



INDICE GENERAL

1.	Justificación	1
2.	Objetivo.....	4
3.	Antecedentes	6
3.1.	Recarga artificial	7
3.1.1.	Métodos de recarga.....	8
3.1.1.1.	Recarga Superficial.....	8
3.1.1.2.	Recarga Superficial.....	9
3.1.1.2.1.	Fosas.....	9
3.1.1.2.2.	Trinchera de infiltración.....	9
3.1.1.2.3.	Áreas de Biorretención.....	11
3.1.1.3.	Recarga profunda	12
3.2.	Marco normativo	13
3.2.1.	NOM-015-CONAGUA-2007.....	13
3.2.2.	Normatividad Asociada.....	16
3.2.2.1.	NOM-003-CONAGUA-1996	16
3.3.	Experiencia Previa	17
3.3.1.	Infiltración de agua pluvial: Jardines del Pedregal	17
3.3.2.	Infiltración de agua residual tratada: Caso Lesser	18
4.	Metodología propuesta	21
4.1.	Metodología	22
4.2.	Criterios de selección.....	25
4.2.1.	Capacidad de Infiltración	25
4.2.1.1.	Prueba Manual.....	26
4.2.2.	Distancia Mínima a Fuentes de Abastecimiento	29
4.2.3.	Fuentes Potenciales de Contaminación - HOTSPOTS	30
4.2.1.	Área Disponible	30
4.2.2.	Profundidad del nivel freático.....	31
4.2.3.	Conos de abatimiento.....	32
4.2.4.	Integración al paisaje.....	32



4.3.	Dimensionamiento	33
4.3.1.	Evento de Diseño	33
4.3.1.1.	Período de retorno	33
4.3.1.2.	Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia	35
4.3.2.	Metodología para el dimensionamiento	37
5.	Estudio caso: León, Guanajuato.	43
5.1.	Zona de Estudio.....	44
5.1.1.	Ubicación.....	44
5.1.2.	Fisiografía.....	46
5.1.3.	Geomorfología.....	48
5.1.4.	Geología Local	50
5.1.4.1.	Sistema Jurásico.....	52
5.1.4.1.1.	Piroxénita San Juan de Otates (Jpsj).	52
5.1.4.1.2.	Conjunto Plutónico La Luz (Kcpl).	54
5.1.4.2.	Cenozoico	55
5.1.4.2.1.	Granito Comanja (tgco).	55
5.1.4.2.2.	Andesita Bernalejo	55
5.1.4.2.3.	Ignimbrita Cuatralba.....	56
5.1.4.2.4.	Basalto Dos Aguas (Tbda)	56
5.1.4.2.5.	Terciario Granular Indiferenciado (Tgi).....	56
5.1.4.3.	Cuaternario	57
5.1.4.3.1.	Gabro Arperos	57
5.1.4.3.2.	Basalto El Cubilete.....	57
5.1.4.3.3.	Aluvión.....	58
5.1.5.	Meteorología y Clima.....	58
5.1.6.	Hidrografía.....	58
5.1.6.1.	Subcuencas	58
5.2.	Problemática.....	59
5.2.1.	Hidrología Urbana	59
5.2.1.1.	Puntos conflictivos	59



6.	Sitio propuesto	67
6.1.	Área disponible	68
6.2.	Cercanía a pozos de extracción	68
6.3.	Profundidad del nivel freático	70
6.4.	Propuesta piloto	70
6.4.1.	Revisión geológica y estratigráfica.....	70
6.4.1.1.	Geofísica.....	71
6.4.2.	Consideraciones.....	71
6.4.2.1.	Capacidad de infiltración	72
6.4.2.1.1.	Descripción del suelo encontrado	76
6.4.2.1.2.	Conclusiones de la prueba de infiltración	77
6.4.2.2.	Evento de diseño	77
6.4.2.3.	Zona de aportación	81
6.4.2.3.1.	Captación y conducción	81
6.4.3.	Dimensionamiento.....	83
6.4.3.1.	Propuesta y dimensionamiento de la obra de infiltración.....	83
6.4.4.	Caudal de infiltración	85
6.4.5.	Monitoreo y etapa de prueba	85
6.5.	Mantenimiento	86
6.6.	Catálogo de conceptos	87
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	92
Anexos.....		96
A.1.	Análisis hidrometeorológico	97
A.1.1.	Orden y período de retorno	98
A.1.2.	Distribuciones de probabilidad.....	99
A.1.2.1.	Distribución Normal	100
A.1.2.2.	Distribución LogNormal.....	100
A.1.2.3.	Distribución Gumbel.....	101
A.1.2.4.	Distribución Pearson III	102
A.1.3.	Obtención de la ecuación IDF	103



A.1.3.1.	Ajuste estadístico de eventos de precipitación	103
A.1.3.1.1	Ajuste a probabilidad normal	105
A.1.3.1.2	Ajuste a probabilidad Lognormal	107
A.1.3.1.3	Ajuste a probabilidad Gumbel	109
A.1.3.1.4	Ajuste a probabilidad Pearson	111
A.1.3.2.	Función de mejor ajuste	113
A.1.4.	Ecuación IDF	113
A.2.	Geología	114
A.2.1.	Escala de tiempo geológico	114
A.2.2.	Génesis de las rocas	114
A.2.2.1.	Rocas ígneas	114
A.2.2.2.	Rocas sedimentarias	115
A.2.2.3.	Rocas metamórficas	117
A.2.3.	Composición de las rocas	117
A.2.3.1.	Rocas ígneas	117
A.2.3.2.	Rocas sedimentarias	119
A.2.3.3.	Rocas metamórficas	120
A.3.	Permeámetro de Guelph	122
A.3.1.	Modo de operación	124
A.3.1.1.	Ecuaciones de análisis	124
A.3.1.2.	Factor C	124
A.3.1.3.	Análisis para una carga	125
A.3.1.4.	Análisis para dos cargas	127
A.4.	Planos	128
Bibliografía		129



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Fosa de recarga	10
Figura 3.2	Trinchera de infiltración	11
Figura 3.3	Esquema conceptual de un área de biorretención	12
Figura 3.4	Ubicación de pozos de recarga de agua tratada	20
Figura 4.1	Diagrama de flujo para la implementación de dispositivos de infiltración artificial.....	24
Figura 4.2	Esquema de un pozo para la prueba de infiltración.	28
Figura 4.3	Distancia al nivel freático. Elaboración propia.....	32
Figura 4.4	Trinchera de infiltración ubicada en un estacionamiento.....	33
Figura 4.5	Trinchera de infiltración ubicada en banqueta (1).	34
Figura 4.6	Trinchera de infiltración ubicada en banqueta (2).	35
Figura 4.7	Trinchera de Infiltración habilitada como jardinera (1).....	36
Figura 4.8	Trinchera de Infiltración habilitada como jardinera (2).....	38
Figura 4.9	Filtro de arena como lecho de infiltración (1).	39
Figura 4.10	Filtro de arena como lecho de infiltración (1).	40
Figura 4.11	Isoyetas de precipitación en el estado de Guanajuato para una tormenta de 5 minutos de duración con un período de retorno de 10 años.	41
Figura 4.12	Isoyetas de precipitación en el estado de Guanajuato para una tormenta de 10 minutos de duración con un período de retorno de 10 años. ..	42
Figura 4.13	Isoyetas de precipitación en el estado de Guanajuato para una tormenta de 20 minutos de duración con un período de retorno de 10 años. ..	42
Figura 5.1	Ubicación del municipio de León.	45
Figura 5.2	Mapa fisiográfico de la zona.	47
Figura 5.3	Falla normal.....	49
Figura 5.4	Columna estratigráfica de la zona.....	63
Figura 5.5	Mapa geológico de la zona.	64
Figura 5.6	Esquema conceptual del acuífero de León.	65
Figura 5.7	Estaciones meteorológicas en el municipio de León, Guanajuato.	65
Figura 5.8	Subcuencas hidrológicas en el municipio de León, Gto.	66
Figura 6.1	Zona de inundación 8. Valle del Campestre: Colonia Valle del Campestre. 69	
Figura 6.2	Ubicación del pozo Cd. 35 con respecto y su área de amortiguamiento con respecto a la zona de inundación # 8.	69
Figura 6.3	Fosa para de prueba de infiltración (1)	72
Figura 6.4	Llenado de la fosa para de prueba de infiltración (2)	73
Figura 6.5	Capacidad de infiltración vs tiempo (Duración de la prueba)	76



Figura 6.6	Ubicación de los sitios propuestos y de los pozos con información litoestratigráfica.....	78
Figura 6.7	Corte litológico del pozo Las Hilamas. Cortesía CEAG.....	79
Figura 6.8	Estratos más superficiales del corte litológico del pozo Ciudad 17.	80
Figura 6.9	Estratos en los primeros metros de los pozos Las Hilamas y Cd. 17.	80
Figura 6.10	Sobreposición de la zona de interés con la geología superficial.	81
Figura 6.11	Zona de aportación. Fuente: Elaboración propia con información de SAPAL y Google Earth.....	82
Figura 6.12	Esquema del pozo de observación al interior de la obra de infiltración.	86
Figura A.1	Valores de los parámetros a, b y c, en función del cociente de lluvia-duración, R.	99
Figura A.2	Escala de tiempo geológico.....	116
Figura A.3	Clasificación de los principales grupos de rocas ígneas.....	119
Figura A.4	Clasificación de las rocas sedimentarias detríticas.....	120
Figura A.5	Clasificación de las rocas sedimentarias químicas.....	121
Figura A.6	Clasificación de las rocas metamórficas comunes.....	122
Figura A.7	Esquema de operación del permeámetro de Guelph.....	123
Figura A.8	Factor de forma C	126



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Capacidad de remoción de contaminantes de las trincheras	10
Tabla 4.1	Capacidad de Infiltración para diversos tipos de suelo.	26
Tabla 4.2	Ejemplos de usos de suelo potencialmente contaminantes	31
Tabla 4.3	Periodos de Retorno para Diseño de Sistemas de Alcantarillado Pluvial.	40
Tabla 4.4	Periodos de Retorno para Diseño de Sistemas de Alcantarillado Pluvial.	41
Tabla 5.1	Precipitación media anual y temperatura media anual en el municipio de Guanajuato.....	58
Tabla 5.2	Subcuencas hidrológicas en el municipio de León, Gto.	59
Tabla 6.1	Resultados de la prueba de infiltración	74
Tabla 6.2	Resultados de la primera prueba de infiltración.....	74
Tabla 6.3	Resultados de la primera prueba de infiltración	75
Tabla 6.4	Resultados de la primera prueba de infiltración.....	75
Tabla A.1	Valores de μ_y y σ_y en función del tamaño muestral.....	102
Tabla A.2	Eventos ordenados y probabilidad de ocurrencia	104
Tabla A.3	Ajuste a la distribución de probabilidad normal.	106
Tabla A.4	Ajuste a la distribución de probabilidad Lognormal.	108
Tabla A.5	Ajuste a la distribución de probabilidad Gumbel.	110
Tabla A.6	Ajuste a la distribución de probabilidad Pearson.....	112
Tabla A.7	Categorías de estructura y textura de suelos para la estimación del parámetro α	126