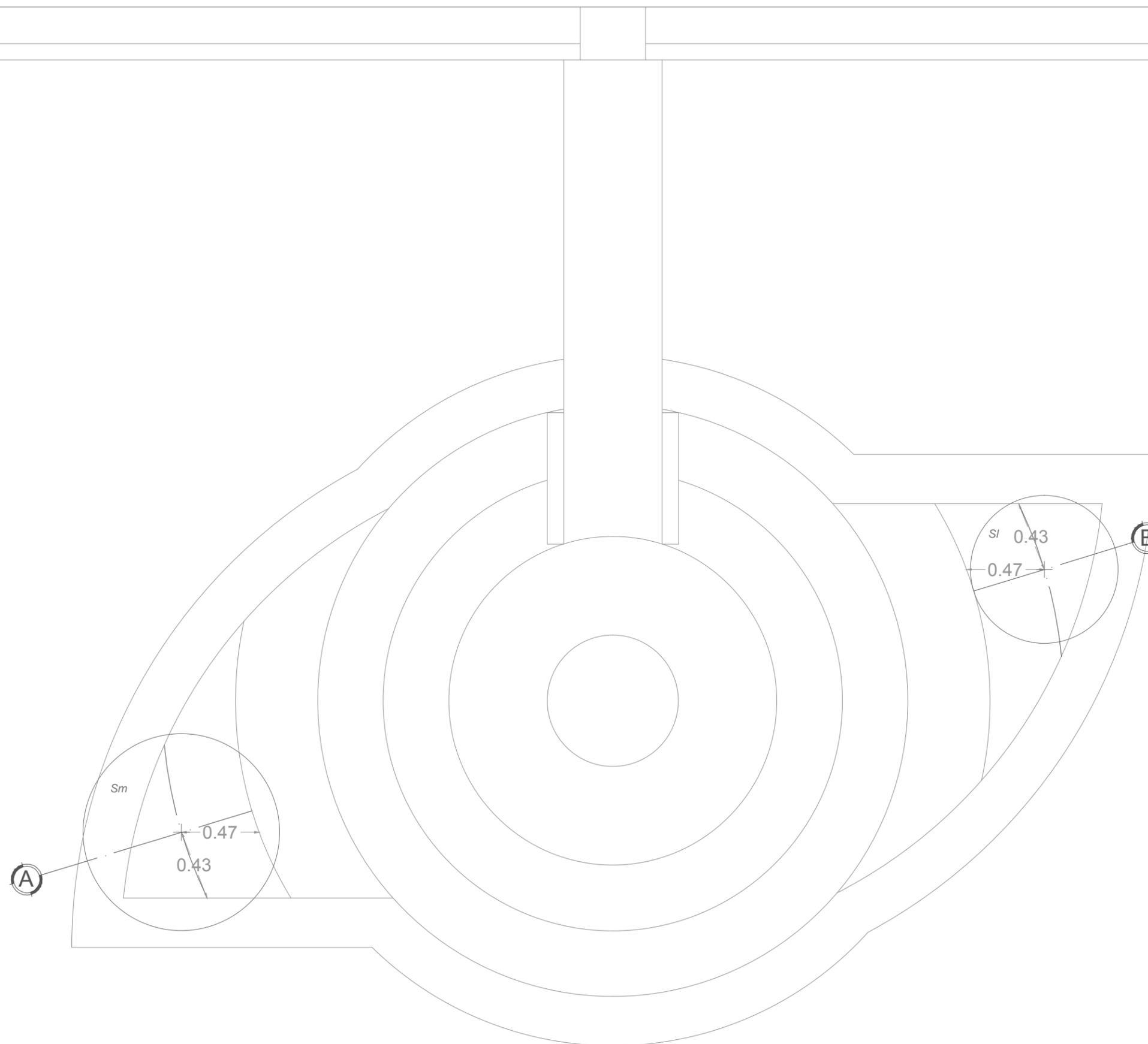
metros

CLAVE:

A-22

FECHA:

21 / JULIO / 2014



ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

VEGETACIÓN EN PLANTA

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

31

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

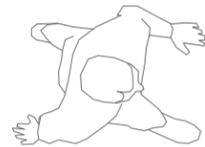
metros

CLAVE:

A-23

FECHA:

21 /JULIO/ 2014



A1
Canna indica

A2
Equisetum hyemale

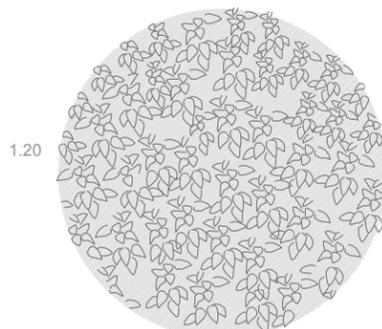
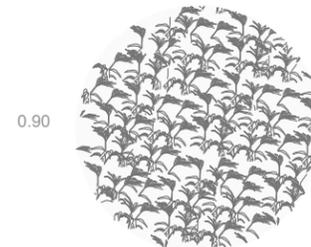
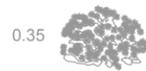
B1
Tradescantia zebrina

B2
Ipomoea batatas "Chartreuse"

B3
Ipomoea batatas "Black"

C1
Sprekelia formosissima

C2
Tradescantia pallida "Purpurea"



C3
Ageratum houstonianum

C4
Ruellia brittoniana "Compacta"

D1
Cedronella mexicana

D2
Tigridia pavonia

D3
Dahlia variabilis

E1
Salvia leucantha

E2
Salvia microphylla

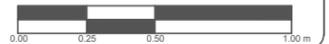
ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

VEGETACIÓN EN ALZADO

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

32

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

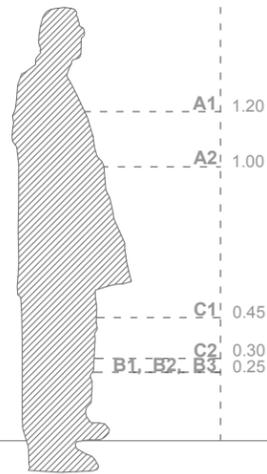
metros

CLAVE:

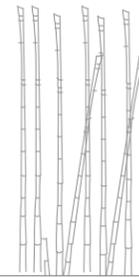
A-24

FECHA:

21 / JULIO / 2014



A1
Canna indica



A2
Equisetum hyemale



B1
Tradescantia zebrina



B2
Ipomoea batatas
"Chartreuse"



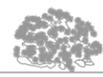
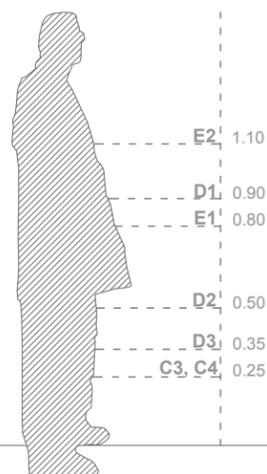
B3
Ipomoea batatas
"Black"



C1
Sprekelia formosissima



C2
Tradescantia pallida
"Purpurea"



C3
Ageratum houstonianum



C4
Ruellia brittoniana
"Compacta"



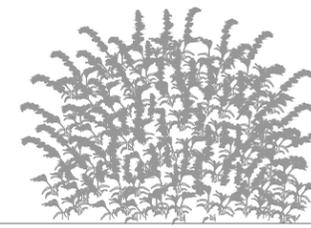
D1
Cedronella mexicana



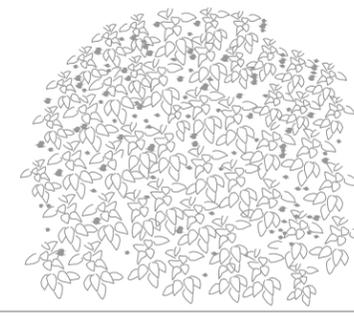
D2
Tigridia pavonia



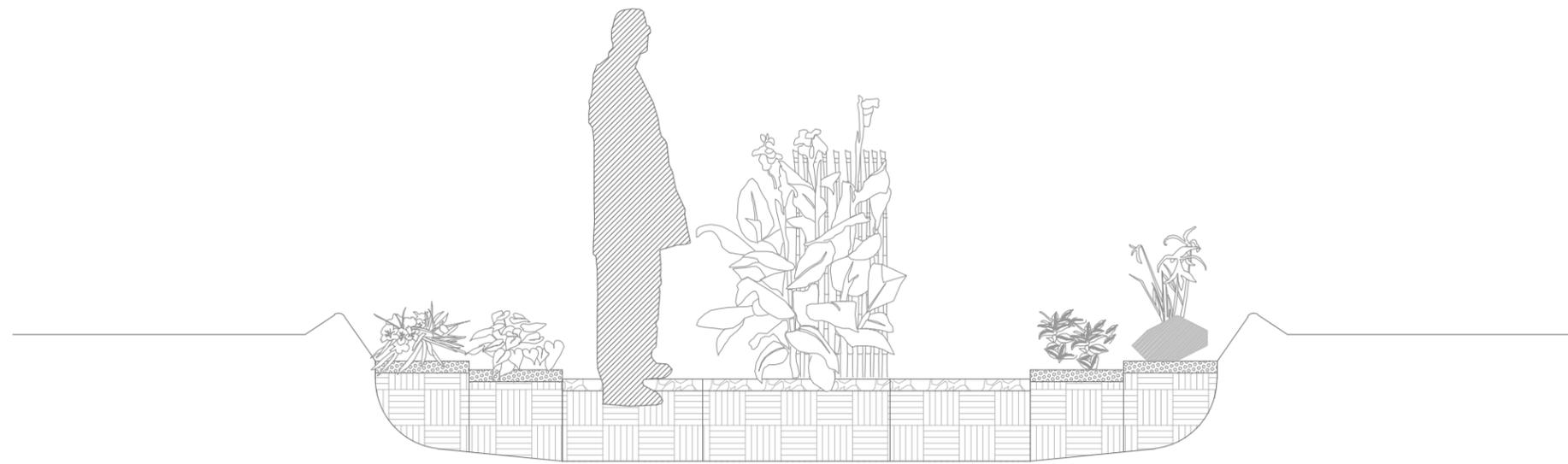
D3
Dahlia variabilis



E1
Salvia leucantha

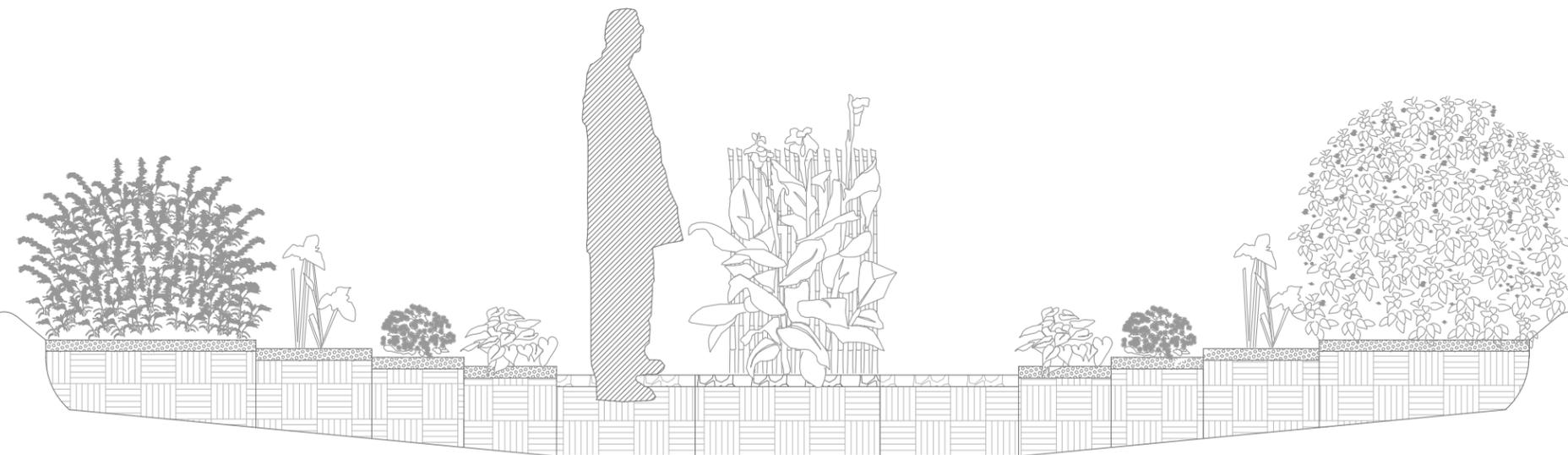


E2
Salvia microphylla



CORTE SECCIÓN A-A'

Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A **ESC 1:25**



CORTE SECCIÓN B'-B

Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A **ESC 1:25**

ORIENTACIÓN:

LOCALIZACIÓN:

AV. SAN PABLO N°180, COL. REYNOSA TAMAULIPAS
C.P. 02200, MÉXICO, D.F.

SIMBOLOGÍA:

ESCALA GRÁFICA:



PROYECTO:

MODELO EXPERIMENTAL DE
JARDÍN DE LLUVIA UAM-A

DISEÑO:

ARQ. CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS

ASESOR:

DR. SAÚL ALCÁNTARA ONOFRE

NOMBRE DEL PLANO:

VEGETACIÓN EN
CORTES POR SECCIÓN

ÁREA:

14.00 m²

N° DE PLANO:

33

PLAN DE ESTUDIOS:

MAESTRÍA EN DISEÑO.
LÍNEA EN DISEÑO, PLANIFICACIÓN Y
CONSERVACIÓN DE PAISAJES Y JARDINES

ESCALA:

1:25

ACOTACIÓN:

metros

CLAVE:

A-25

FECHA:

21 /JULIO/ 2014



ANEXO B

ANEXO TÉCNICO

ANEXO TÉCNICO



UACH DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO



NOVIEMBRE 12, DEL 2014.
No. DE OFICIO: 467

USUARIO: **CASANDRA PATRICIA BADILLO ORNELAS,**
PROCEDENCIA: ECATEPEC, MÉXICO,
TIPO DE MUESTRA: AGUA (2 MUESTRAS)

Nº CONTROL	pH	CE dSm ⁻¹	Ca meqL ⁻¹	Mg meqL ⁻¹	Na meqL ⁻¹	K meqL ⁻¹
A-3769	6.52	0.022	0.24	0.16	0.14	0.04
A-3770	6.61	0.093	0.31	0.11	0.10	0.02

Nº CONTROL	CO ₃ meqL ⁻¹	HCO ₃ meqL ⁻¹	Cl meqL ⁻¹	SO ₄ meqL ⁻¹	B mgL ⁻¹
A-3769	ND	0.25	0.24	0.12	0.18
A-3770	ND	0.32	0.20	0.10	0.21

ND: NO DETECTADO POR EL MÉTODO EMPLEADO

METODOLOGIA:

pH: POTENCIOMETRICO .
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE): PUENTE DE CONDUCTIVIDAD
CALCIO, MAGNESIO (Ca, Mg): ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.
SODIO, POTASIO (Na, K): ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISION DE FLAMA.
CARBONATOS, BICARBONATOS (CO₃, HCO₃): VOLUMETRIA DE ACIDO SULFURICO (H₂SO₄).
CLORUROS (Cl): VOLUMETRIA DE NITRATO DE PLATA (AgNO₃)
SULFATOS (SO₄): TURBIDIMETRIA DE CLORURO DE BARIO (BaCl₂).
BORO (B): FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA H.

IDENTIFICACION:

A-3769: MA1, AGUA PLUVIAL.
A-3770: MA2, AGUA ENTRANTE.

TIPO DE MUESTRA: SUELO (2 MUESTRAS)

Nº CONTROL	pH	CE dSm ⁻¹	MO mgKg ⁻¹	N tot. mgKg ⁻¹	P mgKg ⁻¹	K mgKg ⁻¹	Na mgKg ⁻¹	CO ₃ meqL ⁻¹
3771	8.36	0.57	2.42	0.11	13.11	472	122	2.14
3772	9.03	0.56	1.48	0.08	68.61	1852	888	2.82



UACH DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO



Nº CONTROL	HCO ₃ meqL ⁻¹	Cl meqL ⁻¹	SO ₄ meqL ⁻¹	CC %	PMP %	COLOR EN SECO
3771	2.32	0.65	0.81	8.65	5.25	10 YR 5/2, CAFÉ -GRISÁCEO
3772	1.76	0.34	0.74	24.65	13.9	10 YR 6/2, GRIS- CAFESOSO- CLARO

CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

Nº CONTROL	HUMEDAD (%)								
	PRESIÓN (Atmosferas)								
	0.3	0.5	1	3	5	7	10	13	15
3771	8.65	6.85	6.34	5.83	5.64	5.51	5.39	5.3	5.25
3772	24.65	21.49	19.2	16.7	15.73	15.14	14.54	14.12	13.9

METODOLOGIA:

pH: POTENCIOMETRICO RELACION SUELO-AGUA 1:2.
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE): PUENTE DE CONDUCTIVIDAD EN EL EXTRACTO DE LA PASTA
MATERIA ORGANICA (MO): WALKLEY Y BLACK.
NITROGENO TOTAL (N tot.): DETERMINADO POR ARRASTE DE VAPOR POR KJELDAHL
FOSFORO (P): OLSEN.
POTASIO (K): EXTRAIDO CON ACETATO DE AMONIO 1.0 N pH 7.0 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISION DE FLAMA.
SODIO INTERCAMBIABLE (K): EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0N pH 7.0 RELACIÓN 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISIÓN DE FLAMA.
CARBONATOS, BICARBONATOS (CO₃, HCO₃): VOLUMETRIA DE ACIDO SULFURICO (H₂SO₄) EN EL EXTRACTO DE LA PASTA.
CLORUROS (Cl): VOLUMETRIA DE NITRATO DE PLATA (AgNO₃) EN EL EXTRACTO DE LA PASTA
SULFATOS (SO₄): TURBIDIMETRIA DE CLORURO DE BARIO (BaCl₂) EN EL EXTRACTO DE LA PASTA
CAPACIDAD DE CAMPO (CC): OLLA DE PRESION 0.3 Atm.
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP): MEMBRANA DE PRESION 15.0 Atm.
COLOR EN SECO: TABLA MUNSELL.

IDENTIFICACION:

3771: CASANDRA BADILLO, MT2, TIERRA MEJOCADA.
3772: CASANDRA BADILLO, MT1, TIERRA IN SITU.

ATENTAMENTE.


ING. ARTURO JIMÉNEZ LÓPEZ
JEFE DEL LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO

AJL/angels**

ANEXO TÉCNICO

The screenshot displays the National Low Impact Development (LID) Atlas interface. At the top, there is a search bar and navigation links for 'Login', 'About This Site', and 'Contact Us'. The main content area is divided into a sidebar on the left and a map on the right.

Filter Projects

<input checked="" type="checkbox"/>	All Types	1403
<input type="checkbox"/>	Swale/Bioswale	224
<input type="checkbox"/>	Bioretention/Rain Garden	763
<input type="checkbox"/>	Cistern/Rain Barrel	216
<input type="checkbox"/>	Stormwater Wetlands	104
<input type="checkbox"/>	Green Roof	155
<input type="checkbox"/>	Permeable Pavement	334
<input type="checkbox"/>	Water Conservation	108
<input type="checkbox"/>	Green Streets	7
<input type="checkbox"/>	Other	117

State:
Land Use Type:

Currently Showing (1376 Projects)

- Trinity River Audubon Center
- Alaska Puffins
Seward, AK
- Anthropologies Living Wall
Huntsville, AL
- Auburn Condo Parking Lot

The map shows North America with numerous colorful pins indicating project locations. Labels on the map include 'Estados Unidos', 'México', 'Golfo de California', 'Golfo de México', and 'Cuba'. The Google logo is visible in the bottom left of the map area. At the bottom right, there is a copyright notice: 'Datos del mapa ©2017 INEGI Imágenes ©2017 NASA, TerraMetrics' and a 'República Network' logo with the text 'Condiciones del servicio'.

Inscripción del *Modelo experimental de jardín de lluvia UAM-A* al National Low Impact Development (LID) Atlas. Fecha de inscripción: 03/09/2014 by Michael Dietz.

ANEXO TÉCNICO

Q Search
National Low Impact Development (LID) Atlas [Login](#) [About This Site](#) [Contact Us](#)

Filter Projects

<input checked="" type="checkbox"/> All Types	1403
<input type="checkbox"/> Swale/Bioswale	224
<input type="checkbox"/> Bioretention/Rain Garden	763
<input type="checkbox"/> Cistern/Rain Barrel	216
<input type="checkbox"/> Stormwater Wetlands	104
<input type="checkbox"/> Green Roof	155
<input type="checkbox"/> Permeable Pavement	334
<input type="checkbox"/> Water Conservation	108
<input type="checkbox"/> Green Streets	7
<input type="checkbox"/> Other	117

State:

Land Use Type:

Currently Showing (1376 Projects)

- Trinity River Audubon Center
- Alaska Puffins
Seward, AK
- Anthropologies Living Wall
Huntsville, AL
- Auburn Condo Parking Lot

Mapa
Satélite

Rain garden in Mexico City

Project Summary: This project was coordinated by Cassandra Badillo, as part of her graduate work. There are 14 species of plants included.

Location: Mexico City, NM

LID Practice: Bioretention/Rain Garden

Land Use Type: Civic/Public

Construction Date: August 2014

Entered By:

Connecticut NEMO

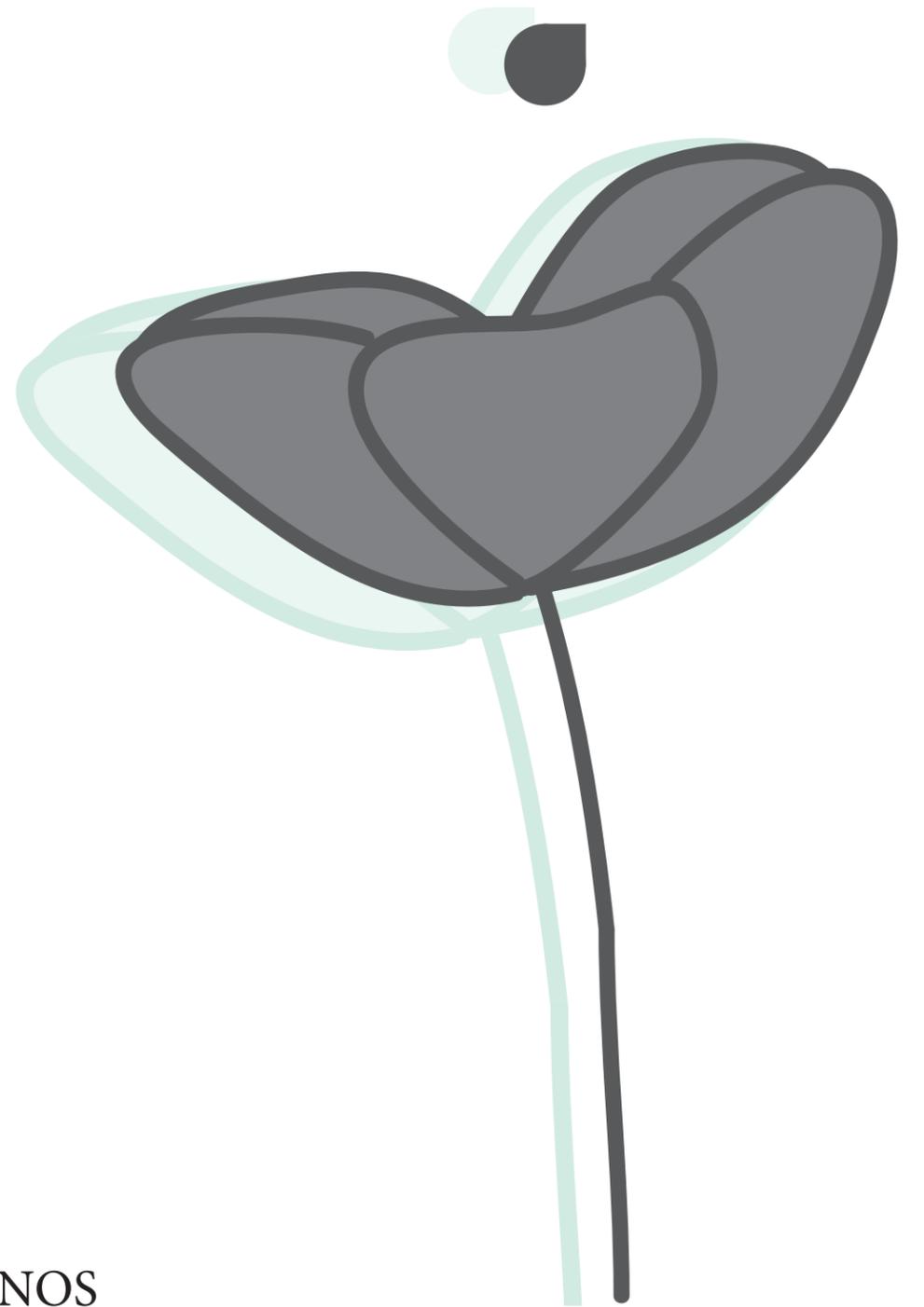
<http://nemo.uconn.edu/>

Google

Datos del mapa ©2017 INEGI Imágenes ©2017 NASA, TerraMetrics Condiciones del servicio

ANEXO C

GLOSARIO DE TÉRMINOS



GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acuífero	Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas.
Afluyente	Cuerpo de agua cuya desembocadura no se produce en el mar, sino que lo hace en un río superior o de mayor importancia.
Androceo	Parte masculina de la flor, es decir, conjunto de estambres.
Angiosperma	Plantas con semilla (s) encerrada (s) dentro de un ovario.
Antera	Parte del estambre, más o menos abultada, en la que se contiene el polen.
Anual	Vegetal que germina, florece y sucumbe en el curso de un año.
Apical	En el extremo superior o parte más alta del eje en que se inserta el órgano.
Ápice	Parte en la que termina el limbo de la hoja.
Aporcar	Labor que consiste en acumular tierra en torno de los tallos de las plantas.
Árbol	Planta leñosa con un tronco que se ramifica a cierta altura del suelo y que desarrolla una copa de formas variadas.
Arbusto	Planta leñosa cuyas ramas surgen desde la base del tronco.
Arriate	Franja de tierra, generalmente acotada, de forma alargada y situada junto a la pared de un jardín o patio, donde se cultivan flores y plantas de adorno.
Aserrada	Provisto de dientecillos agudos y próximos, dirigidos hacia el ápice.
Bianual	Que sobreviven dos estaciones de crecimiento.
Biomasa	Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
Bordillo	Faja o cinta de piedra que forma el borde de una acera, de un andén u otro.
Brote	Tallo, yema o rama que empieza a desarrollarse en una planta.
Bulbo	Órgano vegetal, generalmente subterráneo, que está formado por una yema gruesa o brote redondeado y en cuyas hojas se acumulan las sustancias de reserva.
Caducifolio	Árbol o arbusto que permanece sin hojas en la época desfavorable del año.
Cáliz	Envoltura floral externa, por lo general verde y de consistencia herbácea formada por el conjunto de sépalos libres o unidos.
Carpelo	Órgano que produce óvulos, producto de hojas modificadas que se unen y en su conjunto conforman el gineceo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Caudal efluente	Flujo que abandona un curso de agua, lago, embalse, depósito, cuenca, formación acuífera, u otro.
Contaminación del agua	Conjunto de alteraciones en las características físicas, químicas, biológicas y radiológicas del agua, causadas directamente por el hombre o por ser inducidas por él.
Control biológico	Método para la regulación de plagas, enfermedades y malezas mediante agentes biológicos.
Corimbo	Agrupación indefinida de flores con pedicelos de diferentes largos que alcanzan el mismo nivel.
Corola	Envoltura floral interna, por lo común de colores llamativos y de consistencia más fina que la envoltura externa o cáliz.
Cubresuelos	Plantas rastreras de tipo herbáceo y otros materiales orgánicos e inorgánicos.
Endémico	Propio y exclusivo de determinadas localidades o regiones.
Envés	Cara inferior de la hoja.
Escama	Estructura laminar en las coníferas que contiene a los órganos reproductores femeninos y se disponen alrededor de un eje para formar conos.
Esqueje	Porción herbácea que se corta de una planta, por lo general del tallo, para propagarla.
Estambre	Cada uno de los elementos masculinos de la flor, constituidos por el filamento y la antera. En conjunto forman el androceo.
Estigma	Porción apical del pistilo que recibe el polen.
Estilo	Parte cilíndrica del pistilo que sostiene al estigma.
Estolón	Tallo rastrero largo y delgado, prolongación del tallo principal, que a trechos echa raíces que dan origen a nuevas plantas.
Evapotranspiración	Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.
Extravasarse	Salida de un fluido del vaso que lo contiene.
Filamento	Parte del estambre de las flores que sujeta la antera.
Flor	Estructura reproductiva de las angiospermas; se conforma al menos de un carpelo y/o un estambre, que por lo general está rodeado por hojas modificadas (perianto).
Fotosíntesis	Proceso por el cual las plantas verdes y ciertas bacterias utilizan la energía del sol para elaborar compuestos orgánicos (como los carbohidratos) a partir de agua y bióxido de carbono. Como producto secundario se obtiene oxígeno.
Fruto	Estructura que contiene las semillas de las angiospermas, constituido por el ovario que ya alcanzó pleno desarrollo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Gineceo	Conjunto de órganos femeninos que consta de ovario, estilo y estigma. Sinónimo de pistilo.
Haz	Parte superior de la hoja.
Herbácea	Se refiere a las plantas con poco tejido leñoso generalmente de porte bajo y corta vida.
Hidrozona	Área de plantas agrupadas por requerimientos de agua similares. Una hidrozona es asignada al nivel de uso de agua y a un tipo de riego general.
Hoja	Órgano de las plantas donde realizan la fotosíntesis y la transpiración.
Isla de calor	Gradiente térmico que se observa entre los espacios urbanos densamente ocupados y construidos y la periferia rural o peri-urbana.
Junco	Planta de la familia de las juncáceas.
Lanceolada	Angostamente elíptico y aguzado en ambos extremos. También se usa con frecuencia para formas más anchas hacia la base.
Latencia	Estado de reposo de una semilla, o de la actividad fisiológica de una parte de un árbol, que se mantiene hasta que las condiciones externas sean favorables.
Limbo	Parte más ancha y vistosa de la hoja.
Manto freático	Capa de agua subterránea libre, estancada o en circulación, procedente de la infiltración de aguas meteóricas en terrenos permeables y porosos.
Opuestas	Con hojas que se encuentran unas enfrente de otras.
Ovario	Parte del gineceo que encierra a los óvulos y al madurar se convierte en fruto.
Parterre	Parte de un jardín con plantas o flores, que constituye una unidad separada del resto.
Pedicelo	Soporte individual de una flor que forma parte de una inflorescencia.
Perenne	Presente durante todo el año.
Perianto	Conjunto de envolturas florales compuesto típicamente de cáliz y corola.
Pétalo	Cada una de las piezas individuales de la corola.
pH (potencial de hidrógeno)	Abreviatura que indica la medida con que se designa el nivel de acidez o alcalinidad de un medio. Son ácidas las soluciones cuyo pH está comprendido entre 0 y 7 en orden decreciente; son alcalinas las comprendidas entre 7 y 14 en orden creciente, y son neutras aquellas cuyo pH es 7.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Pistilo	Conjunto de órganos femeninos de la flor que consta de ovario, estilo y estigma. Sinónimo de gineceo.
Plantación escalonada	Siembra de un cultivo en fechas diferentes a modo de reducir el riesgo de que su periodo crítico coincida con heladas, sequías, plagas y enfermedades.
Polen	Conjunto de microsporas masculinas, con apariencia de polvillo, que se ubican en la antera y fecundan los óvulos de la flor.
Racimo	Inflorescencia formada por un eje simple a lo largo del cual se disponen flores pediceladas.
Raíz	Órgano ubicado por lo general debajo de la tierra. Sirve para el anclaje, la absorción y la conducción de agua y minerales.
Rama	Cada una de las partes que nacen del tronco o tallo principal de la planta y en las cuales brotan por lo común las hojas, las flores y los frutos.
Rizoma	Tallo subterráneo que se diferencia de una raíz por tener nudos, yemas y escamas.
Semilla	Óvulo fertilizado donde se encuentra el embrión en estado de vida latente de una planta.
Semillas estratificadas	Técnica que consiste en imitar la temperatura de las semillas en su ambiente natural para conseguir que germinen.
Sépalo	Partes separadas del cáliz, por lo general verdes y en forma de hojas.
Tajo	Corte profundo y vertical formado en el terreno por la erosión de un río o por otro accidente del terreno.
Tallo	Órgano de las plantas que se prolonga en sentido contrario al de la raíz y sirve de sustentáculo a las hojas, flores y frutos.
Tépalo	Miembro de un perianto no diferenciado en pétalos y sépalos.
Tezontle	Piedra volcánica porosa, muy ligera, de color rojo oscuro, usada en la construcción.
Topiaria	Poda y remoción de ramas y hojas con el objetivo de darle un aspecto de animal o de otras formas estéticas a los árboles o arbustos.
Trasplante	Actividad que consiste en trasplantar, cambiar o trasladar una planta a un lugar o a condiciones nuevas.
Tresbolillo	Sistema de plantación en el cual las plantas se colocan en los vértices de un triángulo equilátero imaginario.
Tronco	Tallo de un árbol, generalmente de consistencia dura y lignificada.
Tubérculo	Parte de un tallo subterráneo, o de una raíz, que engruesa considerablemente, en cuyas células se acumula una gran cantidad de sustancias de reserva.
Yema	Tallo, rama o retoño no desarrollado de una planta, en forma de botón escamoso, que nace en el tallo de los vegetales y produce ramas y hojas.

CURRICULUM VITAE

DATOS PERSONALES

Casandra Patricia Badillo Ornelas
Fecha de nacimiento: 22 de agosto de 1988
Nacionalidad: mexicana
Teléfono celular: (044) 55 3453 6747
Correo electrónico: casandra_badillo@hotmail.com

FORMACIÓN ACADÉMICA

- 2013–actual. Maestría en Diseño, Planificación y Conservación de Paisajes y Jardines.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- 2012–2013. Especialidad en Diseño. Línea en Diseño, Planificación y Conservación de Paisajes y Jardines.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- 2010-2010. Semestre de intercambio académico.
Universidade de São Paulo, Brasil.
- 2006–2011. Licenciatura en Arquitectura.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

- 2012-actual. Residente de Conservación. Departamento de Conservación e Infraestructura.
Instituto Mexicano del Seguro Social.
- 2011-2012. Asesor Técnico. Coordinación de Infraestructura, Dirección de Ciencias Básicas e Ingeniería.
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

FORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- Curso Jardines de Lluvia. *Ponente*.
Febrero, 2015. Centro Verde Azcapotzalco.
- Seminario de Cultura, Hábitat y Agua.
Noviembre, 2014. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- Curso de Cosecha de Lluvia.
Mayo, 2014. CAM-SAM, Ciudad de México.
- Seminario Internacional de Paisajes Urbanos, Alamedas, Jardines Históricos e Itinerarios Culturales. *Ponente*.
Noviembre, 2013. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- 3º Seminario de Investigación: “Paisajes y Jardines Históricos”
Octubre, 2012. Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco.
- Técnicas de Construcción del Jardín II.
Julio, 2011. Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco.
- 3º Simpósio Brasileiro da Construção Sustentável.
Noviembre, 2010. CBCS, São Paulo, Brasil.
- Workshop: Design e Inovação para o Desenvolvimento, D-Lab, Massachusetts Institute of Technology.
Agosto, 2010. Universidade de São Paulo, Brasil.

