



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO**

**ESTUDIO PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN LA ZONA  
UNIVERSITARIA PONIENTE DE LA UASLP MEDIANTE SUSTITUCIÓN DE  
MUEBLES SANITARIOS, CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA, CAMBIO DE  
JARDINERÍA Y REUTILIZACIÓN DE AGUA TRATADA**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRÍA EN HIDROSISTEMAS**  
**OPCIÓN: INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

**I.B.Q. ALAIN RICARDO PICOS BENÍTEZ**

**DIRECTOR**

**M. I. JORGE ALBERTO RODRÍGUEZ ROBLEDO**

**SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO**

**DICIEMBRE DEL 2010**



Agradezco ampliamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la asignación de la beca brindada como:

- **Becario No. 235688**
- **Durante el periodo Septiembre 2008-Agosto2010**

Con la cual pude realizar mis estudios de Maestría en Hidrosistemas en el Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en la Ciudad de San Luis Potosí en el periodo antes mencionado.

Agradezco además al Colegio de San Luis por haberme aceptado como becario de investigación en el programa Agua y Sociedad en el proyecto: Ejercicio del poder en la gestión del agua. Dimensiones y consecuencia.

## Agradecimientos

Agradezco la oportunidad que me brindó la Universidad Autónoma de San Luis Potosí a través del Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, por permitirme realizar mis estudios de Maestría en Hidrosistemas.

A mis maestros quienes compartieron sus conocimientos y enseñanzas para instruirme en las áreas de su especialidad.

Al Dr. Antoni Escalas Cañellas por dirigir la presente tesis de Maestría y que por razones administrativas, no pudo figurar al final como el director responsable. Sin embargo estoy agradecido por la dirección que realizo, sus consejos y todo el esfuerzo que realizó para resolver mis dudas y mis errores, por mejorar mi trabajo y por poner su confianza en mi

Al M.I. Jorge Alberto Rodríguez Robledo por ayudarme a terminar con mi tesis en tiempo y forma, además de apoyarme con los faltantes y resolver mis dudas.

A mis asesores, quienes estuvieron ahí para apoyarme en cualquier cosa que me pudiera detener al elaborar la presente tesis.

Al Dr. Fernando Manzanque de IMBRIUM por compartir sus conocimientos sobre diseño de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente.

Al departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UASLP por compartir los datos del muestreo de calidad de agua residual realizado en la ZUP del 28 de abril al 5 de mayo del 2010

A la Dra. Cleotilde Hernández Suarez por haberme recibido como su becario de investigación en el proyecto Ejercicio del poder en la gestión del agua. Dimensiones y consecuencias. Además del apoyo brindado y los conocimientos compartidos durante mi estancia en el Colegio de San Luis.

Al Dr. Evaristo Méndez Gómez y a la Maestra Ana María Rivas Montañó por todo el apoyo, conocimientos compartidos y ánimo brindado para que yo realice mi mejor esfuerzo y de esta manera cumplir satisfactoriamente mis estudios de maestría.

A mis amigos Yazmín, Priscila, Leslie, Abidan, David, Adrián, Mayra, Jessica, Lorena, Elsa y Erika por apoyarme y hacer que mi estancia en la ciudad fuera totalmente amena y agradable. Les agradezco también el apoyo brindado y todos los momentos buenos que pasamos así como el ayudarme a sobrepasar los momentos malos.

A mi familia, en especial a mi madre: María de Jesús Benítez Jiménez y mi hermano: Martín Alessandro Picos Benítez, a quienes dedicó el trabajo realizado en esta tesis. A Mi tía: Dora A. Benítez Jiménez y a mis tíos, por todo el apoyo incondicional y cariño brindado para que siempre realice mi mejor esfuerzo para cumplir mis metas propuestas. Sé que siempre estarán ahí para apoyarme al máximo y permitirme alcanzar mis futuras metas.

A todos ustedes gracias por siempre esforzarse para que pueda cumplir mis metas y siga buscando mis límites.

ATENTAMENTE.

Alain Ricardo Picos Benítez

## Resumen

La Zona Universitaria Poniente (ZUP) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) tiene deficiencias en el uso del agua dentro de las instalaciones. El agua es extraída de pozo y se distribuye en los diferentes servicios de la ZUP. Se encontró que: la mayoría de los muebles sanitarios son antiguos y tienen descargas elevadas de agua (8 L/descarga), la jardinería utilizada es exótica y requiere un consumo elevado de agua. Existe la posibilidad de que la ZUP sea abastecida con otras fuentes de agua como agua de lluvia captada y agua residual tratada (se pueden captar 0.53 L/s de agua de lluvia y se puede generar hasta 4.34 L/s de agua residual). Se estudio la viabilidad de disminuir el volumen de agua de pozo utilizado en la ZUP de la UASLP mediante diferentes alternativas como cambio de sanitarios, cambio de jardinería por xerojardinería, captación y utilización de agua de lluvia y el tratamiento y reutilización de aguas residuales.

Se analizaron diferentes escenarios donde se propone la combinación de estas alternativas para la disminución del consumo de agua potable. Se encontró que el consumo de agua potable, en el mejor de los casos se puede disminuir hasta en un 78% dentro de la ZUP de la UASLP y un 36.6% el consumo de agua total utilizada. A pesar de que los escenarios demuestran que el consumo de agua se puede disminuir, se encontró que el costo necesario para llevar a cabo estas alternativas es elevado, debido principalmente a la mala planeación que existió al diseñar los espacios de la ZUP de la UASLP.

## **Abstract**

Zona Universitaria Poniente (ZUP) of Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) has deficiencies in water use inside its installations. Extracted well water is distributed in ZUP for different services. The present study found that: most of the toilets used in ZUP are old and have important water discharges (8 L/flush), gardening uses exotic plants and requires large quantities of water to properly maintain them. Water supply in ZUP can be made by other sources like: harvested rainwater and treated wastewater (inside the ZUP can harvest about 0.53 L/s of rainwater and can generate 4.34 L/s of regenerated water). The viability of reducing the volume of well water extracted by replacement of toilets, use of harvested rainwater and reuse of treated wastewater was studied.

Different scenarios were analyzed to propose a combination of alternatives for the reduction of well water. It was found that the best alternative shows a decrease of 78% in the use of well water and a decline of 36.6% in the total water used inside the ZUP. Despite the scenario results, the study shows that it is necessary to invest important amounts of money to implement a scenario, due principally to the wrong planning of the spaces of ZUP of UASLP.

## Símbolos y abreviaturas

% sat.	Porcentaje de saturación
$\mu\text{m}$	Micrómetros
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día
DQO	Demanda Química de Oxígeno
GyA	Grasas y aceites
Ha	Hectáreas
H.H./L	Huevos de helminto por litro
Hm <sup>3</sup>	Hectómetros cúbicos
L	Litros
L/descarga	Litros por descarga
L/día	Litros por día
L/estudiante.día	Litros por estudiante por día
L/hab.día	Litros por habitante por día
L/m <sup>2</sup> .día	Litros por metro cuadrado por día
L/trabajador.día	Litros por trabajador por día
L/unidad.día	Litros por unidad por día
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup> /día	Metros cúbicos por día
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundo
mm	Milímetros
mg/L	Miligramos por litro

min/rev	Minutos por revolución
mJ/cm <sup>2</sup>	Milijoule por centímetro cuadrado
ml	Mililitros
ml/L	Mililitros por Litro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
NMP	Número más probable
NT	Nitrógeno total
pH	Potencial de Hidrogeno
ppm	Partes por millón
PT	Fósforo total
RAFA	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TCU	True Color Unities
TRH	Tiempo de retención hidráulico
UCV	Unidades de Color Verdadero
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
U. Log.	Unidades logarítmicas
UTN	Unidades de Turbidez nefelométrica



## Índice General

<b>Índice de Tablas</b> .....	V
<b>Índice de figuras</b> .....	VIII
Introducción .....	1
Planteamiento del problema .....	2
Justificación.....	2
Hipótesis .....	3
Objetivos .....	4
Objetivo general .....	4
Objetivos particulares .....	4
Capítulo 1 Revisión bibliográfica sobre determinadas metodologías para el ahorro de agua en zonas desérticas o semidesérticas. ....	5
1.1 Ahorro de agua mediante cambios en los muebles de baño y su funcionamiento .....	7
1.2 Xerojardinería .....	9
1.2.1 Principios básicos de la xerojardinería.....	9
1.2.2 Puntos que deben tenerse en cuenta al crear un xerojardín.....	10
1.2.3 Tipos de plantas utilizadas en la xerojardinería.....	11
1.2.4 Técnicas de riego de bajo consumo para jardines .....	13
1.2.4.1 Sistemas de riego permanentes mediante rociadores .....	13
1.2.4.2 Riego por goteo.....	13
1.2.5 Uso de buenas prácticas de jardinería.....	14
1.3 Fundamentos de la captación del agua de lluvia .....	15
1.3.1 Cálculo de la precipitación y el volumen a captar o escurrir .....	15
1.3.2 Componentes básicos del sistema de captación de agua de lluvia.....	18
1.3.3 Sistema de captación y conducción.....	18
1.3.4 Técnicas de captación.....	19
1.3.5 Sistemas de almacenamiento.....	22
1.4 Normas aplicables la calidad y el uso del agua de lluvia .....	25
1.4.1 Normativas sobre la calidad del agua de lluvia en otros países y México .....	25
1.4.2 Normatividad que regula los usos del agua de lluvia.....	27
1.5 Tratamiento del agua de lluvia .....	29
1.5.1 Contaminantes en el agua de lluvia.....	29
1.5.2 Sistemas de tratamiento convencionales del agua de lluvia .....	30



1.6 Tratamiento y reutilización de agua residual en campus universitarios.....	33
1.6.1 Antecedentes y normatividad sobre la reutilización de agua residual tratada .....	34
1.6.2 Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	45
Capítulo 2 Metodología empleada para la evaluación de alternativas para el ahorro de agua en la ZUP .....	48
2.1 Muebles sanitarios .....	48
2.1.1 Muebles utilizados en la ZUP .....	48
2.1.2 Consumo actual de los muebles sanitarios .....	48
2.1.3 Población de la ZUP .....	49
2.2 Jardinería .....	49
2.2.1 Jardinería actual de la ZUP .....	49
2.2.2 Área ocupada por la jardinería en la ZUP .....	50
2.2.3 Consumo de agua de la jardinería de la ZUP .....	51
2.2.4 Propuesta de soluciones de xerojardinería para la ZUP .....	51
2.3 Captación de agua de lluvia .....	52
2.3.1 Propiedades climatológicas de la ciudad de San Luis Potosí .....	52
2.3.2 Sitio de estudio .....	52
2.3.3 Pluviometría .....	53
2.3.4 Estimación de la cantidad de agua de lluvia aprovechable en la ZUP .....	53
2.3.5 Tratamientos necesarios para la utilización de agua de lluvia .....	55
2.4 Tratamiento del agua residual en la ZUP .....	57
2.4.1 Agua residual generada en la ZUP .....	57
2.4.2 Drenaje y topografía de la ZUP .....	59
2.4.3 Selección de un sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP .....	59
2.4.4 Diseño del sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP .....	60
2.5. Diseño y evaluación de escenarios .....	66
2.5.1 Escenarios generados por el cambio de muebles actuales por muebles de bajo consumo.....	66
2.5.2 Escenarios generados por el cambio de la jardinería actual por xerojardinería.....	66
2.5.3 Escenarios generados por la captación de agua de lluvia .....	67
2.5.4 Escenarios generados con el tratamiento y la reutilización de agua residual .....	67
Capítulo 3 Resultados del estudio para la reducción del consumo de agua en la ZUP .....	68
3.1 Muebles sanitarios .....	68
3.1.1 Propuesta de nuevos muebles sanitarios en la ZUP .....	68
3.1.2 Estimación de ahorro de agua dentro de la ZUP con nuevos muebles sanitarios .....	69



3.2 Jardinería .....	70
3.2.1 Propuesta de cambio parcial de jardinería en la ZUP.....	73
3.2.2 Propuesta de cambio de total de jardinería en la ZUP .....	83
3.2.3 Ahorro de agua estimado con cambio de la jardinería.....	87
3.2.4 Discusión de resultados de cambio de jardinería propuesta para la ZUP .....	87
3.3 Cantidad de agua de lluvia captada aprovechable en la ZUP .....	88
3.3.1 Volumen de agua de lluvia captada en techos y tratamiento necesario para su utilización .....	88
3.3.2 Dimensionamiento del tanque (s) de almacenamiento de agua de lluvia .....	91
3.3.3 Posible ubicación del (os) tanque (s) de almacenamiento de agua de lluvia.....	91
3.3.4 Usos finales del agua de lluvia .....	93
3.3.5 Discusión de resultados sobre la captación y aprovechamiento de agua de lluvia dentro de la ZUP .....	94
3.4 Tratamiento de agua residual generada en la ZUP.....	95
3.4.1 Características del agua residual generada en la ZUP.....	95
3.4.2 Sistema de tratamiento seleccionado para el tratamiento del agua residual generada dentro de la ZUP .....	96
3.4.3 Diseño del sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP.....	98
3.4.4 Propuesta de ubicación del sistema de tratamiento de agua residual de la ZUP .....	100
3.4.5 Características del efluente generado por el sistema de tratamiento de agua residual seleccionado .....	102
3.4.6 Propuesta de reutilización del agua residual tratada dentro de la ZUP .....	103
3.4.7 Normativa aplicable al agua residual regenerada.....	103
3.4.8 Discusión de los datos obtenidos para el sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP.....	105
Capítulo 4 Resultados de los diferentes escenarios generados .....	107
4.1 Escenarios generados por el cambio de muebles actuales por muebles de bajo consumo .....	107
4.1.1 Cambio de muebles sanitarios en la ZUP .....	107
4.1.1.1 Viabilidad del escenario propuesto .....	109
4.1.2 Cambio de muebles en la ZUP y tratamiento de aguas residuales, .....	109
4.1.2.1 Viabilidad del escenario .....	112
4.1.3 Cambio de muebles en la ZUP, tratamiento de aguas residuales y cambio de la jardinería actual por xerojardinería .....	113
4.1.3.1 Viabilidad del escenario.....	116
4.2 Escenarios generados por el cambio de la jardinería actual por xerojardinería .....	117



---

4.2.1 Nueva jardinería en la ZUP de la UASLP .....	117
4.2.1.1 Viabilidad del escenario .....	117
4.2.2 Riego de la jardinería actual y jardinería propuesta con agua residual tratada .....	118
4.2.2.1 Viabilidad del escenario .....	118
4.2.3 Riego de la nueva jardinería con agua de lluvia captada .....	119
4.2.3.1 Viabilidad del escenario .....	121
4.3 Escenarios generados por la captación de agua de lluvia .....	122
4.3.1 Uso de agua de lluvia para el suministro en retretes actuales y retretes de bajo consumo .....	122
4.3.1.1 Viabilidad del escenario .....	123
CONCLUSIONES .....	124
Referencias .....	128
Anexos .....	A



## Índice de Tablas

Tabla 1. 1. Distribución del agua en las diferentes actividades de un hogar.....	7
Tabla 1. 2 Tiempos de operación de aspersor en función de la profundidad en la lata .....	14
Tabla 1. 3. Valores de coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de superficies y materiales de captación de agua de lluvia.....	16
Tabla 1. 4. Valores de coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de superficies y materiales de captación de agua de lluvia.....	17
Tabla 1. 5. Valores propuestos para límites permisibles para el agua de lluvia en diferentes ciudades de Australia.....	26
Tabla 1. 6. Recomendaciones de calidad que debe de cumplir el agua de lluvia en el estado de Nueva Gales del Sur, Australia.....	26
Tabla 1. 7. Recomendaciones de calidad para el uso de agua de lluvia dentro del hogar.....	27
Tabla 1. 8. Límites máximos permisibles de contaminantes en agua de lluvia o escurrimiento superficial para infiltración artificial en acuíferos.....	27
Tabla 1. 9. Parámetros de calidad biológica establecidos por la EPA. ....	28
Tabla 1. 10. Límites establecidos para diferentes usos del agua de lluvia.....	28
Tabla 1. 11. Límites permitidos por la normatividad mexicana para el uso de aguas residuales tratadas en servicios.....	28
Tabla 1. 12. Límites permitidos para agua potable en México.....	29
Tabla 1. 13. Volumen de agua utilizada y agua residual tratada reutilizada anualmente en diferentes países con clima seco.....	35
Tabla 1. 14. Datos de gasto (L/s) de agua residual tratada reutilizada por estado, actividades a las que se destina y porcentaje por estado.....	36
Tabla 1. 15. Características del agua cruda y tratada, comparada con los límites establecidos por la normatividad.....	37
Tabla 1. 16. Algunas experiencias de sistemas de tratamiento en algunas universidades de Perú.....	38
Tabla 1. 17. Comparación de algunos de los parámetros más utilizados para regular el reuso de agua tratada en algunos países.....	41
Tabla 1. 18. Límites establecidos en algunos estados de Estados Unidos, para el reuso de agua tratada en diferentes actividades.....	43
Tabla 1. 19. Comparación de los límites establecidos por la normativa mexicana para el reuso de agua tratada, propuesta de parámetros para aplicarse en la UASLP.....	44



Tabla 2. 1. Valores de coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de superficies y materiales de captación de agua de lluvia.....	55
Tabla 3. 1. Características y consumo actual de los inodoros de la ZUP.....	69
Tabla 3. 2. Características propuestas para los retretes de la ZUP, propuesta A. ....	69
Tabla 3. 3. Características propuestas para los retretes de la ZUP, propuesta B. ....	70
Tabla 3. 4. Plazas en la ciudad de San Luis Potosí y sus principales características .....	71
Tabla 3. 5. Principales parques de la ciudad de San Luis Potosí y sus características.....	72
Tabla 3. 6. Principales calles y camellones en la ciudad de San Luis Potosí. ....	72
Tabla 3. 7. Superficie de vegetación en las diferentes facultades de la ZUP de la UASLP .....	73
Tabla 3. 8. Características de la vegetación de bajo consumo de agua y crecimiento de lento a moderado, propuesta para el cambio de jardinería en la ZUP.....	76
Tabla 3. 9. Áreas ocupadas por la jardinería propuesta y consumo de la jardinería actual .....	82
Tabla 3. 10. Consumo total de la jardinería en la segunda etapa, propuesta A. ....	82
Tabla 3. 11. Consumo total de la jardinería en la segunda etapa, propuesta B. ....	83
Tabla 3. 12. Características generales de la vegetación propuesta para el cambio de la jardinería actual en la ZUP, propuesta A.....	85
Tabla 3. 13. Características generales de la vegetación propuesta para el cambio de la jardinería actual en la ZUP, propuesta B.....	85
Tabla 3. 14. Características del agua residual generada en la ZUP .....	96
Tabla 3. 15. Datos de diseño básico para el RAFA de la ZUP .....	98
Tabla 3. 16. Datos de diseño básico obtenidos mediante las ecuaciones para el diseño de filtro percolador propuesto para la ZUP con empacado de plástico. ....	99
Tabla 3. 17. Datos de diseño básico obtenidos mediante las ecuaciones del NRC para el diseño de filtro percolador propuesto para la ZUP con empacado de rocas. ....	99
Tabla 3. 18. Datos de diseño básico obtenidos para el tanque de contacto con cloro para la ZUP....	100
Tabla 3. 19. Eficiencia de remoción del sistema de tratamiento del agua residual doméstica generada en la ZUP para los contaminantes básicos. ....	102
Tabla 3. 20. Comparación de los datos obtenidos en el efluente tratado, con la normativa aplicable en el país.....	103
Tabla 3. 21. Normas Oficiales Mexicanas en materia de aguas residuales: regulación y aplicación. .	104
Tabla 3. 22. Efluente tratado generado en la ZUP y normativa aplicable según el uso.....	104
Tabla 4. 1. Gasto actual estimado generado por los retretes de la ZUP.....	108
Tabla 4. 2. Gasto estimado generado por los retretes propuestos en la ZUP, propuesta A .....	108
Tabla 4. 3. Gasto estimado generado por los retretes propuestos en la ZUP, propuesta B .....	108



---

Tabla 4. 4. Ahorro estimado para el escenario con cambio de retretes en la ZUP .....	109
Tabla 4. 5. Gastos, actual y proyectados con el cambio de los muebles sanitarios para el cálculo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	110
Tabla 4. 6. Características del sistema RAFA para el tratamiento de las aguas residuales de la ZUP para el escenario de cambio de muebles sanitarios.....	110
Tabla 4. 7. Características del filtro percolador con empacado de plástico para el tratamiento de las aguas residuales de la ZUP para el escenario de cambio de muebles sanitarios. ....	111
Tabla 4. 8. Características del filtro percolador con empacado de piedra para el tratamiento de las aguas residuales de la ZUP para el escenario de cambio de muebles sanitarios. ....	111
Tabla 4. 9. Comparación de las necesidades de agua y ahorros estimados para los diferentes escenarios propuestos .....	114
Tabla 4. 10. Resultados del primer escenario generado, cambio de muebles sanitarios en la ZUP ...	114
Tabla 4. 11. Resultados del segundo escenario generado considerando cambio de muebles sanitarios en la ZUP, reutilización de agua residual tratada y cambio de jardinería de la ZUP. ....	115
Tabla 4. 12. Comparación de los consumos y disminución del uso de agua en riego de jardines de la ZUP .....	117
Tabla 4. 13. Comparación de los ahorros obtenidos mediante el uso de agua de lluvia para el suministro de retretes en la ZUP .....	123



## Índice de figuras

Figura 1. 1. Mecanismo de doble descarga para mingitorios.....	8
Figura 1. 2. Tipos de fluxómetros para descargas de mingitorios.....	9
Figura 1. 3. Válvula para retención y evacuación de gases en mingitorios secos. ....	9
Figura 1. 4. Tabulador para el cálculo del coeficiente de escurrimiento en base al periodo de retorno y porcentaje de cobertura impermeable del terreno.....	17
Figura 1. 5. Sistema de captación de agua de lluvia y componentes básicos del sistema. ....	18
Figura 1. 6. Diferentes configuraciones de sistemas de captación de agua de lluvia para el riego de jardines. ....	19
Figura 1. 7. Esquema de una microcuencas para la retención de agua de lluvia en el terreno. 1) En serie, 2) en el contorno del terreno y 3) en asociación. ....	20
Figura 1. 8. Esquema de bordos interceptores para la retención o desvío del agua de lluvia. Fuente: 20	
Figura 1. 9. Diferentes configuraciones de bordos interceptores sobre el terreno.....	21
Figura 1. 10. Esquema de una trinchera francesa. ....	21
Figura 1. 11. Sistema sencillo de captación de agua de lluvia.....	22
Figura 1. 12. Sistema complejo de captación de agua de lluvia.....	23
Figura 1. 13. Gráfica del volumen del tanque de almacenamiento de agua de lluvia en función del área de captación. ....	24
Figura 1. 14. Tanque enterrado de almacenamiento de agua de lluvia con sistema de distribución....	24
Figura 1. 15. Sistema de rechazo de la primera agua de lluvia captada. ....	30
Figura 1. 16. Filtro de material grueso. ....	31
Figura 1. 17. Sistema de tratamiento con filtro de celulosa, carbón activado y filtro de rayos UV. ....	32
Figura 2. 1. Plano de ubicación de edificios, calles y áreas verdes dentro de la ZUP. ....	50
Figura 2. 2. Propuesta A para el tratamiento de agua de lluvia previo a su uso dentro de la ZUP.....	56
Figura 2. 3. Propuesta B para el tratamiento de agua de lluvia previo a su uso dentro de la ZUP.....	56
Figura 2. 4. Croquis de localización del punto muestreado.....	58
Figura 3. 1. Resultado del consumo con inodoros actuales y con inodoros propuestos.....	70
Figura 3. 2. Áreas verdes de la ZUP.....	74
Figura 3. 3. Propuesta de áreas verdes a modificar en una primera etapa de cambio de jardinería en la ZUP de la UASLP. ....	78
Figura 3. 4. Propuesta A para el cambio parcial de jardinería dentro de la ZUP de la UASLP.....	80
Figura 3. 5. Propuesta B para el cambio parcial de jardinería dentro de la ZUP de la UASLP.....	81
Figura 3. 6. Propuesta A del cambio total de la jardinería en la ZUP.....	84
Figura 3. 7. Propuesta B del cambio total de la jardinería en la ZUP.....	86



---

Figura 3. 8. Gráfico de consumo actual de agua de la jardinería actual vs consumo de agua de la jardinería propuesta.....	87
Figura 3. 9. Grafico de precipitación promedio por día en el período 2004-2006 dentro de la ZUP.....	88
Figura 3. 10. Gráfico del volumen de estimado de extracción y acumulación de agua de lluvia a lo largo del año.....	89
Figura 3. 11. Gráfico operación del sistema de bombeo de agua de lluvia .....	90
Figura 3. 12. Gráfico de la distribución de los días de operación del sistema de bombeo durante el año .....	90
Figura 3. 13. Propuesta de ubicación de los tanques de almacenamiento de agua de lluvia para la ZUP de la UASLP.....	92
Figura 3. 14. Tren de tratamiento propuesto para el tratamiento del agua de lluvia captada en los techos de los edificios captados en la ZUP.....	94
Figura 3. 15. Esquema del tren de tratamiento para el sistema de depuración de aguas residuales de la ZUP.....	97
Figura 3. 16. Posible ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ZUP.....	101
Figura 4. 1. Comparación de la disminución en el consumo de agua en la ZUP.....	115
Figura 4. 2. Comparación de la disminución en el consumo de agua en la ZUP, considerando el cambio de retretes y la jardinería.....	116
Figura 4. 3. Volumen captado y utilizado acumulado en los techos de los edificios de la ZUP.....	119
Figura 4. 4. Gráfico de operación del sistema de bombeo de agua de lluvia.....	120
Figura 4. 5. Distribución de los días de operación del sistema de bombeo durante el año.....	120



## Introducción

El hombre ha necesitado del agua para satisfacer todas sus actividades desde su aparición en la Tierra. El ser humano ha utilizado el agua a tal grado de sobreexplotarla y actualmente hay una escasez de agua. Los ríos, lagos, lagunas y los acuíferos que se utilizan para abastecer de agua al ser humano, están contaminados, sobreexplotados o reducidos en su caudal por la construcción de presas. Todo por la actividad humana, por tanto, actualmente es difícil conseguir agua de buena calidad para satisfacer las necesidades domésticas, industriales y agrícolas

El hombre ha buscado nuevas formas para obtener y mantener el recurso agua, necesario para sus actividades, sobre todo en zonas áridas o semiáridas. Mediante captación de agua de lluvia que se capta y almacena en diferentes sistemas de abastecimiento o conducción, reutilización de agua tratada o el uso eficiente de ella mediante el uso de jardinería de bajo consumo de agua.

En México se utiliza la captación de agua de lluvia en zonas áridas o semiáridas desde la época prehispánica, los primeros en utilizar esta tecnología que aún permanece en nuestros días fueron los aztecas y los mayas. Estas culturas construían terrazas en las laderas de los cerros para retener por más tiempo el agua de escorrentía. De esta manera, los suelos aumentaban su humedad y su fertilidad, haciéndolos óptimos para la agricultura (FAO, 2000).

Actualmente, la captación del agua de lluvia en México se sigue utilizando para fines agrícolas, sobre todo en lugares donde escasea el recurso. Los métodos más utilizados según la FAO (2000) son:

- **Manejo de escorrentías y construcción a mano de terrazas**, esto se hace mediante la construcción a mano de bordos que retienen el flujo natural del agua. En los bordos se plantan especies nativas de la zona.
- **Derivación y distribución de torrentes**, se excavan canales o se levantan bordos en diagonal que desvían el agua hacia las zonas que se quiere regar.

La **reutilización de aguas tratadas**, es hoy en día una excelente alternativa para el riego en la agricultura, parques, áreas verdes, o para su reuso en la industria como agua de enfriamiento.

El tratamiento del agua residual ha evolucionado constantemente, desde que se inicio el concepto de tratar el agua con solo tratamientos físicos como la sedimentación, hasta los procesos actuales que llevan un tratamiento biológico que se realiza por la asimilación biológica de los microorganismos presentes en el agua residual y en algunos casos hasta la desinfección con ozono o el paso del agua a través de filtros de cationes y aniones para remover contaminantes específicos de ella. (TWDP, 2005)



La **xerojardinería** es el uso de vegetación endémica, o el uso de plantas de bajo consumo hídrico. Estas plantas están adaptadas a las condiciones del lugar o son más resistentes por lo tanto requieren menos mantenimiento y consumen menos agua o solo aquella que precipita a lo largo del año.

### **Planteamiento del problema**

El consumo actual de agua de la Zona Universitaria Poniente (ZUP) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) es elevado. La jardinería utilizada en la ZUP demanda demasiada agua pues la mayoría de las áreas verdes está conformada de césped. La precipitación anual acumulada en San Luis Potosí es de 387mm y ocurre en los meses de julio, agosto y septiembre esto se agrava con el hecho de que el agua de lluvia escurre y no se aprovecha por la falta de infraestructura para la captación de agua de lluvia, por lo que la mayoría del año las áreas verdes tienen que ser regadas con agua potable.

Los muebles sanitarios de los edificios antiguos utilizan inodoros que generan una descarga de 8 L/descarga, actualmente existen en los edificios de reciente construcción, inodoros con necesidades de 4.8-6 L/descarga (esté es una alternativa para la reducción del consumo de agua potable dentro de la ZUP.)

Otra situación relativa al consumo de agua dentro de la ZUP es el utilizar aguas residuales tratadas para el riego de las áreas verdes, sin embargo, el agua residual que se genera en la ZUP es descargada directamente en la red de drenaje municipal. La escasa precipitación hace necesario aprovechar el agua de lluvia que precipita en la época aguas (junio, julio, agosto y septiembre) para utilizarse en el abastecimiento de baños o en el riego de áreas verdes.

El agua que se abastece dentro de la ZUP es extraída de pozo, donde se extraen 24 l/s (2073 m<sup>3</sup>/día) de los cuales solo se envían 3.0 l/s (3.0 m<sup>3</sup>/día) a la ZUP. El resto se envía a la red de abastecimiento municipal y al hospital central. Los 3.0 representan el 12.5% del total extraído del pozo. La ZUP consume diariamente 6.5l/s (561.6 m<sup>3</sup>/día), la diferencia de 3.5 Lps (302.4 m<sup>3</sup>/día) es abastecida de la red de municipal (Rueda, 2004).

### **Justificación**

Actualmente la ZUP de la UASLP, cuenta con un pozo de extracción de agua del acuífero de San Luis Potosí con la que da abasto a los servicios que demandan agua en la ZUP. Dado que el acuífero actualmente se encuentra sobreexplotado y las áreas verdes demandan demasiada agua para el riego, es necesario buscar fuentes alternativas de abastecimiento.



Es necesario un estudio para proponer alternativas técnicas de las posibilidades con las que cuenta la UASLP para reducir el consumo de agua de pozo. Entre las alternativas a considerar y a estudiar se encuentran las siguientes:

- a) Sustitución de muebles sanitarios (inodoros) de 8 a 4.8 o 6 L/descarga
- b) Un plan de reducción del consumo de agua mediante el uso de un tipo nuevo de vegetación en las áreas verdes de la ZUP.
- c) La captación y el aprovechamiento del agua de lluvia que precipita y escurre en la ZUP.
- d) La viabilidad de captación e instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales dentro de la ZUP, así como el aprovechamiento de aguas residuales tratadas en riego, reutilización en servicios o venta a terceros.

### **Hipótesis**

El consumo de agua en la ZUP se puede reducir considerablemente mediante varios métodos:

1. Sustitución de los retretes antiguos a retretes de los que actualmente se ofrecen en el mercado.
2. Mediante la captación y el aprovechamiento de agua de lluvia dentro de la ZUP. Es posible captar el agua de lluvia que cae dentro de la ZUP en las azoteas de los edificios y almacenarse en varios tanques de concreto o en un solo tanque para después distribuirse en los servicios destinados.
3. El aprovechamiento de agua de lluvia dentro de la ZUP puede ser en baños o en riego de áreas verdes, disminuyendo el consumo de agua potable suministrada por la red municipal.
4. Cambio del tipo de jardinería actual por jardinería de bajo consumo de agua: **Xerojardinería.**
5. Captación, tratamiento y reutilización de aguas tratadas para el riego de las áreas verdes dentro de la ZUP o mediante venta a terceros. Es factible utilizar un sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo de construcción y bajo costo de operación que genere un efluente de buena calidad.



## Objetivos

### Objetivo general

Realizar un diagnóstico del consumo de agua y generación de aguas residuales en la ZUP, y realizar propuestas para optimizar el consumo de agua mediante cambio de retretes actuales por unos de consumo menor, de la jardinería y en las fuentes de suministro como incorporación de agua de lluvia y agua residual tratada.

### Objetivos particulares

1. Diagnosticar el manejo básico del agua en la ZUP.
2. Sugerir inodoros de bajo consumo en los baños de la ZUP.
3. Plantear formas de reducción de consumo de agua en jardinería.
4. Hacer y proponer el diseño básico de un sistema para captar y usar agua pluvial en la ZUP.
5. Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales básica para generar agua regenerada de elevada calidad.
6. Analizar la posibilidad de reusar el agua regenerada en el riego de jardines o en la venta a terceros.



## Capítulo 1 Revisión bibliográfica sobre determinadas metodologías para el ahorro de agua en zonas desérticas o semidesérticas.

### Introducción

El crecimiento de la población aumentó la demanda de agua en todo el mundo. Para satisfacerla es necesario buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua. También es necesario utilizar de una manera más eficiente el agua que actualmente nos es abastecida.

Las fuentes de abastecimiento que actualmente existen son fuentes superficiales o subterráneas. Sin embargo, la creciente demanda de agua potable generó que actualmente se utilice agua residual cruda o tratada, desalinización de agua salada o salobre por medio de ósmosis inversa y la captación de agua de lluvia.

Toda ciudad, industria, institución o casa doméstica cuenta con un área verde o jardín. Las áreas verdes o jardines en su mayoría lo conforman plantas exóticas, plantas que consumen demasiada agua, en lugares tropicales o subtropicales húmedos y lluviosos, estos jardines son sostenibles, pero, en zonas áridas o semiáridas no lo son. El problema es que cuando alguien visita un lugar tropical y observa un jardín trata de copiarlo y utilizarlo en su ciudad, aunque sea en zonas áridas. A raíz de esto surge la jardinería sostenible dentro de la cual se considera a la xerojardinería, que es el uso de plantas que requieren menor consumo de agua y de menor calidad.

En esta revisión bibliográfica se hablará de la captación de agua de lluvia así como el agua residual tratada como fuentes alternativas de abastecimiento de agua y de la xerojardinería y el cambio de muebles sanitarios como alternativas para reducir el consumo de agua de una manera eficiente.

La captación de agua de lluvia es una práctica que se lleva a cabo por varias razones: obtener agua de lluvia para el riego en zonas agrícolas, uso doméstico o recarga de acuíferos. Debido a que el agua de lluvia carece de normatividad alguna que regule su uso, se puede utilizar en actividades variadas sin ningún problema, además se tiene la certeza de que la calidad es mejor que muchas otras fuentes de abastecimiento debido a que el agua de lluvia es considerada como el agua de mejor calidad. Se puede utilizar tanto para consumo humano como en riego de áreas verdes, o recarga de acuíferos, siempre y cuando cumpla con la normativa aplicable.

El uso de agua de lluvia tiene como beneficio: que reduce el consumo de agua potable en el riego de zonas agrícolas; debido a que carece de sales, ayuda al crecimiento de las raíces de las plantas; permite que se lleve a cabo el intercambio de nutrientes entre la raíz y el suelo mejorando la eficiencia de este proceso; puede utilizarse para el riego de zonas verdes en cualquier ciudad en sus



parques y jardines, escuelas, edificios de apartamentos, estacionamientos y además puede adaptarse para el uso en casas habitación. (City of Albuquerque, 1995)

Un sistema de captación de agua de lluvia tiene de tres componentes básicos: el suministro o la fuente, la demanda y el sistema de captación conducción y almacenamiento de agua de lluvia.

Actualmente la mayoría del agua residual se genera por fuentes domésticas, sin embargo las aguas residuales industriales son las que presentan mayores problemas por la complejidad de su composición, además de la variedad de contaminantes y las cantidades que tiene cada una de estas aguas. El tratamiento de las aguas residuales ha evolucionado constantemente, la calidad en el efluente tratado dependerá principalmente del tipo de agua a tratar, el sistema de tratamiento utilizado, el uso que tendrá el agua residual regenerada, los recursos económicos disponibles para la construcción del sistema de tratamiento y la normatividad aplicable.

En zonas áridas o semiáridas, el agua residual tratada es un recurso utilizado para el riego, o en casos como el sur de California en Estados Unidos, el agua se utiliza o se planea usar para la recarga de acuíferos. Para este caso ay muchas preguntas acerca del nivel de tratamiento que debe de tener el agua tratada, para evitar riesgos a la salud humana. (Metcalf & Eddy, 2004)

La xerojardinería es un tipo de jardinería sostenible que considera la utilización de plantas con requerimientos bajos en cantidad y calidad de agua, así como de mantenimiento. Generalmente utiliza plantas endémicas del desierto. Es utilizada con frecuencia en zonas áridas y semiáridas.

Para aplicar la xerojardinería es necesario conocer los 7 principios básicos que se verán más adelante. La xerojardinería consume aproximadamente un 90% menos agua del total que utiliza un jardín convencional.

Los dispositivos ahorradores son una estrategia para reducir el consumo de agua. Actualmente, hay diversos sistemas ahorradores como son: muebles y accesorios de baño (inodoros, mingitorios, fluxómetros, llaves y regaderas), reductores o economizadores de flujo y otros sistemas.

Los inodoros son considerados ahorradores, si el gasto generado es menor a 6 litros por descarga. Existen diferentes tipos de sistemas ahorradores en los inodoros, los primeros, son los que descargan un caudal fijo, en los inodoros actuales de descarga fija, el gasto es de 6 litros por descarga. Existen inodoros con dispositivos de doble descarga, estos pueden descargar 3 y 6 litros, según sea el caso. Otro dispositivo ahorrador, es el uso de dispositivos externos que se instalan en los inodoros actuales, sin la necesidad de sustituir todo el mueble sanitario.

Los fluxómetros se utilizan para reducir el gasto generado en las descargas actuales de los mingitorios o los inodoros. Existen dispositivos que permiten una limpieza completa del inodoro con descargas de agua de hasta 0.5 litros y en inodoros de hasta 4.8 litros.



El ahorro de agua en regaderas y llaves se logra mediante mecanismos que incluyen, la mezcla con aire, reducción del área de difusión y la reducción del caudal a uno mínimo necesario, que permite un servicio adecuado.

En el presente trabajo se hablará de la captación del agua de lluvia, algunos conceptos básicos a considerar, la normatividad a la que está sujeta el agua de lluvia si la existe en diferentes países y en México, los diferentes usos en servicios, los tratamientos a los que está sometida según los tipos de contaminantes, algunas formas de cálculo de la cantidad de agua de lluvia que se puede captar, y algunos aspectos del uso de agua de lluvia como agua para recarga de acuíferos.

### 1.1 Ahorro de agua mediante cambios en los muebles de baño y su funcionamiento

El uso eficiente de agua significa que no es necesario ir avanzando con la tendencia de la demanda, si no predecir los cambios de la demanda y afrontar estos cambios concientizando y aplicando acciones para que el aumento sea menor.

Para conocer la demanda es necesario saber cuáles son los usos que tiene, en la siguiente tabla, se muestra la distribución del agua en un hogar típico de Estados Unidos (Metcalf & Eddy, 2004):

Tabla 1. 1. Distribución del agua en las diferentes actividades de un hogar.

Uso	Flujo, sin conservación de agua (L/hab.día)	Porcentaje total	Flujo con conservación de agua (L/hab.día)	Porcentaje total
Grifos en Baños	5	1.8	5	2.6
Regaderas	50	17.8	42	21.4
Lavado de vajillas	4	1.4	4	2.0
Lavado de ropa	64	22.8	45	22.8
Grifos	43	15.3	42	21.3
Retretes	73	26.0	35	17.8
Fugas	36	12.8	18	9.1
Otros usos domésticos	6	2.1	6	3.0
Total	281	100	197	100

Fuente: Metcalf & Eddy, 2004

El uso de agua en retretes y grifos de baño representa un 27.8% para el caso de que no haya una iniciativa para la conservación del agua, para cuando la hay es de 20.4%. Según el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA se estima una dotación de 250L/hab.día para una residencia en una ciudad con clima templado. De acuerdo a estos datos y los porcentajes obtenidos para una ciudad con una iniciativa de conservación de agua se tiene, qué, por día una persona utiliza:

- 44.5 L de agua en retretes
- 6.5 L de agua en grifos de baños

En total una persona utiliza un aproximado de 51 L de agua por día en un hogar promedio, esto, al utilizar muebles estándares como retretes, mingitorios y/o llaves sin dispositivos ahorradores. Actualmente existen opciones para disminuir el consumo de agua potable en instituciones, edificios públicos, privados, escuelas, casas residenciales, etc. Estos dispositivos son conocidos como ahorradores entre los más usados son:

- Retretes
- Mingitorios

Entre los retretes existen aquellos de descarga fija y los de doble descarga, entre los primeros están aquellos que descargan 6 y 4.8 L, existen además fluxómetros que pueden instalarse en los inodoros convencionales para reducir el consumo, estos fluxómetros permiten reducir la descarga del inodoro a 4.8 L.

Los retretes con dispositivos de doble descarga son aquellos que tienen un dispositivo que les permite realizar 2 descargas diferentes, los más comunes son aquellos que realizan descargas de 3 y 6 L, el primer caso es para evacuar líquidos y el segundo para sólidos.



Figura 1. 1. Mecanismo de doble descarga para mingitorios (Fuente: CEA Querétaro, 2009)

Estos sistemas poseen 2 botones, al presionar uno se ejerce una presión sobre el dispositivo que liberará la descarga de agua, mientras más grande sea la presión mayor será la descarga.

Los mingitorios generalmente son utilizados en instituciones públicas y/o privadas, los más comunes generan 4.8 L/descarga, actualmente esto es algo considerable, por lo que este tipo de mingitorios ya no son una buena opción, sí se comparan con las nuevas tecnologías que existen,

ejemplo de ellas son los fluxómetros para mingitorios, existen algunos cuya descarga va de los 2-3 L, pero aquellos mas ahorradores logran disminuir esta cantidad a un máximo de 0.5 L.



Figura 1. 2. Tipos de fluxómetros para descargas de mingitorios. (Fuente: Ciudad de México, S/f)

Si bien disminuir de 4.8 a 3, o hasta los 0.5 L es algo realmente beneficioso, existen mingitorios secos, estos mingitorios no requieren agua para evacuar los líquidos la superficie es totalmente derrapante por lo que no retiene los líquidos, contiene una válvula especial que permite la evacuación de los líquidos y evita el retorno de los gases.

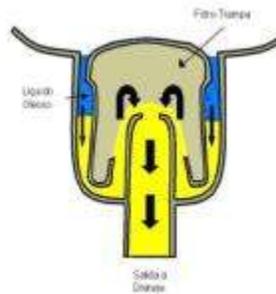


Figura 1. 3. Válvula para retención y evacuación de gases en mingitorios secos. Fuente: <http://grupoadapta.com.mx/HTML/Productos/Mingitorios.html>

## 1.2 Xerojardinería

### 1.2.1 Principios básicos de la xerojardinería

La xerojardinería es una forma de jardinería sostenible donde las plantas utilizadas requieren bajo consumo hídrico y baja calidad del agua. Los principios básicos de la xerojardinería fueron establecidos por el National Xeriscape Council y consta de los siguientes 7 principios:

1. Planificación y diseño del jardín: Permite conocer bien el jardín, para una correcta planeación del jardín es necesario conocer todas las características del lugar es decir: tipo de suelo, topografía, clima, vegetación, calidad del suelo, etc.



2. Características del suelo: es necesario conocer las características físicas y químicas del suelo además de la topografía, esto define el tipo de vegetación que se puede utilizar para la construcción del xerojardín y los requerimientos totales de agua.
3. Selección de las plantas: serán seleccionadas de acuerdo a las características del suelo, es necesario hacer una selección de plantas que tengan requerimientos similares pues se colocaran en el mismo lugar.
4. Reducción de las áreas de césped: el césped es el más utilizado en la jardinería por su belleza paisajística, pero consume demasiada agua. Una alternativa es cambiar áreas de césped por árboles.
5. Riego eficiente: todo jardín tiene zonas de elevado, medio y bajo consumo de agua, por lo tanto identificar estas áreas es indispensable para efficientar el riego. El cambio de los métodos de irrigación es importante pues una vez identificadas las zonas de alto consumo de agua, será necesario independizar las zonas de riego.
6. Uso de recubrimientos: el uso de recubrimientos como hojarasca o restos de jardinería evita las pérdidas de agua por evaporación, protegen a las plantas contra las heladas, evitan la aparición de hierbas, evitan la erosión del suelo, entre otros beneficios.
7. Mantenimiento adecuado: es indispensable para mantener el paisaje que proporciona y mantener bajos consumos de agua.

Fuente: Martínez (s/f).

### **1.2.2 Puntos que deben tenerse en cuenta al crear un xerojardín**

Antes de crear cualquier jardín, es necesario establecer las condiciones necesarias para las plantas que se colocaran en él. El primer paso es preparar el suelo. Es necesario analizar las características del suelo, porque así se conocerán las plantas a utilizar en él y sus necesidades de fertilizantes o si es necesario agregar materia orgánica. También es importante tener en cuenta la salinidad y el pH del suelo, ya que ambos dificultan la absorción de nutrientes por parte de las raíces.

La selección de las plantas también es importante, es preferente seleccionar las plantas, arbustos o árboles de la región donde se está creando el xerojardín pues ya están adaptadas a las características climáticas de la zona y sobre todo del suelo. Esto permitirá reducir el uso de fertilizantes o el mantenimiento en los jardines.

Una vez que se tiene un xerojardín, es necesario utilizar técnicas eficientes de riego. Cada planta requiere una cantidad de agua. El exceso de agua en el terreno puede provocar la remoción de nutrientes y materia orgánica del terreno, en caso contrario, la falta de agua en las plantas provocará



su muerte por falta de ella. Es necesario entonces identificar las zonas de mayor a menor demanda. Después de identificar las zonas de mayor y menor demanda, ay que seleccionar el sistema apropiado para el riego de estas. (Welsh, s/f).

### 1.2.3 Tipos de plantas utilizadas en la xerojardinería

Las plantas comúnmente utilizadas en la xerojardinería son:

- Arbustos
- Helechos
- Palmeras y Cicadáceas
- Céspedes para detallar,
- Enredaderas y plantas bajas
- Anuales/Perennes/Flores Silvestres

Algunos de los arbustos utilizados son:

- Filigrana (*Callicarpa americana*)
- Icaco (*Chrysobalanus icaco*)
- Peronilla, Bucayo (*Erythrina herbacea*)
- Lirio de cinta (*Crinum asiaticum*)
- Pata de Gallina (*Hamelia patens*)
- Yanilla blanca (*Forestiera segregata*)
- Yanilla (*Ilex vomitoria*)
- Bejuco inglés (*Caparis cyanophallophora*)
- Mora (*Ardisia escallonioides*)
- Tambalisa (*Sophora tomentosa*)
- Viburnum (*Viburnum obovatum*)
- Mirto Ceroso (*Myrica cerifera*)
- Agalla de Costa, Borborin (*Randia aculeata*)
- Guairaje (*Eugenia axillaris*)
- Café Silvestre (*Psychotria nervosa*)
- Café Silvestre enano (*Psychotria ligustrifolia*)

Los helechos más utilizados son:

- Helecho (*Nephrolepis exaltata*)



- Helecho Gigante (*Acrostichum danaeifolium*)
- Helecho de Pantano (*Blechnum serrulatum*)

Las palmeras y cicadáceas más utilizadas son:

- Guano de Guinea (*Pseudophoenix sargentii*)
- Palma Sabal (*Sabal palmetto*)
- Guayaga (*Zamia pumila*)
- Palma Guano Prieto (*Acoelorrhaphe wrightii*)
- Palma Alcanfor (*Cycas circinalis*)
- Palma Real de la Florida (*Roystonea elata*)
- Palma de Sierra (*Serenoa repens*)
- Guano de Costa (*Thrinax spp.*)

Algunos céspedes enredaderas y plantas bajas utilizadas para detallar:

- Buganvillea (*Bougainvillea spectabilis*)
- Lluvia de Coral (*Lonicera sempervirens*)
- Yerba de Cordel o decorativa (*Spartina baker*)
- Parcha, Suberosa (*Passiflora suberosa*)
- Hierba de Fakahatchee (*Tripsacum dactyloides*)
- Hierba de la Florida (*Tripsacum floridanum*)
- Cariaquillo (*Lantana montevidensis*)
- Liriope (*Liriope muscari*)
- Hierba japonesa (*Ophiopogon japonicus*)
- Ilusión (*Eragrostis spectabilis*)
- Boniato de Playa (*Ipomoea pes-caprae*)
- Araña (*Uniola paniculata*)

Último, los anuales/perenes y flores silvestres de mayor uso en la xerojardinería son:

- Margarita Playera (*Helianthus debilis*)
- Alma del Poeta (*Rudbeckia hirta*)
- Gaillardia (*Gaillardia pulchella*)
- Cariaquillo (*Lantana depressa*)
- Cariaquillo (*Lantana involucrata*)



- Pentas (*Pentas lanceolata*)
- Verbena azul (*Stachytarpheta jamaicensis*)
- Romero de Costa (*Borrichia frutescens*)
- Lirio (*Hymenocallis latifolia*)
- Te de Coral (*Coreopsis leavenworthii*)

Fuente: SFWMD (2001)

#### 1.2.4 Técnicas de riego de bajo consumo para jardines

Existen diversos sistemas de bajo consumo para riego de jardines. Las técnicas de riego más conocidas son:

- Sistemas de riego permanentes mediante rociadores
- Riego por goteo
- Uso de buenas prácticas de jardinería:
  - Establecimiento de flujo y tiempo de funcionamiento de rociadores
  - Prioridades de riego

Fuentes: Welsh. (1988 y s/f)

##### 1.2.4.1 Sistemas de riego permanentes mediante rociadores

Consisten en rociadores automáticos o manuales que se encuentran bajo el suelo y a lo largo de todo el jardín en intervalos de distancia. Los rociadores automáticos se programan para regar a determinadas horas del día y durante el tiempo necesario para las plantas. Los rociadores manuales, requieren de personal para funcionar y su eficiencia está limitada a las prácticas de riego utilizadas por la persona encargada de su funcionamiento. Para diseñar un buen sistema de irrigación mediante aspersores, se requiere de personal técnico.

Si el suministro de agua en los aspersores, es por parte del ayuntamiento de la ciudad se requiere instalar válvulas de retorno.

Fuente: Welsh. (1988 y s/f)

##### 1.2.4.2 Riego por goteo

Es una práctica más eficiente que el riego por aspersores, consiste en una tubería de agua a baja presión que lleva el agua hacia la zona de las raíces en la planta y la suministra gota a gota. Mediante el riego por goteo, se suministran aproximadamente 3 galones de agua por hora. Hay pérdidas de agua por evaporación o por escurrimiento pero son mínimas. Este



método de irrigación evita la pérdida de suelo fértil. Su uso es más eficiente si se combina con el uso de coberturas del terreno.

Este sistema de irrigación puede ser controlado manual o automáticamente. El sistema es un poco costoso ya que requiere de filtración del agua previo al riego pues los dosificadores tienen un diámetro pequeño y pueden taparse, además requieren de un regulador de presión para poder trabajar con presiones bajas. Requiere además de un buen diseño para funcione eficientemente. Welsh (1988 y s/f)

### 1.2.5 Uso de buenas prácticas de jardinería

A pesar del tipo de sistema de irrigación que se utilice, estas prácticas incrementan la eficiencia del riego:

#### Establecimiento de flujo y tiempos de riego

Es necesario el flujo de agua y el tiempo de operación del aspersor, para esto Welsh (1988 y s/f) menciona los siguientes pasos:

1. Colocar tres latas separadas a lo largo del radio de influencia del aspersor
2. Operar el aspersor durante quince minutos
3. Pasados los quince minutos se mide la profundidad del agua en la lata y se compara con la siguiente tabla para determinar el tiempo de operación del aspersor.

Tabla 1. 2 Tiempos de operación de aspersor en función de la profundidad en la lata

Profundidad en la lata	Minutos de operación del aspersor
3/16"	80
1/40"	62
5/160"	50
3/8"	40
1/20"	30
5/8"	24
3/40"	20
1"	15
1 1/4 "	12
1 1/2 "	10

Fuente: Welsh (1988)

Es conveniente realizar el riego por las mañanas o por las tardes para minimizar las pérdidas por evaporación

#### Establecer prioridades de riego

En épocas de sequía es indispensable establecer cuáles son las plantas que se tienen que regar preferentemente y cuales pueden esperar.



Primero que nada, los árboles históricos deben estar en primer lugar a ser regados. El riego solo será el necesario y se procurará no rociar las hojas. En segundo lugar deben estar las plantas de alto valor económico. Posteriormente los árboles recién trasplantados o las plantas nuevas en el jardín. Por último los anuales y perenes.

### 1.3 Fundamentos de la captación del agua de lluvia

La captación de agua de lluvia considera tres factores generales que son la fuente o el suministro, la demanda y el sistema de captación utilizado. Algunos autores mencionan que no son solo tres componentes los que deben de considerarse como los componentes básicos, pues algunos, además de estos tres factores consideran al sistema de captación, distribución y almacenamiento como partes independientes del sistema, para este caso se considerará al conjunto como una de las partes independientes, otro aspecto que hay que considerar y que algunos no consideran como un factor importante es el sistema de tratamiento de agua de lluvia, pues si bien el agua de lluvia es de buena calidad, el agua que escurre sobre los techos de las casas, edificios, pavimento, suelo o áreas verdes, está cargada con sólidos suspendidos y trazas de compuestos orgánicos y orgánicos volátiles, sin olvidar los organismos patógenos, factores que afectan la calidad del agua por lo que es indispensable que esta reciba un tratamiento de remoción de sólidos y desinfección, previo a su uso final. (TWDB, 2005)

Dentro del suministro hay que considerar diferentes factores para cuantificar la cantidad de agua de lluvia que podemos captar en una zona o región. Los factores principales a considerar son:

- La hidrogeología del lugar (en el caso de aquellos proyectos diseñados para captar el agua de lluvia e infiltrarla a acuíferos), es decir: topografía del lugar, extensión del acuífero, el nivel en la que se encuentra el agua y la calidad de la misma.
- El área que contribuye al escurrimiento (o el área donde se va a captar el agua de lluvia).
- Y por último los factores meteorológicos como cantidad de lluvia e intensidad de la precipitación.

(Bhattacharya and Rane, s/f)

#### 1.3.1 Cálculo de la precipitación y el volumen a captar o escurrir

El cálculo de la precipitación no es necesario realizarlo si se tienen datos de precipitación de la estación meteorológica local, sin embargo se pueden utilizar algunos métodos para estimar la cantidad de agua de lluvia a precipitar. Si se utilizan datos de alguna estación meteorológica hay que recordar que en general, las estaciones meteorológicas reportan los datos de precipitación



anualmente, por lo que es necesario considerar la precipitación de cada mes en el año. Una vez obtenidos los datos de precipitación se puede calcular el volumen a captar de la siguiente manera:

$$\text{Volumen a captar} = \text{Área de captación}(m^2) * \text{precipitación (mm)} * \text{coeficiente de escurrimiento (Waterfall, 2004)} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Volumen posible a captar en muchos lugares de Estados Unidos se calcula con la ecuación anterior, sin embargo en Australia utilizan la siguiente expresión:

$$\text{Volumen a captar} = \text{Área de captación}(m^2) * (\text{precipitación} - B) (mm) * \text{coeficiente de escurrimiento} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

En la ecuación anterior *B* se define como las pérdidas debido a la absorción en el terreno y a la adherencia de una película de agua en las superficies con las que entra en contacto, este valor se considera de 2 mm por mes y 24 mm anuales. (Nubian Water Systems, 2007).

Para el uso del agua de lluvia captada en el riego de plantas se debe de considerar la demanda anual o mensual que genera la planta o las plantas a regar, el cálculo se puede hacer con la siguiente expresión:

$$\text{Demanda de la planta} = ET(mm) * \text{Factor de la planta} * \text{Área}(m^2) \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde *ET* representa la evapotranspiración producida por la planta, el factor de la planta es la cantidad de agua que utiliza la planta para sus procesos, este factor está determinado por el tipo de planta que se está analizando pues existen plantas de bajo, medio y alto consumo. (Bickelman, 2006).

El coeficiente de escurrimiento es un dato muy importante a considerar, el valor del coeficiente varía según el material por donde escurre el agua siendo desde 0.05-0.9, a continuación se muestran los valores para diferentes materiales en la siguiente tabla:

Tabla 1. 3. Valores de coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de superficies y materiales de captación de agua de lluvia

Tipo de captación y material		Coefficientes de escurrimiento
Captación en techos	Azulejos	0.8-0.9
	Laminas de metal	0.7-0.9
Captación en diferentes cubiertas del suelo	Concreto	0.6-0.8
	Piso construido con ladrillo	0.5-0.6
Captación en suelos naturales	Suelo y pendientes con menos del 10%	0.0-0.3
	Suelos rocosos	0.2-0.5
	Naturales y con pasto	0.05-0.10

Fuente: Bhattacharya and Rane, *Harvesting Rainwater: catch water where it falls!*



Waterfall (2004) presenta los valores de la tabla 1.4 para el coeficiente de escurrimiento de los siguientes materiales:

Tabla 1. 4. Valores de coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de superficies y materiales de captación de agua de lluvia

Superficie de captación	Material	Coeficiente de escurrimiento	
		Alto	Bajo
Techos	Metal	0.95	0.90
	Asfalto fibra de vidrio		
	Papel mineral		
Pavimento	Concreto	1.0	0.9
	Asfalto		
Suelo	Planos sin vegetación	0.75	0.2
	Planos con vegetación	0.6	0.1
Césped	Plano, suelo arenoso	0.10	0.05
	Plano suelo pesado	0.17	0.13

Fuente: Waterfall (2004)

El coeficiente de escurrimiento también se puede determinar en el suelo mediante la figura 1.4. En la gráfica, el coeficiente de escurrimiento está en función del tipo de suelo, el periodo de retorno y el porcentaje de impermeabilidad del terreno (Phillips, 2005).

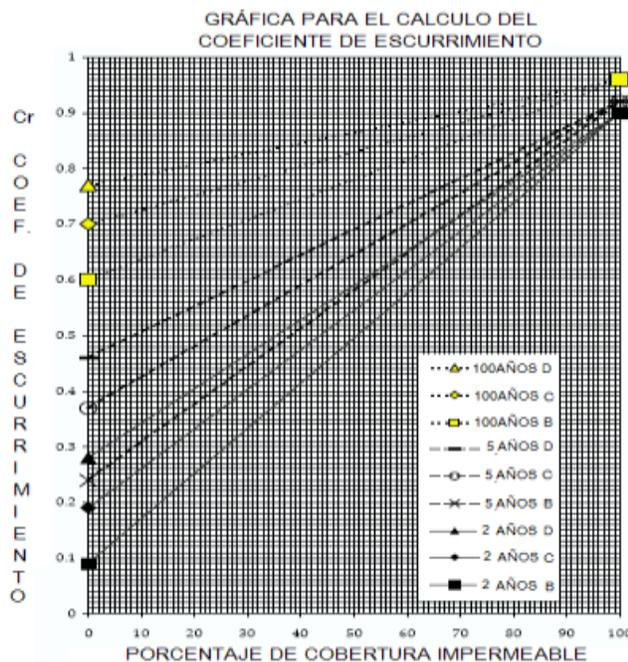


Figura 1. 4. Tabulador para el cálculo del coeficiente de escurrimiento en base al periodo de retorno y porcentaje de cobertura impermeable del terreno. Fuente: Phillips, 2005.

### 1.3.2 Componentes básicos del sistema de captación de agua de lluvia.

Una vez que se conoce la cantidad de agua a captar, es necesario elegir el sistema de conducción y almacenamiento del agua de lluvia. Es indispensable considerar el tipo de sistema de conducción que se utilizará para transportar el agua captada hacia el sistema de almacenamiento. También es necesario elegir el sistema de almacenamiento del agua captada. El sistema de almacenamiento es el que representa la mayor inversión en un sistema de captación de agua de lluvia por lo que es necesario conocer las opciones que se tienen y elegir la mejor opción que esté acorde a las características del proyecto. Una vez elegido el sistema de conducción y almacenamiento, es necesario definir la calidad del agua de lluvia debido a que es necesario instalar un sistema de tratamiento del agua para asegurar una calidad que se adapte a las necesidades y cumpla con la normativa aplicable al uso que se le dará.

### 1.3.3 Sistema de captación y conducción

Este sistema debe de estar diseñado de una manera tal que la primera agua que se capta sea separada del resto del agua. El agua captada en esta primera etapa podrá usarse en actividades que no sean consumo humano o bien puede descargarse. Esta consideración se hace con el fin de que los contaminantes no lleguen al tanque de almacenamiento del agua de lluvia de mejor calidad.

Se considera también que el sistema de conducción de agua de lluvia debe de tener su propia tubería y deberá de estar separada de la tubería de agua potable. Si el agua va a ser utilizada para servicios, los grifos deben de estar separados. (LaBranche *et al.*, 2007). La Figura 1.5 ilustra un sistema de captación de agua de lluvia y la configuración de la tubería.



Figura 1. 5. Sistema de captación de agua de lluvia y componentes básicos del sistema.

Fuente: Abdulal et al. (2006)

En cuanto al uso del agua para la recarga de acuíferos o para el riego, existen sistemas de conducción tan simples que llevan el agua de lluvia captada inmediatamente al lugar donde se utiliza generalmente áreas verdes (Véase figura 1.6), sin embargo existen sistemas más complejos donde el agua captada es dirigida y dispuesta suavemente sobre el terreno mediante tuberías o bajantes. También se construyen bordos interceptores para llevar el agua de lluvia desde el sistema de captación hasta el sistema de almacenamiento.

Existen otros sistemas más complejos como los sistemas de canales que llevan el agua de lluvia captada a través de canales construidos de un lugar a otro. También el agua es conducida por medio de tuberías perforadas mediante las cuales el agua es transportada y durante su viaje se utiliza para el riego del terreno. (Bickelman, 2006)

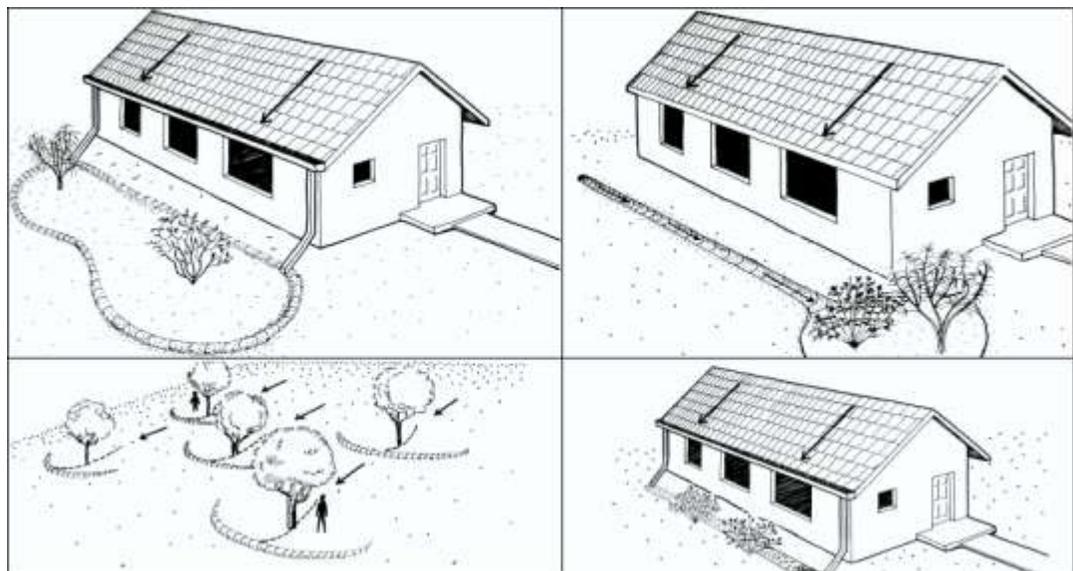


Figura 1. 6. Diferentes configuraciones de sistemas de captación de agua de lluvia para el riego de jardines. Fuente: Waterfall (2004).

#### 1.3.4 Técnicas de captación

Las técnicas más utilizadas para captar el agua de lluvia en el terreno son las siguientes:

- Microcuencas: son pequeñas montículos u orificios circulares hechos en el terreno para retener el agua de lluvia. Generalmente se utilizan para el riego de plantas y/o jardines. Estos montículos se hacen en las pendientes. Hay variaciones (ver figura 1.7) de este tipo de método de captación. Según la configuración, pueden ser:
  - Perpendiculares
  - En el contorno del terreno
  - En asociación

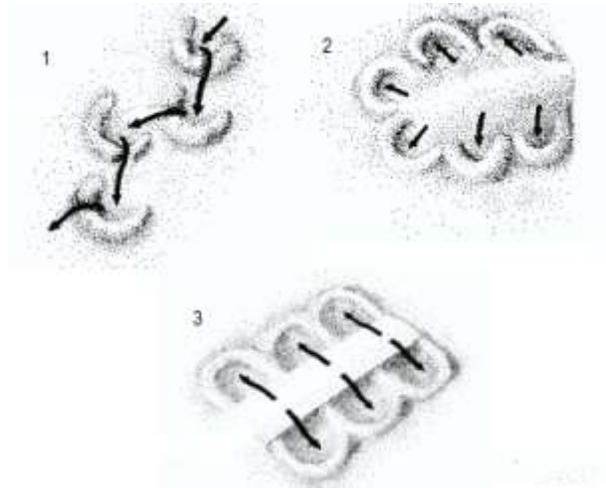


Figura 1. 7. Esquema de una microcuenca para la retención de agua de lluvia en el terreno. 1) En serie, 2) en el contorno del terreno y 3) en asociación. Phillips, 2005.

- Bordos interceptores en el terreno (ver figura 1.8), se colocan también en las pendientes del terreno solo que se puede retener más agua ya que los bordos permiten captar un volumen mayor, también se utilizan para conducir el agua hacia un lugar deseado.

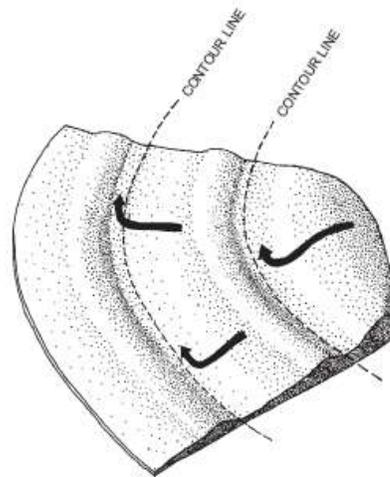


Figura 1. 8. Esquema de bordos interceptores para la retención o desvío del agua de lluvia. Fuente: Phillips, 2005.

Las variaciones (Ver figura 1.9) de este método de captación son:

- Bordos paralelos en el terreno a gran escala
- Bordos sin bermas asociadas

- Uso de de calles o aceras como bermas para bordos adjuntos
- Bordos como microcuencas

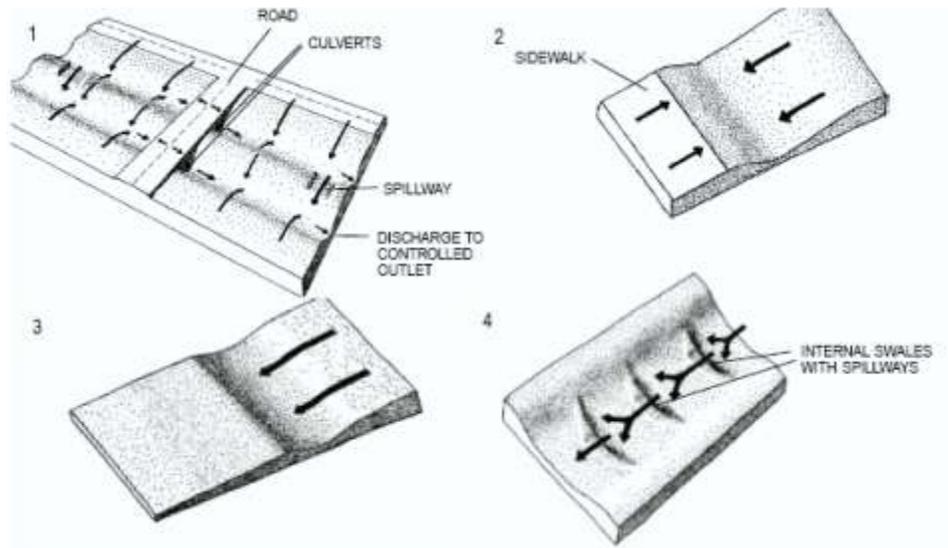


Figura 1. 9. Diferentes configuraciones de bordos interceptores sobre el terreno. 1) Bordos paralelos en el terreno a gran escala, 2) Bordos sin bermas asociadas, 3) Uso de calles o aceras como bermas para bordos adjuntos y 4) Bordos como microcuencas. Fuente: Phillips, 2005.

- Desagües franceses, son trincheras hechas en el terreno y rellenas con rocas, son utilizadas para una rápida infiltración en el terreno, la infiltración puede ocurrir por los lados o en el fondo de la trinchera. Las piedras evitan que se pierda un volumen mayor de agua por evaporación.

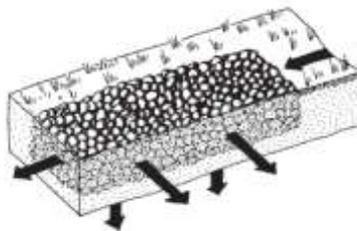


Figura 1. 10. Esquema de una trinchera francesa. Fuente: Phillips, 2005.

- Gaviones: son estructuras que son semipermeables construidas en avenidas naturales, su objetivo es disminuir la velocidad del agua para evitar la erosión en

zonas más bajas, aumentar la infiltración y captar además del agua el detritus en el terreno.

- La captación de agua de lluvia en el terreno es más eficiente si se utiliza hojarasca. La hojarasca ayuda a que la evapotranspiración sea menor y permita que la humedad del terreno aumente y se mantenga constante.

### 1.3.5 Sistemas de almacenamiento

El método de captación más utilizado es el de captación sobre los techos de las casas para almacenarse en tanques o cisternas. Estos sistemas de captación tienen tres componentes principales:

- El sistema de captación
- Conducción y
- Almacenamiento.

Los sistemas de captación de agua de lluvia en los techos de las casas pueden ser sencillos o complejos. Dependerá del uso final que se le dé al agua y de la calidad del agua de lluvia captada. Así un sistema sencillo solo constará del sistema de captación (cualquier área impermeable), conducción y almacenamiento. Este ejemplo se ilustra en la Figura 1.11. Los posibles usos para el agua de lluvia captada mediante sistemas sencillos son fuera del hogar como en riego de jardines, lavado de ventanas o aceras.

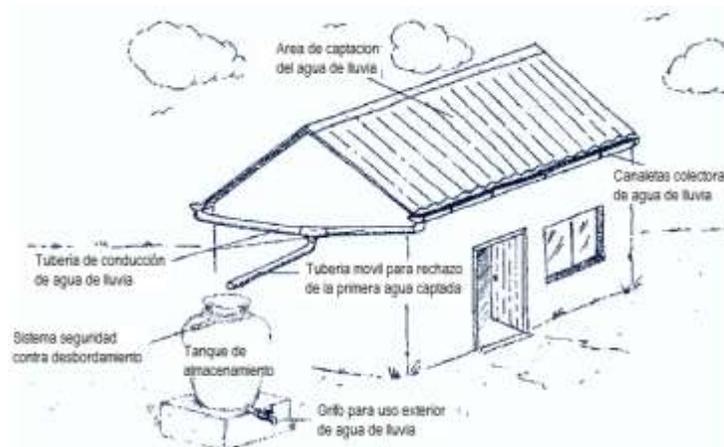


Figura 1. 11. Sistema sencillo de captación de agua de lluvia. Fuente Waterfall (2004)

Los sistemas complejos de captación de agua de lluvia constan del sistema de captación, conducción y almacenamiento, además de esto, cuentan con un sistema de tratamiento del agua de lluvia, un sistema de bombeo y un sistema de distribución del agua dentro y fuera del lugar donde se utilizará. La tubería de distribución puede estar separada o junto a la tubería de abastecimiento de

agua potable. La figura 1.12 ilustra un sistema de captación de agua de lluvia complejo donde la línea de agua potable puede o no mezclarse con el agua de lluvia

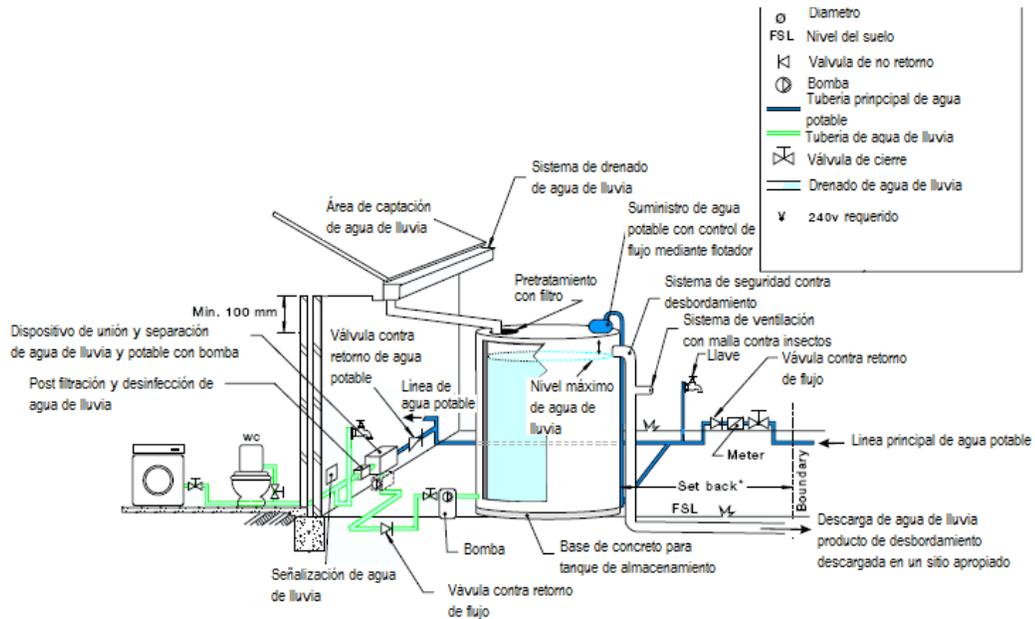


Figura 1. 12. Sistema complejo de captación de agua de lluvia. Fuente: Australian Government (2008)

Los techos son los más utilizados para la captación pues no se requiere de invertir costos, solo un poco de mantenimiento. El agua es captada es conducida a través de tuberías de fierro o PVC hasta el sistema de almacenamiento. El sistema de almacenamiento consta de un tanque o cisterna construido en metal, madera, concreto o polietileno de alta densidad. La función principal del tanque de almacenamiento es:

- Prevenir la proliferación de patógenos,
- Permitir la sedimentación de sólidos presentes en el agua de lluvia y
- Almacenar el agua captada para utilizarse cuando se requiera.

El volumen de agua de lluvia a captar dependerá de la cantidad de agua de lluvia precipitada, el área de captación, el coeficiente de escurrimiento y la capacidad del tanque de almacenamiento. Así, cuanto mayor área, mayor volumen de almacenamiento, precipitación y coeficiente de escurrimiento debido al material de captación, mayor será el agua captada. La figura 1.13 muestra que el volumen del tanque de almacenamiento está en función del área de captación.

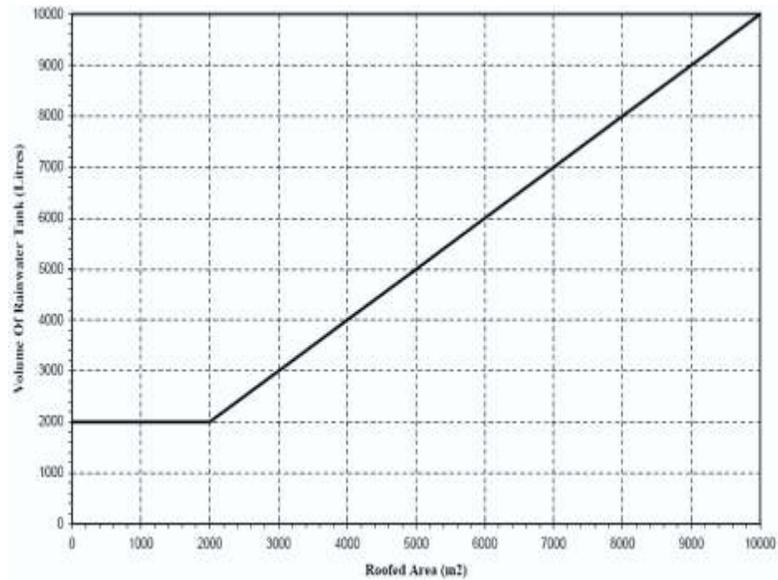


Figura 1. 13. Gráfica del volumen del tanque de almacenamiento de agua de lluvia en función del área de captación. Fuente: City of Botany Bay (2002)



Figura 1. 14. Tanque enterrado de almacenamiento de agua de lluvia con sistema de distribución. Fuente: WPL. (s/f) Rainwater harvesting systems.

El sistema de almacenamiento es generalmente el componente que requiere de mayor inversión en la captación del agua de lluvia. Es preciso seleccionar el equipo adecuado para ello. El tanque de almacenamiento se selecciona de acuerdo al material y a las condiciones climáticas del lugar.



El tanque puede estar enterrado o sobre la superficie, esto dependerá de la estética y las condiciones climatológicas y del suelo. Lo ideal es colocar el tanque enterrado en el suelo pues esto mantiene el agua templada y evita e inhibe el crecimiento de bacterias, al no permitir el paso de la luz del sol. Enterrar el tanque es algo costoso, pues además de la construcción o la adquisición del tanque, es necesario excavar para enterrarlo, esto no es viable cuando se tienen suelos rocosos. El tanque seleccionado debe durar en las condiciones climatológicas del lugar, es necesario por ejemplo evitar a toda costa colocar un tanque de madera en una región seca y acalorada.

El tanque debe de tener un sistema contra el sobreflujo. El sobreflujo será dirigido hacia otro tanque, fosa de absorción o estanque de agua. El tanque debe estar lo suficientemente cercano al edificio pero no demasiado para prevenir daños por el derrame del agua. Si el tanque está enterrado, debe de tener un sistema de cimentación que evite el colapso del tanque en cualquier circunstancia. (LaBranche *et al.*, 2007).

#### **1.4 Normas aplicables la calidad y el uso del agua de lluvia**

Actualmente no existe normativa alguna a nivel internacional o nacional que regule el uso de agua de lluvia para uso y consumo humano, riego de áreas verdes o recarga de acuíferos. A pesar de esto se han hecho documentos técnicos donde se recomiendan las especificaciones que debe de cumplir el agua de lluvia en sus diferentes usos.

Los países que publican estas recomendaciones se basan en los límites permisibles de sus normas para agua potable, riego o disposición de agua en cuerpos receptores

##### **1.4.1 Normativas sobre la calidad del agua de lluvia en otros países y México.**

Hat *et al.* publicaron en el 2004 las siguientes recomendaciones para los usos que se le da al agua de lluvia y de tormenta en Ciudades importantes de Australia. En el estudio mencionan que los valores permisibles que debe de cumplir el agua de lluvia captada o el agua de tormentas son:



Tabla 1. 5. Valores propuestos para límites permisibles para el agua de lluvia en diferentes ciudades de Australia.

Parámetro	TIPO DE AGUA DE LLUVIA		
	Agua captada en el techo	Agua captada en tanque	Agua de tormenta
Coliformes termotolerantes (UFC/100ml)	<1-124	0-10	0-6X10 <sup>5</sup>
DBO <sub>5</sub>	-	-	3-73
pH	5.35-5.99	4.9-6.1	6.7-8.5
Sólidos disueltos totales (mg/l)	78-102	4-168	44-208
Sólidos Suspendidos (mg/l)	0.75-204	0.4-178	13-1622
Turbidez (UTN)	0.75-6.5	-	12-34
Cadmio (mg/l)	0.1-4	<2	0.2-46
Cobre (mg/l)	0.002-0.32	-	0.005-0.56
Fierro (mg/l)	<0.01	<0.01-0.1	2.4-7.3
Plomo (mg/l)	0.002-0.32	<0.01	0.007-2.04
Manganeso (mg/l)	-	-	0.04-0.11
Sodio (mg/l)	4.4-12.9	3.17-16.5	12-116
Zinc (mg/l)	0.02-1.1	0.4-5.3	0.026-2.4
Fósforo total (mg/l)	0.034-0.49	-	0.049-2.14
Nitrógeno total (mg/l)	0.65-2.84	0.3-3.6	0.5-12.6
Nitratos (mg/l)	0.1-0.87	<0.05-0.05	0.1-6.2

Fuente: Hat *et al.* (2004)

El estado de Victoria, Australia, público los siguientes criterios básicos de calidad de agua de lluvia para su uso en comunidades urbanas, basados en la norma de agua potable del estado:

Tabla 1. 6. Recomendaciones de calidad que debe de cumplir el agua de lluvia en el estado de Nueva Gales del Sur, Australia.

Parámetro	Recomendación de límite permisible (mg/L)
Arsénico	0.007
Cadmio	0.002
Cobre	0.05
Cromo	2
Plomo	0.01
Mercurio	0.001
Níquel	0.02
Manganeso	0.1
pH	6.5-8.5
Sulfatos	250
Sólidos disueltos	500
Dureza total	200
Cloro residual	0.5

Fuente: Victoria Government. (2007).

El Texas Rainwater Harvesting Comitee (TRHC) en el 2006 publicó las siguientes recomendaciones para el uso de agua de lluvia:



Tabla 1. 7. Recomendaciones de calidad para el uso de agua de lluvia dentro del hogar

Usos	Recomendaciones de límites permisibles para usos en no potables	Recomendaciones de límites permisibles como agua potable
Casas habitacionales familiares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales &lt;500 UFC/100ml</li> <li>• Coliformes fecales &lt;100UFC/100ml</li> <li>• Se recomienda un muestreo anual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales 0UFC/100ml</li> <li>• Coliformes fecales 0UFC/100ml</li> <li>• Quistes de protozoarios 0</li> <li>• Virus 0</li> <li>• Turbidez &lt;1UTN</li> <li>• Se recomienda un muestreo trimestral</li> </ul>
Sistema municipal de distribución de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales &lt;500 UFC/100ml</li> <li>• Coliformes fecales &lt;100UFC/100ml</li> <li>• Se recomienda un muestreo anual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coliformes totales 0UFC/100ml</li> <li>• Coliformes fecales 0UFC/100ml</li> <li>• Quistes de protozoarios 0</li> <li>• Virus 0</li> <li>• Turbidez &lt;0.3UTN</li> <li>• Se recomienda un muestreo mensual</li> </ul>

Fuente: TRHC. (2006).

En México existe un proyecto de norma para regular las recargas artificiales de acuíferos con agua de lluvia. El proyecto de norma tiene como objetivo regular el uso de aguas pluviales o de escurrimiento superficial, para la recarga de los mantos freáticos. En este proyecto se establecen los siguientes límites permisibles:

Tabla 1. 8. Límites máximos permisibles de contaminantes en agua de lluvia o escurrimiento superficial para infiltración artificial en acuíferos.

Contaminante	Unidades	Límite máximo permisible
Grasas y aceites	mg/L	15
Materia flotante	-	Ausente
Sólidos sedimentables	ml/L	2
Sólidos suspendidos totales	mg/L	150
Nitrógeno total	mg/L	40
Fósforo total	mg/L	20
Coliformes fecales	NMP	1000

Fuente: PROY-NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.

#### 1.4.2 Normatividad que regula los usos del agua de lluvia

Actualmente no existen normativas que regulen el uso de agua de lluvia en diferentes actividades. En muchos países los niveles máximos permitidos para regular el uso del agua para uso y consumo humano son regulados mediante la norma de agua potable del país, la norma de reutilización de agua para riego o la norma de disposición de aguas residuales, por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) estableció los siguientes parámetros biológicos para el agua potable:



Tabla 1. 9. Parámetros de calidad biológica establecidos por la EPA.

Parámetro	Límite máximo permitido
<i>Giardia lamblia</i>	Cero
<i>Legionella</i>	Cero
Coliformes totales (incluye fecales y <i>E. coli</i> )	Cero
Virus	Cero

Fuente: U.S. EPA (2000)

Cualquier agua que sea utilizada para consumo humano no importa su procedencia, debe de cumplir con estos parámetros biológicos y muchos más parámetros físicos y químicos.

En Australia toman en cuenta los siguientes criterios para regular el agua no potable para ciertos usos:

Tabla 1. 10. Límites establecidos para diferentes usos del agua de lluvia.

Parámetro	Límite máximo permitido	Usos permitidos
Parásitos	< 1/50L	Riego, arrastre de excretas, agua para lavado de autos y áreas fuera del hogar, combate de incendios, uso recreacional (sin contacto directo).
Coliformes totales	<10/100ml	
Coliformes fecales	<1/100ml	
Virus	2/50L	
Turbidez	<2 NTU	
pH	6.5-8.0	
Color	15 TCU	
Cloro residual	<0.5mg/L de Cl <sub>2</sub> residual	

Fuente: Guidelines for Environmental Management: Use of Reclaimed Water (2002)

En México existe una norma que regula el uso del agua para uso en servicios públicos, la norma es la norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, los límites permitidos por esta norma, para diversos servicios al público son:

Tabla 1. 11. Límites permitidos por la normatividad mexicana para el uso de aguas residuales tratadas en servicios

Parámetro	Límite máximo permitido	Usos permitidos
Huevos de helminto	1-5	Servicios al público con contacto directo o indirecto y ocasional
Coliformes fecales	240-1000	
Grasas y aceites	15mg/L	
DBO5	20-30mg/L	
SST	20-30mg/L	

Fuente: PROY-NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua

La norma que regula el uso de agua potable en México es la norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Esta norma establece los siguientes límites máximos permisibles en los siguientes parámetros para el uso y consumo humano del agua.



Tabla 1. 12. Límites permitidos para agua potable en México.

Parámetro	Límite máximo permitido
Coliformes totales	2 NMP/100ml
Coliformes fecales	No detectable
Turbidez	<5 NTU
pH	6.5-8.5
Color	20 UCV
Cloro residual	0.2-1.5 mg/L de Cl <sub>2</sub> residual

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"

Además de estos parámetros, la norma regula también otros como metales, nitritos y nitratos, fluoruros, plaguicidas y compuestos radioactivos.

## 1.5 Tratamiento del agua de lluvia

### 1.5.1 Contaminantes en el agua de lluvia

El agua de lluvia es el agua de más alta calidad que existe en la naturaleza, sin embargo una vez que entra en contacto con el sistema de captación de agua de lluvia, el agua pierde esa cualidad. Es necesario entonces tomar medidas para prevenir la contaminación del agua de lluvia. En dado caso que no sea posible se debe de entender que el agua de lluvia debe tratarse antes ser utilizada en cualquier actividad excepto cuando se utiliza para riego. Los contaminantes que se pueden encontrar en el agua de lluvia son:

- Alcanos
- Benceno
- Dioxinas
- Éter
- Compuestos halogenados
- Compuestos orgánicos con plomo
- Policloruros de bifenilos (PCB's)
- Pesticidas
- Fenoles entre otros.

Estos compuestos en el agua de lluvia se deben principalmente a la contaminación por industrias o la agricultura intensiva, algunos de ellos provienen de las superficies de las casas o edificios donde el agua de lluvia entra en contacto con el techo donde es captada. No solamente se debe a la superficie que entra en contacto con el agua, está contaminación se debe a las emisiones atmosféricas producidas por las fabricas o automóviles. Otros factores que afectan la calidad del agua son las heces de algunos animales. (Eriksson, 2002 y 2005)

Para reducir algunos de estos contaminantes y asegurar una buena calidad en el agua captada, es necesario aplicar algunas acciones antes de la captación como la limpieza de la azotea, aunado a esto, desechar la primera agua captada en la época de lluvias, permitiendo así que el sistema se lave completamente. Una vez aplicado esto es necesario utilizar un sistema de tratamiento que remueva los sólidos suspendidos que se encuentran en el agua ya captada, por lo general se recomienda que se usen filtros de grava-arena y carbón activado. Después de la filtración un sistema de desinfección con cloro u ozono, o algún otro desinfectante que sea capaz de eliminar los organismos patógenos del agua (TWDB, 2005).

### 1.5.2 Sistemas de tratamiento convencionales del agua de lluvia

Los tratamientos del agua de lluvia son en general un poco definidos. El tratamiento previo a la captación del agua de lluvia es indispensable. El área donde se va a captar el agua de lluvia debe limpiarse antes de la primera lluvia removiéndose el polvo, cualquier material flotante (plásticos, hojas secas, restos de comida o animales muertos, etc.).

La primera lluvia captada se debe rechazar pues aun después de la limpieza del lugar de captación, el agua puede contener material fecal de animales, polvo o algún otro material depositado. El rechazo de la primera agua captada se puede realizar mediante un dispositivo instalado en la tubería de conducción del agua captada. El dispositivo consta de una tubería adicional conectada a la tubería principal que conduce el agua hacia el tanque de almacenamiento, la tubería adicional debe estar conectada mediante una T a la tubería que descarga el agua en el tanque de almacenamiento. El agua se rechaza mediante el uso de válvulas de paso. Un esquema del dispositivo para descartar la primera agua captada se muestra en la Figura 1.15.

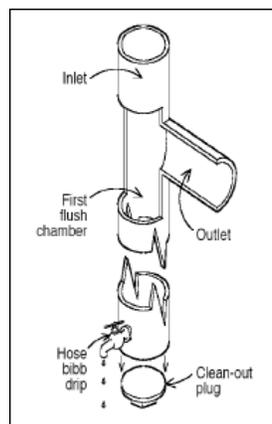


Figura 1. 15. Sistema de rechazo de la primera agua de lluvia captada. Fuente TWDB (2005)



La limpieza previa a la captación y la instalación de un dispositivo de rechazo del agua de lluvia, son acciones para prevenir que el tanque de almacenamiento se contamine con algún material no deseado.

Una vez que comienza a captarse el agua de lluvia será necesario instalar un sistema de tratamiento, pues a pesar de que el agua de lluvia es de buena calidad, el agua adsorbe contaminantes conforme precipita y en la superficie de captación también, además de polvos y materiales orgánicos e inorgánicos. (TRHC, 2006) Es necesario entonces aplicar los siguientes tratamientos para asegurar una buena calidad del agua:

- Antes que nada un sistema de filtración de material grueso (hojas, bolsas de plástico, papel, cartón, etc.). Este sistema consta de un filtro de rejillas o tamices de cierta luz de malla (Como se muestra en la Figura 1.16). El filtro permite el paso del agua y rechaza el material grueso que se encuentre en el agua. La función del filtro no es solo la de remover material suspendido además oxigenará el agua.



Figura 1. 16. Filtro de material grueso. Fuente: Roth global plastics inc. (s/f) Rainwater harvesting systems

- Después del filtro de material grueso, es necesario utilizar un filtro que elimine el material fino suspendido en el agua, para lo cual será necesario utilizar un filtro (de 0.3-5 micras, de acuerdo al uso). El filtro puede ser un filtro que contenga uno o más filtros (grava, arena y celulosa). (TCEQ, 2007)
- Un filtro de carbón activado será necesario para eliminar cualquier color, olor y sabor que pueda adquirir el agua. El filtro de carbón activado elimina además algunos compuestos volátiles.
- Después de la filtración es necesario aplicar una desinfección, la desinfección se puede hacer con cloro, rayos UV u ozono. El sistema de desinfección utilizado depende de las posibilidades. Si se utiliza cloro como desinfectante, es

recomendable mantener una concentración de cloro residual de 0.2ppm. Al final del tratamiento la unidad será como la de la Figura 1.17.



Figura 1. 17. Sistema de tratamiento con filtro de celulosa, carbón activado y filtro de rayos UV. Fuente: TWDB (2005).

- Por último el almacenamiento es la última etapa del tratamiento convencional. El almacenamiento debe ser de la siguiente manera: el tanque debe estar completamente sellado y enterrado preferentemente. Si el tanque se mantiene sellado, se evitará la contaminación de este y el paso de la luz solar que permite la proliferación de algas y algunas bacterias.
- Existen además algunos tratamientos específicos que se utilizan para remover contaminantes específicos. Los otros tratamientos utilizados son: osmosis inversa, filtración biológica, uso de humedales e incluso puede llevar tratamientos como la filtración mediante resinas. (Hat *et al.*, 2004)

El tratamiento que debe de llevar el agua de lluvia debe ser de acuerdo al uso. Para usos en riego, para sofocar incendios, lavado de autos, lavado de aceras y calles, entre otros usos fuera de una vivienda o edificio, el agua tiene que llevar al menos los siguientes tratamientos:

- Prefiltración (limpieza del área donde se captará el agua de lluvia)
- Filtración de material grueso
- Filtración con cartuchos de celulosa con diámetro de poro de 5 micras
- Desinfección con cloro o rayos UV

El tratamiento al que se debe someter el agua de lluvia que se usará dentro de una casa o edificio (para lavado de ropa o ventanas, en lavabos, abastecimiento de retretes o para consumo humano) es:

- Prefiltración



- Filtración con cartuchos con poro de 3 micras
- Desinfección con cloro (asegurando una concentración de cloro residual de 0.2 ppm en el sistema de conducción en el edificio o casa) o desinfección con rayos UV (con una dosificación de 186mJ/cm<sup>2</sup> para asegurar la inactivación de virus)
- Por último almacenamiento del agua previo a su distribución (el agua puede almacenarse antes del tratamiento)

(TRHC, 2006)

### **1.6 Tratamiento y reutilización de agua residual en campus universitarios.**

El agua abastecida de los diferentes cuerpos de agua (superficial o subterránea) es tratada para cumplir con la calidad necesaria para su uso final, generalmente, en ciudades, para uso y consumo humano en las diferentes actividades que este necesita realizar diariamente:

- Beber
- Cocinar
- Aseo personal
- Lavandería
- Lavado de vajillas

Estos usos representan una fracción del total del agua utilizada en los hogares domésticos. El resto de las actividades no requieren de agua exclusivamente potable, sin embargo, estas actividades son realizadas utilizando agua con esta calidad. Esto crea una mayor demanda del recurso e incrementa su explotación. Algunas actividades que se realizan con agua potable, pueden realizarse sin ella, utilizando agua de menor calidad como:

- Agua de lluvia
- Agua residual tratada
- Aguas grises

Este tipo de aguas pueden ser utilizadas en actividades de tipo:

- Industrial
- Urbano
- Agricultura
- Recreacional
- Recarga de acuíferos

Para cubrir estas actividades, no es necesario utilizar agua potable, sin embargo, utilizar agua de lluvia solo es rentable en la época, a menos que se trate de un lugar donde llueva bastante a lo largo del año. El uso de aguas grises no es una muy buena opción, pues si bien su calidad es mejor



que la de las aguas residuales crudas, su calidad sigue siendo baja y su uso en alguna de estas actividades puede provocar problemas sociales. El uso de agua residual tratada es una buena opción a tomar en cuenta, siempre y cuando el sistema de tratamiento utilizado permita tener un agua residual de buena calidad. El agua residual tratada está disponible siempre y cuando se utilice agua potable y el agua residual generada se trate, su disponibilidad no depende de condiciones climatológicas.

### **1.6.1 Antecedentes y normatividad sobre la reutilización de agua residual tratada**

La reutilización de agua residual tratada es una alternativa como fuente agua para actividades que no requieren agua de muy buena calidad, esta demanda se incrementará conforme las fuentes naturales de agua disminuyan su disponibilidad. El reuso de agua residual tratada está limitado a la calidad necesaria para el servicio o la actividad a la que se destinará. En países industrializados el reuso de agua residual tratada es una actividad que inicio temprano debido a la alta demanda de agua y a los problemas de escasez generados.

En Estados Unidos, el reuso de agua residual tratada comenzó a principios de los años 20 en la agricultura de los estados de Arizona y California. En Colorado y Florida se implementaron sistemas para el reuso urbano. En la misma época, en el estado de California, inicio la normatividad para el reuso. (Escalante, *et al*, S/F).

En el resto del mundo existen países que reutilizan agua residual tratada para satisfacer una fracción de las necesidades que no requieren agua con buena calidad, en la Tabla 1.13, se muestran algunos países del mundo que reutilizan un porcentaje de sus aguas residuales tratadas:



Tabla 1. 13. Volumen de agua utilizada y agua residual tratada reutilizada anualmente en diferentes países con clima seco.

País	Uso total anual de agua		Reuso total anual de agua residual tratada		
	Año	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Año	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Porcentaje de reuso
Argelia	1990	4,500	-	-	-
Arabia Saudita	1992	17,018	2000	370	3
Bahrein	1991	239	1991	15	6
Chipre	1993	211	1997	23	11
Egipto	1993	55,100	2000	700	1
Irak	1990	81,000	-	-	-
Irán	2001	42,800	1999	154	0.20
Israel	1995	2,000	1995	200	10
Jordania	1993	984	1997	58	6
Kuwait	1994	538	1997	80	15
Kirguistán	1990	11,036	1994	0.14	0.000013
Líbano	1994	1,293	1997	2	0.2
Libia	1994	4,600	1999	40	1
Marruecos	1991	11,043	1994	38	0.3
Omán	1991	1,223	1995	26	2
Qatar	1994	285	1994	25	9
Siria	1993	14,410	2000	217	1
Tayikistán	1989	12,600	-	-	-
Túnez	1990	3,075	1998	28	1
Turquía	1992	31,600	2000	50	0.0016
Turkmenistán	1989	22,800	-	-	-
Emiratos Árabes Unidos	1995	2,108	1999	185	9
Yemen	1990	2,932	2000	6	0.002

Fuente: EPA, 2004

En México se generaron en el 2007, 243 m<sup>3</sup>/s de agua residual, de esta, se recolecto un 85.2% (204 m<sup>3</sup>/s) y de este caudal recolectado, se trato un 38.9% (79.3 m<sup>3</sup>/s) que representa el 32.6% del total de aguas residuales domésticas generadas en México. (CONAGUA, 2009).

También en México se generó agua residual de uso no doméstico incluyendo la industria, un total de 188.7m<sup>3</sup>/s, de este caudal generado se trato un 15.84% (29.9m<sup>3</sup>/s). (CONAGUA, 2009)

De acuerdo a Escalante *et al.* en el 2001 la CONAGUA reporto que existían en operación 938 plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales tenían una capacidad instalada de 73.85 m<sup>3</sup>/s y el gasto de agua residual tratada de ese año era de 50.81m<sup>3</sup>/s. Escalante reporta que en ese año se reutilizaron un total de 10.867 m<sup>3</sup>/s de agua residual tratada, que representa un 21.4%, el resto del agua era descargada a cuerpos receptores.

Con los datos obtenidos de la CONAGUA, Escalante *et al.* construyeron la tabla 1.14 donde se muestran el gasto de agua residual tratada utilizada por estado, las actividades a las que se destina y el porcentaje que es reutilizada.



Tabla 1. 14. Datos de gasto (L/s) de agua residual tratada reutilizada por estado, actividades a las que se destina y porcentaje por estado

Estado	Riego agrícola	Uso ind.	Áreas verdes	Agrícola-áreas verdes	Áreas verdes /ind.	Energía eléctrica	Río/ riego de forrajes	Total agua reusada	% Estado
Aguascalientes	3.8	-	-	-	-	-	-	3.8	0.03
Baja California Norte	31.2	5	-	-	-	-	-	36.2	0.33
Baja California Sur	410.5	245	-	-	-	-	-	655.5	6.03
Chihuahua	60	-	50	-	-	-	-	110	1.01
Coahuila	42	500	50	-	-	-	-	592	5.45
Distrito Federal	250	-	356	2100	488	-	-	3194	29.39
Durango	15.6	-	25	-	-	-	-	40.6	0.37
Guanajuato	-	-	-	-	-	45	-	45	0.41
Hidalgo	19	-	-	-	-	-	-	19	0.17
Jalisco	1	-	27	-	-	-	-	28	0.26
Edo. De México	1330	870	-	-	-	-	-	2200	20.24
Michoacán	310	-	-	-	-	-	-	310	2.85
Nayarit	26	-	-	-	-	-	-	26	0.24
Nuevo León	219.6	1440	149.5	-	-	-	-	1809.1	16.65
Oaxaca	-	-	140	-	-	-	-	140	1.29
Puebla	209.9	-	-	-	-	-	-	209.9	1.93
Querétaro	528	-	-	-	-	-	-	528	4.86
Quintana Roo	-	-	320	-	-	-	-	320	2.94
San Luis Potosí	-	-	170	-	-	-	-	170	1.56
Sinaloa	40	-	60	-	-	-	-	100	0.92
Sonora	46	-	17	-	-	-	233.9	296.9	2.73
Tamaulipas	11	-	-	-	-	-	-	11	0.10
Veracruz	9	-	-	-	-	-	-	9	0.08
Zacatecas	-	-	13.6	-	-	-	-	13.6	0.13
Suma	3562.6	2810	1628.1	2100	288	45	233.9	10867.6	100
% actividad	32.78	25.86	14.98	19.32	4.49	0.41	2.15	-	-

Fuente: Escalante *et al.*, s/f

En muchas ciudades del mundo se ha optado por la reutilización de agua residual tratada como parte de programas de protección de los recursos hídricos, sobre todo en ciudades donde la disponibilidad de agua es escasa. En algunas de estas ciudades, algunas universidades han optado por llevar a cabo esta práctica que les da bastantes beneficios como:

- Ahorro de agua
- Utilizar las instalaciones para fines didácticos y de investigación
- Posible reuso del agua tratada para áreas verdes, campos deportivos o en usos ornamentales
- Reutilización del agua tratada para otras actividades dentro de los campus universitarios (lavado de pisos, ventanas o si cumple con la calidad necesaria, reuso en baños como agua de descarga)



- Cumplimiento con la normatividad aplicable
- Ahorro económico debido a la reutilización y cumplimiento de las normas

En Estados Unidos Gallagher y Sharvelle (2010) proponen en su estudio en la Universidad Estatal de Colorado (CSU, por sus siglas en inglés) un sistema de tratamiento combinado, basado en un sistema de humedales construidos para el tratamiento de sus aguas grises. Proponen además que para el tratamiento de las aguas negras crudas, la mejor opción es un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

La Universidad Americana del Líbano, construyó una planta piloto para ver la tratabilidad del agua en su campus, al momento del estudio, las aguas eran vertidas en 2 tanques sépticos, el gasto generado por la universidad varía entre los 100 y los 120 m<sup>3</sup>/día. La planta piloto fue diseñada para tratar la mitad de este gasto. La planta se diseñó con las siguientes concentraciones en el afluente:

Tabla 1. 15. Características del agua cruda y tratada, comparada con los límites establecidos por la normatividad.

Parámetro	Unidades	Concentración afluente	Concentración efluente	Límite máximo permitido
DBO <sub>5</sub>	mg/L	270	10	25
DQO	mg/L	600	125	125
SST	mg/L	400	10	60
pH	Unidades	6-9	6-9	6-9

Fuente: Chatila, s/f

Se pretende utilizar el efluente tratado para riego de áreas verdes, para ello, la calidad debía de cumplir con la normativa del Ministerio Ambiental del Líbano. (Chatila, s/f).

Milind (1999), presenta en su tesis de maestría, el potencial que tiene el efluente secundario de un agua residual tratada, para reutilizarse. Propone que el agua tratada tiene que tener un tratamiento terciario basado en coagulación, floculación y sedimentación, seguido por una filtración por algún medio poroso. Este tratamiento terciario puede darle al agua una calidad para usos no potables (arrastre de excretas, lavado de pisos, lavado de autos, riego de áreas verdes, lavado de ventanas, entre otros) o en el mejor de los casos como lo menciona el autor: “Casi potable”. La normatividad que tomó en cuenta para definir los usos finales del agua fueron los establecidos por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés)

El Instituto Nacional de Investigaciones en Ingeniería Ambiental de la India (NEERI, por sus siglas en inglés), emitió un manual para el tratamiento y reuso de agua residuales grises en las escuelas primarias del país, como una fuente de abastecimiento de agua para usos no potables.



Para el tratamiento de aguas grises la opción propuesta por el NEERI, es tratamiento primario mediante cribado y tanque de homogenización, uso de filtros de grava y arena, del tipo vertical u horizontal seguida de una desinfección.

El agua gris tratada por este método propuesto, puede ser utilizada para el uso en retretes para el arrastre de excretas, lavado de pisos, para la construcción o para el riego de jardines.

Algunas experiencias en América Latina sobre el tratamiento y reuso de aguas residuales son:

Moscoso y Alfaro (2008) presentan un panorama de la situación actual del tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima, Perú. En el estudio se muestra que en la ciudad de Perú existen varias universidades y colegios que tratan y reutilizan sus aguas residuales en diferentes actividades, como se muestra a continuación:

Tabla 1. 16. Algunas experiencias de sistemas de tratamiento en algunas universidades de Perú.

Nombre	Responsable del tratamiento	Responsable del reuso	Área de reuso (Ha)	Reuso	Caudal de reuso (L/s)	Caudal tratado (L/s)	Tecnología
Universidad Nacional de Ingeniería	Universidad	Universidad y municipio	13	Áreas verdes y acuicultura	7.5	7.5	RAFA, Laguna de Estabilización
Universidad Católica	No hay	Universidad	4	Áreas verdes	6	-	No hay
Colegio Inmaculada	Colegio Inmaculada	Colegio Inmaculada	13	Áreas verdes	15	15	Laguna de Estabilización
Colegio 1265	Colegio 1265	Colegio 1265	0.002	Áreas verdes	0.2	0.2	Humedal artificial

Heglund *et al.* (2006) de la Universidad Tecnológica de Michigan proponen para una escuela llamada Escuela el Litoral en Santa Cruz, Bolivia, un sistema de tratamiento con tanques sépticos y galería filtrante, cabe mencionar que en este caso no se contempla el reuso del agua residual tratada en algunas de las áreas.

También de la Universidad Tecnológica de Michigan, Habarth *et al.* (2006), consideran que para otra escuela, en Santa Cruz, Bolivia, una buena opción para el tratamiento de aguas grises es mediante una fosa séptica con un sistema de infiltración en el suelo. El agua tratada por medio de este sistema será vertida en el suelo por lo que en este caso tampoco se planea reutilizar el agua tratada.

Otro proyecto propuesto por estudiantes de la Universidad Tecnológica de Michigan, fue hecho por Miller *et al.* (2006), consistió en una propuesta para la escuela Oscar A. Romero, en Santa Cruz, Bolivia. La propuesta consiste en un tanque séptico con un sistema de infiltración en el terreno

Todos estos sistemas propuestos por estudiantes de la Universidad Tecnológica de Michigan, son sistemas económicos en los cuales no se contempla el reuso, principalmente, porque las escuelas



donde se hicieron las propuestas, ya contaban con un sistema de tratamiento que llegó a su capacidad máxima, los estudiantes propusieron alternativas para reutilizar las estructuras y dar saneamiento en las escuelas, enfocándose principalmente a la prevención de enfermedades por contacto con el agua residual tratada de manera deficiente.

En Guatemala, en la Universidad Rafael Landívar, existe una planta de tratamiento con tratamiento: primario, secundario y terciario. El tratamiento primario consiste en cribado, desarenado, desnatado y sedimentación primaria; el tratamiento secundario consiste en filtros percoladores con piedra volcánica como medio filtrante y sedimentación secundaria, el tratamiento terciario es para la remoción de nitrógeno y desinfección. Al momento del estudio no se utilizaba el agua residual tratada, el estudio se realizó con el fin de ver la viabilidad de reusar las aguas tratadas para el riego de las áreas verdes. (Arévalo *et al.* 2009).

En México la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se generan 112 L/s de aguas residuales, de este gasto, solo el 36% recibe tratamiento. En la UNAM se proyectó el plan básico de saneamiento universitario que tiene como finalidad la de dar tratamiento a la totalidad de las aguas residuales que se generan, disminuir los riesgos de contaminación del acuífero del valle de México y reusar las aguas tratadas para el riego de áreas verdes. (Mancebo *et al.* s/f)

La Universidad Iberoamericana, ubicada en la ciudad de México cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales. La planta tiene una capacidad instalada de 3.5 L/s y el agua tratada es reutilizada para el riego de áreas verdes. (Universidad Iberoamericana, 2008)

Alden, F. (2004) propuso un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Universidad de las Américas de Puebla (UDLA), el gasto generado por la universidad al momento del estudio era de 22.24 L/s. Según las conclusiones, la planta que mejor se adapta a la UDLA es un sistema de lodos activados de mezcla completa. Se contempla el reuso del agua tratada para el riego de áreas verdes, pero solo porque ahorrará costos, debido a que la UDLA descarga su agua residual a un río que se encuentra junto a la universidad el reuso de agua tratada no es prioridad si no el saneamiento.

Otro ejemplo claro del tratamiento y reuso de agua residual tratada es el de un centro comercial de usos múltiples, si bien el gasto y la carga orgánica varían en comparación con el de una universidad, el tiempo de descarga es similar pues los centros comerciales, generalmente tienen horarios diurnos al igual que las universidades.

El centro comercial “Centro de Entretenimiento y Compras Mundo E”, está ubicado en Tlanepantla de Baz, Edo. de México. La planta de tratamiento consiste en un sistema de película fija (filtros rotatorios) con tratamiento terciario que consiste en filtración con antracita y carbón activado y desinfección por oxidación química y rayos UV. Se pretende reutilizar el agua tratada en usos no potables como descarga en retretes y mingitorios y riego de áreas verdes. (Mesta, et al., 2000)



### **Normativa aplicable al reuso de agua residual tratada para diferentes actividades**

La normativa aplicable para el reuso de agua residual tratada, depende de cada país, pero, en algunos casos, quienes se encargan del diseño de una planta de tratamiento y los que deciden cual será el uso final, son los que al final de cuentas decidirán si la normativa del país es suficiente o no.

Algunos autores toman de base los estándares de la USEPA pues sus estándares son más exigentes, sin embargo, otros autores deciden no tomar en cuenta estos estándares por razones económicas.

La USEPA (2004) publicó la “Guía para el reuso del agua tratada”, en esta guía se comparan las normativas aplicables a la reutilización de agua tratada en algunos países.



Tabla 1. 17. Comparación de algunos de los parámetros más utilizados para regular el reuso de agua tratada en algunos países.

País	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes totales (UFC/100ml)	Huevos de helminto (H. H./L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Turbidez (UTN)	SST (mg/L)	O. D. (% sat.)	pH (U. log.)	Cloro residual (mg/L)
Australia	<1	<2/50	--	<20	<2	--	--	--	--
Arizona	<1	--	--	--	1	--	--	4.5-9.0	--
California	--	2.2	--	--	2	--	--	--	--
Chipre	50	--	--	10	--	10	--	--	--
Francia	<1000	--	<1	--	--	--	--	--	--
Florida	25 para el 75% de las muestras	--	--	20	--	5	--	--	1
Alemania	100 (g)	500 (g)	--	20 (g)	1-2 (m)	30	80-120	6-9	--
Japón	10	10	--	10	5	--	--	6-9	--
Israel	--	2.2 (50%) 12 (80%)	--	15	--	15	0.5	--	0.5
Italia	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Kuwait verduras que se consumen cocidas	--	10,000	--	10	--	10	--	--	1
Kuwait Verduras que se consumen crudas	--	100	--	10	--	10	--	--	1
Omán 11 <sup>a</sup>	<200	--	--	15	--	15	--	6-9	--
Omán 11B	<1000	--	--	20	--	30	--	6-9	--
Sudáfrica	0 (g)	--	--	--	--	--	--	--	--
España	--	2.2	--	10	2	3	--	6.5-8.4	1
Texas	75 (m)	--	--	5	3	--	--	--	--
Túnez	--	--	<1	30	--	30	7	6.5-8.5	--



Tabla 1.17. (Continuación).

<b>País</b>	<b>Coliformes fecales (UFC/100ml)</b>	<b>Coliformes totales (UFC/100ml)</b>	<b>Huevos de helminto (H. H./L)</b>	<b>de DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	<b>Turbidez (UTN)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>O. D. (% sat.)</b>	<b>pH (U. log.)</b>	<b>Cloro residual (mg/L)</b>
Reino Unido, Especificaciones para agua de baño	100(g) 2000(m)	500 (g) 10000 (m)	--	--	2 (g) 1 (m)	--	80-120 80-120	6-9 6-9	--
México Contacto directo	240 (NMP/100ml)	--	≤1	20	--	20	--	--	--
México Contacto indirecto u ocasional	1000 (NMP/100ml)	--	≤5	30	--	30	--	--	--
USEPA	14 para cualquier muestra o 0 para el 90% de las muestras	--	--	10	2	--	--	6-9	1

NOTA: g: significa que solo es una guía, m: el valor es el máximo permitido. En el caso de México se considera también a las grasas y aceites, el límite permitido para este parámetro es de 15 mg/L para ambos casos. Fuente USEPA (2004), y NOM-003-SEMARNAT-1997.



En estados Unidos, cada estado tiene su propia normativa y sus propios lineamientos, algunos son más rigurosos que los establecidos por la USEPA, otros son menos exigentes. Algunos ejemplos de estas normativas son los que se muestran a continuación:

Tabla 1. 18. Límites establecidos en algunos estados de Estados Unidos, para el reuso de agua tratada en diferentes actividades.

Estado	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100ml)	Turbidez (UTN)	Observaciones
Arizona Agua clase A	--	--	No detectable en 4 de 7 muestras diarias o 23 para una muestra simple	2 promedio diario, ninguna muestra debe exceder el valor de 5	Agua que se utilizará en: Riego de jardines en casas, escuelas, descarga de retretes o mingitorios, lavado de equipos y vehículos
Agua clase B	--	--	200 en 4 de 7 muestras diarias o 800 para una muestra simple	--	Agua que se utilizará en riego de parques, agua para la construcción y limpieza de calles
California	--	--	2.2 promedio semanal, no debe de pasar de 23 más de una vez en un muestreo de 30 días	2 promedio diario, el valor no debe de exceder de 5 mas del 5% del tiempo en un día	Incluye uso en riego de parques, jardines escolares, residenciales, uso como decorativo en fuentes, uso para descarga de retretes y mingitorios, usos para la construcción y lavado de autos
Florida	20 promedio anual	5 en muestra simple	No detectable para el 75% de las muestras en un período de 30 días, 25 en muestra simple	--	Para reuso de agua tratada en riego de parques, jardines escolares, residenciales. También para su uso en la construcción o uso contra incendios, lavado de calles y control de polvos



Tabla 1.18. (Continuación)

Estado	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100ml)	Turbidez (UTN)	Observaciones
Nevada	30	--	2.2 media geométrica mensual, 23 como valor máximo diario		Para reuso de agua tratada en riego de parques, jardines escolares, residenciales
Nuevo México	--	--	100		Para reuso de agua tratada en riego de parques, jardines escolares, residenciales
Texas	5	--	3 media geométrica, ninguna muestra debe de exceder de un valor de 75	3	Para reuso de agua tratada en riego de parques, jardines escolares, residenciales, campos deportivos, prevención de incendios y agua de descarga en retretes y mingitorios.

Fuente: EPA (2004)

Las normativas aplicadas en Estados Unidos, en general son más estrictas que la normativa aplicable en México, por lo tanto, es recomendable optar por una de estas al momento de establecer la calidad de agua tratada que se desea, sin embargo, al comparar el caso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales aplicados en campus universitarios, la normativa que utilizaron para determinar la calidad de agua tratada de su sistema, fue la norma NOM-003-SEMARNAT-1997.

Para determinar la calidad del agua residual tratada, será necesario como mínimo tomar en cuenta algunos criterios de la NOM-003-SEMARNAT-1997, pero, la norma es muy permisiva en algunos parámetros, por lo tanto, será necesario combinar algunos criterios establecidos por las normas de algunos estados de los Estados Unidos:

Tabla 1. 19. Comparación de los límites establecidos por la normativa mexicana para el reuso de agua tratada, propuesta de parámetros para aplicarse en la UASLP.

Parámetro	*Límite permitido por la NOM-003-SEMARNAT-1997 uso con contacto directo	máximo	*Límite permitido por la NOM-003-SEMARNAT-1997 uso con contacto indirecto	máximo	Valor recomendado
DBO (mg/L)	20		30		20
SST (mg/L)	20		30		20
G y A (mg/L)	15		15		15
Coliformes fecales (NMP/100ml)	240		1,000		14 (USEPA)
Turbidez (UTN)	--		--		--
Huevos de Helminto (H. H./L)	≤1		≤5		≤1

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997



Todos los valores propuestos son los que establece la NOM-003-SEMARNAT-1997 para agua para uso con contacto directo, la norma es muy permisible en cuanto a coliformes se refiere, por lo tanto se recomienda tomar como referencia el valor propuesto por la EPA de los Estados Unidos. Proponer valores más bajos ocasionaría aumento de costos en la construcción, operación y mantenimiento de la planta, por lo tanto estos valores son, desde un punto de vista práctico, suficientes.

### **1.6.2 Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Existen diferentes tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, el uso de estas tecnologías depende de varios factores importantes como son:

- El tipo de agua a tratar
- La concentración de los contaminantes presentes en el agua a tratar
- El volumen del agua a tratar que va directamente relacionado con la población a la que dará servicio el sistema de tratamiento.
- Las características topográficas y climatológicas del lugar
- El costo disponible para la construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento
- Características deseadas en el agua regenerada
- Eficiencia del sistema de tratamiento a utilizar

Algunas de las tecnologías más utilizadas son:

- Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
- Sistema convencional de Lodos Activados
- Reactor Biológico Secuencial
- Filtro percolador

### **Ventajas y desventajas de un RAFA**

#### **Ventajas**

- Requiere menos energía
- Baja producción de biomasa
- Se necesita poca adición de nutrientes
- Aguas con alta carga de DBO produce grandes cantidades de metano que se pueden reutilizar
- Se requiere de un reactor relativamente pequeño



### **Desventajas**

- Se requiere de un tiempo prolongado para arrancar el reactor
- Puede requerir la adición de iones específicos (ej. Alcalinidad), lo que incrementa los costos de operación
- A pesar de lograr eficiencias elevadas en aguas con alta carga orgánica (>98%) el agua tratada no cumple con los límites permisibles por la normatividad aplicable.
- En aguas con baja carga orgánica (aguas residuales domésticas), su eficiencia es baja (aproximadamente del 50%)
- Muy sensible a la temperatura
- Es muy sensible a la adición de compuestos tóxicos
- Produce gases corrosivos y olores ofensivos

### **Ventajas y desventajas de un sistema convencional de Lodos activados**

#### **Ventajas**

- Es fácilmente adaptable a cualquier flujo
- Capaz de soportar cargas tóxicas, utilizando un tanque de igualación
- Requiere una demanda uniforme de oxígeno
- Su diseño es relativamente sencillo
- Produce efluentes de alta calidad
- Es un sistema relativamente compacto (requiere menos área) que otros sistemas

#### **Desventajas**

- Es susceptible a abultamiento
- Alto consumo energético lo que provoca un incremento en los costos de operación
- Alta producción de biomasa
- Altos costos de construcción
- Requiere de personal calificado para su operación

### **Ventajas y desventajas de un RBS**

#### **Ventajas**

- El proceso de contacto y sedimentación ocurren en una sola unidad, lo que ahorra costos de construcción
- Es relativamente compacto en comparación con otros sistemas de tratamiento



- Consume menos energía que un proceso convencional de lodos activados, lo que abarata los costos de operación
- Se puede lograr una buena remoción de nitrógeno
- El proceso fácilmente se puede escalar según el gasto y las características del agua residual

### **Desventajas**

- El control de este proceso es más complicado que el proceso convencional de lodos activados
- Cambios repentinos en el flujo de entrada pueden provocar problemas en el sistema, a menos que se tenga previsto
- Su mantenimiento es costoso pues requiere de equipos específicos
- Debido a que requiere de aireación este sistema es costoso en comparación a otros sistemas de tratamiento
- Su construcción es costosa en comparación a otros sistemas

### **Ventajas y desventajas de un Filtro percolador**

#### **Ventajas**

- Requieren de menos energía
- Su operación es más sencilla, no necesitan de un sistema para recirculación del licor mezclado ni uno para la purga de lodos
- No hay problemas de abultamiento en el decantador secundario
- Se genera un lodo con capacidad de espesamiento mejor
- Se necesita menos equipo para su mantenimiento, por lo tanto los costos se abaratan
- Soporta mejor la presencia repentina de compuestos tóxicos en las aguas residuales

#### **Desventajas**

- La calidad del efluente es baja en cuanto a la concentración de DBO y SST
- El proceso es menos eficiente a bajas temperaturas
- Produce olores ofensivos
- Es susceptible a que la biomasa se desprenda repentinamente del sustrato ocasionando alta concentración de sólidos en el efluente



## Capítulo 2 Metodología empleada para la evaluación de alternativas para el ahorro de agua en la ZUP

### 2.1 Muebles sanitarios

#### 2.1.1 Muebles utilizados en la ZUP

Es necesario identificar los muebles sanitarios que actualmente se encuentran dentro de la ZUP y sus características principales como son: volumen del tanque y volumen por descarga.

Se analizó la tesis de Alejandro Rueda (2004), quien realizó un estudio sobre todos los muebles sanitarios que existen dentro de la ZUP. Sin embargo no estimo el gasto generado por cada mueble, para ello fue necesario corroborar los muebles reportados por Rueda y complementar la información que reportó. Se identificaron nuevos edificios dentro de la ZUP que no existían al momento del análisis hecho por Rueda en el 2004.

#### 2.1.2 Consumo actual de los muebles sanitarios

Se analizó bibliografía para estimar el consumo de agua en retretes, las metodologías propuestas de acuerdo a las referencias consultadas son:

- Método del volumen de agua desplazado por descarga: se determina calculando el volumen desplazado de agua, primero es necesario conocer el volumen almacenado de agua en el tanque de almacenamiento, para ello es necesario determinar el área del depósito en el plano horizontal y el tirante de agua a tanque lleno. Realizar una descarga y determinar la diferencia de la profundidad al espejo de agua. La diferencia de altura, multiplicado por el área del tanque nos dará como resultado el volumen desplazado. (Bourguet *et al.* 2003)
- Uso de especificaciones técnicas: este método propuesto, utiliza las especificaciones de las fichas técnicas de los muebles sanitarios. Todos los inodoros poseen datos básicos de:
  - Modelo
  - Fecha de fabricación
  - Volumen consumido por descarga

El uso de esta información facilita la estimación del consumo de agua generado por los muebles sanitarios.

- Uso de medidores de caudal: este método es diferente a los dos anteriores se utilizan medidores del tipo análogo o digital. Estos dispositivos se pueden instalar en la tubería de abastecimiento de agua, antes de la entrada al baño, estos dispositivos



tienen la cualidad de medir el consumo de todos los muebles o dispositivos dentro del baño. Para determinar el volumen consumido por el inodoro será necesario tomar la lectura del medidor, antes y después de realizar una descarga, el volumen consumido se determina mediante la diferencia entre la lectura inicial y la lectura después de la descarga.

(Hernández y Montero, 2009)

Para determinar el volumen que consumen los sanitarios de la ZUP se utilizó el método de volumen desplazado. El consumo actual de los retretes de la ZUP, fue estimado al determinar las dimensiones internas de sus tanques, realizando una descarga y determinando el volumen descargado. Se analizó en cada edificio el número de retretes, tipo de tanque y volumen de descarga.

### **2.1.3 Población de la ZUP**

Para conocer la población actual de la ZUP fue necesario solicitar la información a la oficina de Transparencia y acceso a la información. Se solicitó que se proporcionara la población de estudiantes y personal administrativo que estudia o labora dentro de la ZUP desglosado de la siguiente manera: población de estudiantes, por carrera y por facultad, población de personal administrativo y docente, por carrera y por facultad. La solicitud de esta información fue hecha mediante el expediente 138/35SA/10 el 27 de abril del 2010.

## **2.2 Jardinería**

### **2.2.1 Jardinería actual de la ZUP**

Para conocer la jardinería de la ZUP fue necesario conocer la jardinería que existe actualmente dentro de la ciudad de San Luis Potosí. Para ello fue necesario analizar la tesis “El jardín sin Agua” (Rodríguez, 2003). Esta tesis contiene información sobre las diferentes áreas verdes que existen en la ciudad, la superficie que ocupan, su ubicación dentro de la ciudad y las plantas más utilizadas.

Una vez analizada la jardinería en la ciudad, fue necesario analizar la jardinería en la ZUP, para ello se consiguió información sobre la superficie que ocupan actualmente las áreas verdes dentro de la ZUP. Fue necesario realizar una entrevista al jefe de jardineros y una visita a campo para corroborar la información dada por el encargado e identificar las áreas verdes para poder determinar la superficie que ocupan actualmente.

### 2.2.2 Área ocupada por la jardinería en la ZUP

Para estimar el área ocupada por las áreas verdes de la ZUP fue necesario conseguir obtener un plano versión impresa o digital. Para estimar la superficie ocupada por los jardines de la ZUP utilizando los datos de la escala del plano, en caso que sea impreso o bien un programa especializado para determinar las áreas, en el caso de obtener el plano en forma digital. Se obtuvo plano digital de la ZUP, se identificaron las áreas verdes, edificios calles y banquetas a partir de dicho plano que se presenta en la siguiente figura:



Figura 2. 1. Plano de ubicación de edificios, calles y áreas verdes dentro de la ZUP.



### 2.2.3 Consumo de agua de la jardinería de la ZUP

Para estimar el consumo de agua actual de la ZUP fue necesario estimar el consumo por metro cuadrado, el valor actual es de 5 L/m<sup>2</sup>.día (Rueda, 2004). A partir de este dato se calculó el gasto consumido por la vegetación de la ZUP y se estimó el gasto generado por la vegetación propuesta.

### 2.2.4 Propuesta de soluciones de xerojardinería para la ZUP

Para hacer una propuesta para el cambio de la jardinería actual a xerojardinería, es necesario conocer:

- Las condiciones climatológicas en la ciudad de San Luis Potosí
- La jardinería que existe actualmente dentro de la ZUP
- El área ocupada y las especies más utilizadas de la jardinería actual de la ZUP
- El consumo de agua para el riego de esta área
- La vegetación natural de la ciudad de San Luis Potosí y sus alrededores
- Consumo y características principales de la vegetación natural de la ciudad y sus alrededores
- Vegetación natural de ciudades del país que posean condiciones similares a la ciudad de San Luis Potosí
- Consumo y características principales de la vegetación natural de estas ciudades ciudad y sus alrededores

Las condiciones climatológicas, vegetación natural de la ciudad de San Luis Potosí, la vegetación de otras ciudades y sus características principales, fueron encontradas en bibliografía consultada.

Para realizar la propuesta de cambio fue necesario identificar zonas pequeñas o zonas poco frecuentadas por la población de la ZUP. Seleccionar además especies de plantas con características similares, como necesidades de agua y tasa de crecimiento.

Una vez seleccionadas estas plantas, se hizo una propuesta pensando en que el cambio de la jardinería será gradual, las plantas seleccionadas para esta etapa tienen una tasa de crecimiento que va de moderado a lento y necesidades de agua bajas. Para la segunda y tercera etapa, se propone el uso de vegetación de crecimiento de moderado a rápido y consumo de agua bajo y medio.

Este cambio de jardinería se propone para las áreas de la ZUP que hoy se encuentran cubiertas de pasto. La mayor parte de agua de riego se utiliza en el riego del pasto. Se propone además que los árboles adultos o de gran tamaño no sean reemplazados. De esta manera se evitará



el costo y los problemas que genera la tala de árboles adultos, además, estos árboles proveen de sombra y su consumo es bajo, comparado con el del pasto.

Se propone además que la vegetación que se utilice para reemplazar a la actual debe de ser variada y crear un aspecto visual similar al que en este momento se crea por las áreas verdes de la ZUP, para ello se propone el uso de cubresuelos, arbustos, arboles y cactáceas.

## **2.3 Captación de agua de lluvia**

### **2.3.1 Propiedades climatológicas de la ciudad de San Luis Potosí**

Para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia fue necesario conocer el clima de la ciudad, para ello se gestionaron datos climatológicos diarios y por año de la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Además fue necesario obtener los datos diarios a lo largo del año del observatorio meteorológico ubicado dentro de la ZUP.

La ciudad de San Luis Potosí se encuentra en la región central con clima semi-cálido con lluvias en verano (BWkw). Según los datos aportados por el observatorio meteorológico se tiene una temperatura media anual de 18.2 °C, con una temperatura media máxima de 25.7°C y una temperatura máxima a la sombra de 35°C. La temperatura media mínima es de 10.2°C, la temperatura mínima absoluta es de 5.0°C.

(Rueda, 2004)

### **2.3.2 Sitio de estudio**

El sitio de estudio es la ZUP de la UASLP, se encuentra ubicada en la ciudad de San Luis Potosí, San Luis Potosí. Se localiza en la parte suroeste de la ciudad y se encuentra delimitada por las coordenadas 22° 08' y 22°09' de latitud norte y 101° 00' y 101° 01' de longitud oeste. La ZUP se encuentra entre una altitud de 1902 y 1884 m.s.n.m. Tiene un área aproximada de 13.00 Has. Dentro de esta área se encuentran aulas bibliotecas, talleres, estacionamientos, canchas deportivas, cafeterías, laboratorios, plantas piloto, centros de investigación, institutos, sanitarios, auditorios, áreas de finanzas, casetas de vigilancia, andadores, accesos y áreas verdes. (Rueda, 2004)

Para reconocer el área de estudio y los posibles lugares de captación del agua de lluvia se hizo un recorrido en la universidad, para identificar los diferentes tipos de superficies que se encuentran en la universidad, estas superficies fueron representadas en un plano digital, se calculó su área y se propuso una dirección del flujo del agua que por ahí escurre.



### 2.3.3 Pluviometría

La precipitación media anual es de 396.2 mm, siendo el mes de junio el mes más lluvioso con 75.8 mm. El período de lluvias ocurre entre los meses de junio y octubre, la precipitación máxima en 24 horas se presenta en el mes de junio y es de 85.2 mm. (Rueda, 2004)

De acuerdo a los datos de la CONAGUA, la precipitación promedio en San Luis Potosí en el período 2004-2006 fue de 386.8 mm. El mes más lluvioso fue el mes de septiembre con 108.6 mm de precipitación. Y la precipitación máxima en 24 horas fue de 21.2 mm y se presentó en el mes de septiembre.

Los datos obtenidos en el observatorio meteorológico de la ZUP de la UASLP proporcionaron lo siguiente:

La precipitación anual para el período 2004-2006 fue de 387.3 mm, el mes más lluvioso fue el mes de septiembre con 107.2 mm de precipitación, por último, la precipitación máxima en un período de 24 horas fue de 21.7 mm.

La información conseguida por parte de la estación meteorológica de la CONAGUA y el observatorio de la ZUP fue comparada y se optó por utilizar los datos del observatorio ubicado dentro de la universidad, debido a la proximidad del área en estudio, además, de esta manera, la información utilizada será más representativa.

### 2.3.4 Estimación de la cantidad de agua de lluvia aprovechable en la ZUP

Para estimar la cantidad de agua de lluvia aprovechable fue necesario calcular las áreas de captación. La ZUP cuenta con diferentes superficies dentro de sus diferentes facultades:

- Pasto
- Concreto lavado
- Concreto liso
- Asfalto
- Piedra sangre
- Adocreto
- Adoquín
- Concreto cepillado
- Tierra
- Concreto macheteado
- Tezontle
- Edificios



Es importante considerar la superficie de captación del agua de lluvia, en este caso solo se piensa el uso de edificios para ello. El área ocupada por los edificios dentro de la universidad es de: 48,946.4 m<sup>2</sup>.

Se obtuvieron los datos de precipitación diaria para el período del 2004-2006 para hacer una estimación de cuanta agua de lluvia se puede obtener en la ZUP. De acuerdo a la bibliografía consultada los métodos propuestos para la captación de agua de lluvia son:

- *In situ*: cuando el agua de lluvia es captada sobre el terreno
- Captación en techos: cuando se utiliza el área que ocupan los techos de las casas o edificios para ello.

En el caso de la ZUP se propone la captación en los techos de los edificios. Para estimar el volumen aprovechable de agua de lluvia será necesario conocer la precipitación promedio diaria a lo largo de un año, el coeficiente de escurrimiento y la superficie de captación. El producto de estos tres datos resultará en el volumen aprovechable de agua de lluvia.

Volumen aprovechable = Área de captación x Coeficiente de escurrimiento x Precipitación  
(Waterfall, 2004)

O bien:

$$\text{Volumen a captar} = \text{Área de captación} (m^2) * (\text{precipitación}) (mm) * \text{coeficiente de escurrimiento}$$

Ecuación 2.1

En la ecuación anterior, *B* se define como las pérdidas debido a la absorción en el terreno y a la adherencia de una película de agua en las superficies con las que entra en contacto, este valor se considera de 2mm por mes y 24mm anuales. (Nubian Water Systems, 2007).

Waterfall (2004) presenta los valores de la tabla 1.2 para el coeficiente de escurrimiento de los siguientes materiales:



Tabla 2. 1. Valores de coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de superficies y materiales de captación de agua de lluvia

Superficie de captación	Material	Coeficiente de escurrimiento	
		Alto	Bajo
Techos	Metal	0.95	0.90
	Asfalto fibra de vidrio		
	Papel mineral		
Pavimento	Concreto	1.0	0.9
	Asfalto		
Suelo	Planos sin vegetación	0.75	0.2
	Planos con vegetación	0.6	0.1
Césped	Plano, suelo arenoso	0.10	0.05
	Plano suelo pesado	0.17	0.13

Fuente: Waterfall (2004)

Para el caso del sistema de captación dentro de la ZUP se utilizaran los valores del coeficiente de escurrimiento de la tabla 1. La superficie de captación será el techo por lo tanto el coeficiente de escurrimiento será de 0.90 a 0.95.

Se calculó el volumen captado por día y se estimó el volumen que se puede captar a lo largo del año, además se estimó el tiempo en que una bomba operará a lo largo del año. Con estos datos se pudo diseñar el volumen de la (s) cisterna (s) que puede (n) contener el agua de lluvia y con la topografía de la ZUP se propuso la ubicación de la (s) misma (s). (Ver cálculos en anexo electrónico)

### 2.3.5 Tratamientos necesarios para la utilización de agua de lluvia

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental del estado de Victoria de Australia (Vic. EPA) los tratamientos necesarios o propuestos para el uso de agua no potable para servicios al público son:

- Trampas de sólidos gruesos
- Trampas de sólidos sedimentables
- Uso de medios porosos para filtración
- Sistemas avanzados de tratamiento (Ósmosis inversa, nanofiltración, flotación por aire disuelto, electrólisis, aireación y tratamiento biológico)

(Victoria Government, 2007)

El Manual de Captación de Agua de Lluvia de Texas propone los siguientes sistemas de tratamiento previos al uso de agua de lluvia en servicios:

- Uso de rejillas para la remoción de sólidos gruesos
- Sedimentación



- Limpieza de superficies de captación
- Filtración con cartuchos de celulosa de poro entre 3-5  $\mu\text{m}$
- Filtración con carbón activado
- Filtración con arena
- Desinfección (mediante ebullición, con cloro, rayos UV, ozono, etc.)
- Ósmosis inversa (en el caso que se deseé remover sales o concentraciones pequeñas de contaminantes)
- Nanofiltración (Remoción de moléculas)

En base a los sistemas de tratamiento propuestos, para el tratamiento de agua de lluvia se proponen diferentes trenes de tratamiento, es necesario seleccionar uno de acuerdo al área de captación y a los usos finales que tendrá el agua. Se proponen los siguientes trenes de tratamiento para el uso de agua de lluvia captada en los techos de la universidad:

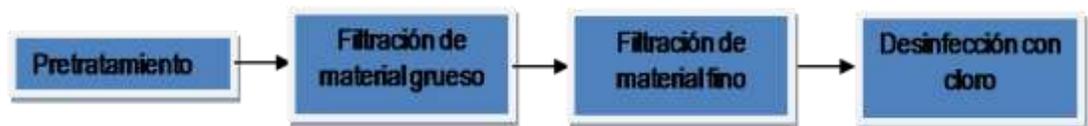


Figura 2. 2. Propuesta A para el tratamiento de agua de lluvia previo a su uso dentro de la ZUP.

O bien:

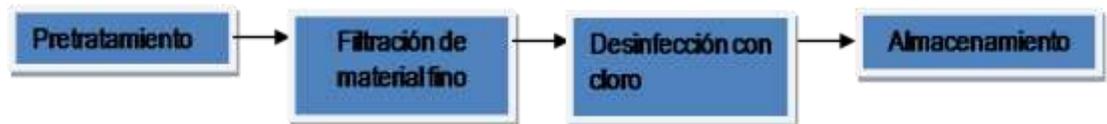


Figura 2. 3. Propuesta B para el tratamiento de agua de lluvia previo a su uso dentro de la ZUP.

De acuerdo a las recomendaciones hechas por el “Texas Rainwater Harvesting Comitee” (2006), sí el agua se utiliza en actividades con contacto indirecto u ocasional el tren de tratamiento mínimo aceptable es la Propuesta A. Sí los usos involucran contacto directo, es necesario el tren de tratamiento de la Propuesta B.



## 2.4 Tratamiento del agua residual en la ZUP

### 2.4.1 Agua residual generada en la ZUP

Para calcular la cantidad de agua residual generada fue necesario utilizar datos de consumo de agua potable por los estudiantes dentro de la ZUP. De acuerdo a los datos calculados por Rueda (2004), los estudiantes de la UASLP consumen en promedio un total de 29 L/día, mientras que el personal docente y administrativo consume en promedio 50 L/día, además especifica el consumo de agua por cafeterías y laboratorios es de 1 L/m<sup>2</sup>.día. Otros datos sugeridos de consumo de agua potable en universidades con cafetería es de 60 L/unidad.día (Metcalf & Eddy, 2003). La CONAGUA en el Manual de Agua Potable y Alcantarillado (MAPAS) especifica que la dotación de agua potable para escuelas es de 25 L/estudiante.día y de 100 L/trabajador.día.

Los datos de consumo para maestros y personal docente dentro de la ZUP calculados por Rueda concuerdan con los datos obtenidos de Metcalf & Eddy (2004) que fueron obtenidos para escuelas en Estados Unidos. En el caso de los estudiantes el valor de 29 L/estudiante.día es un poco bajo en comparación. Es necesario entonces obtener un valor promedio tanto para estudiantes como para el personal docente y administrativo.

Según el MAPAS, el aporte de agua residual en instituciones públicas es del 100% por lo tanto el agua residual generada en la ZUP de la UASLP es igual al agua potable consumida. De acuerdo a la CONAGUA, el gasto de agua residual dentro de la ZUP se calculará:

$$Q_{medio} = \frac{Ap \cdot P}{86400} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

Ap= aportación de agua residual por unidad (L/día)

P= población

Para aplicar esta fórmula, primero será necesario conocer la dotación de agua para estudiantes y docentes, para ello será necesario obtener una media ponderada.

Es necesario conocer la concentración de los contaminantes que contiene el agua residual. El departamento de ingeniería civil de la ZUP realizó una caracterización de una de las descargas de agua residual a la red municipal de drenaje, el muestreo se hizo enfrente del nuevo edificio P (ver figura 2.4).

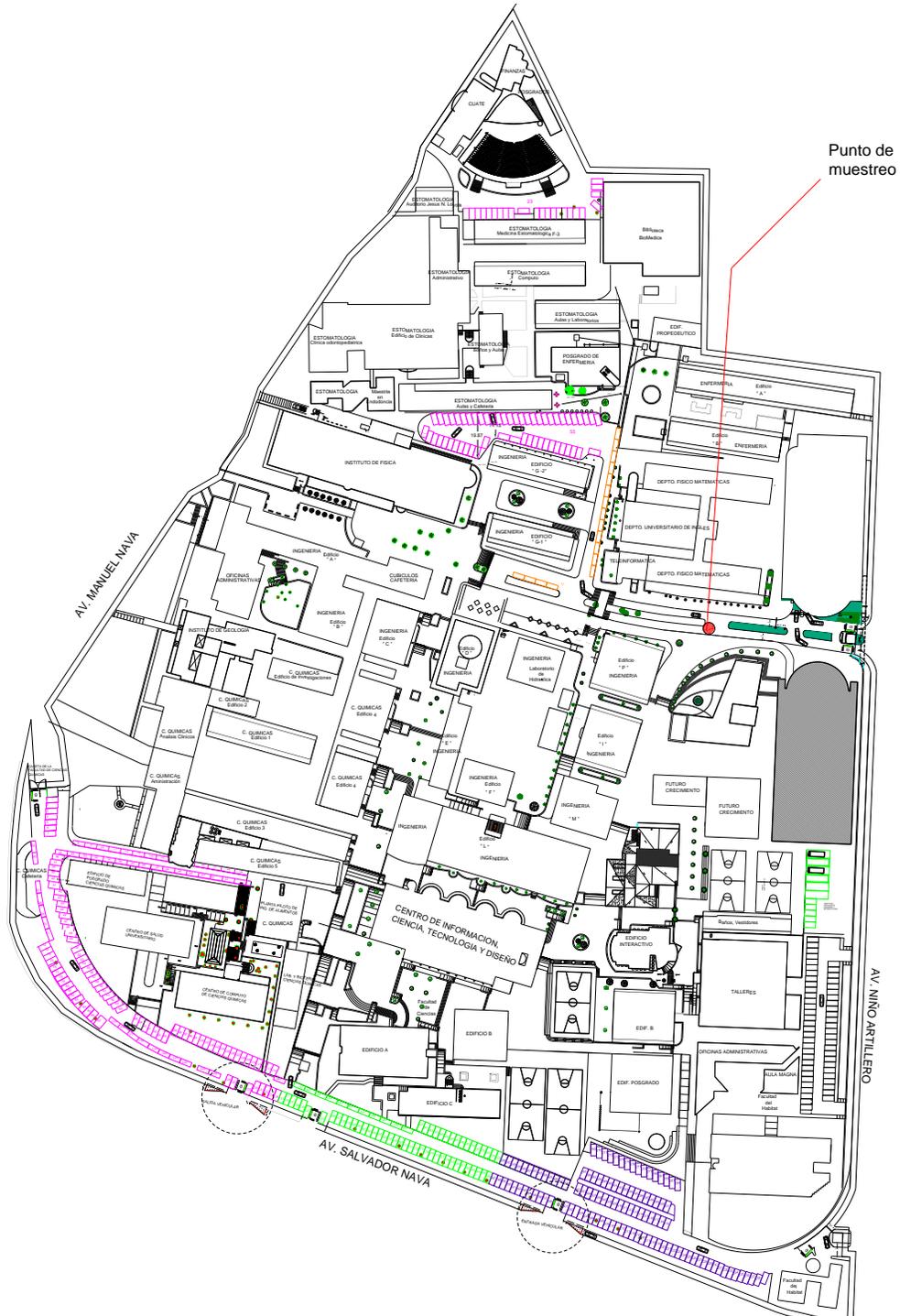


Figura 2. 4. Croquis de localización del punto muestreado.

El muestreo consistió en muestrear durante el día, cada 5 horas. Los muestreos fueron realizados del 28 de abril al 5 de mayo del 2010. Los parámetros medidos fueron:

- pH



- Temperatura (T°C)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Grasas y Aceites (G y A)
- Nitrógeno total (Nt)
- Fósforo total (Pt)
- Coliformes totales (CT)
- Coliformes Fecales (CF)

#### **2.4.2 Drenaje y topografía de la ZUP**

Para poder escoger un lugar para la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ZUP es necesario conocer la topografía de la zona y el drenaje, lo ideal es ubicar la planta de tratamiento en la parte más baja del terreno, de esta manera no se generarán costos por bombeo del agua residual hacia la planta.

Se consiguió plano topográfico de la ZUP en la oficina de construcción. Fue necesario solicitar a la oficina de acceso a la información pública de la UASLP un plano de la red sanitaria que se encuentra en la ZUP. No se obtuvo un plano de la tubería de drenaje detallada. Pero se obtuvo el plano de la red de drenaje principal.

#### **2.4.3 Selección de un sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP**

Para la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales es necesario valorar diferentes criterios, esta evaluación permitirá obtener un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado para la zona universitaria.

- Gasto del agua residual, definirá junto con la carga de agua residual, el tamaño del sistema de tratamiento y su disposición.
- Características del agua residual, definirá, además del tamaño del sistema de tratamiento, el tipo de tecnología de tratamiento a utilizar.
- Población a servir, define el tipo de agua residual que se generará, las características que tendrán y las tecnologías que se pueden utilizar.
- Topografía, define la posible ubicación del sistema de tratamiento
- Área disponible, junto con la topografía precisan la ubicación del sistema, es importante señalar que también ayuda a la selección del sistema, pues en casos en



que el área disponible sea pequeña, descarta el uso de tecnologías que requieren superficies demasiado grandes.

- Calidad del agua regenerada, la calidad dependerá del sistema de tratamiento elegido y la calidad deseada, así como la normatividad que se desee cumplir
- Reuso que se le pretende dar al agua residual tratada, está en función de las necesidades de agua del lugar, la normativa aplicable y la calidad del agua producida.
- Costos de construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, dependerá de las características que se deseen en el efluente, el gasto generado, la calidad del sistema de tratamiento, la disponibilidad de terreno, la tecnología utilizada, entre otras características
- Normatividad aplicable, definirá el uso que se le podrá dar al agua, el nivel de tratamiento y las características mínimas del efluente tratado.

#### 2.4.4 Diseño del sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP

De acuerdo a los criterios seleccionados se hizo el diseño del sistema de tratamiento propuesto, que consiste en un sistema de tratamiento combinado utilizando un sistema anaerobio-aerobio, se pensó en el uso de un sistema de tratamiento basado en un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) combinado con un filtro percolador. El sistema permitirá obtener un agua residual tratada de buena calidad. (Ver cálculos en anexo electrónico).

Para el diseño básico del RAFA se utilizó el procedimiento propuesto por Metcalf & Eddy (2003), el proceso utiliza las siguientes ecuaciones:

Volumen nominal: es el volumen ocupado por la cama de lodos y la biomasa activa, se calcula utilizando una carga orgánica adecuada para el tipo de agua a tratar, la ecuación que define el volumen nominal ( $V_n$ ) es:

$$V_n = \frac{QS_0}{L_{org}} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

$V_n$ : Volumen nominal ( $m^3$ )

$Q$ : Gasto de agua residual ( $m^3/día$ )

$S_0$ : DQO del afluente ( $kg DQO/m^3$ )

$L_{org}$ : Carga orgánica ( $kg DQO/m^3.día$ )



Cálculo del volumen del líquido: es necesario calcular el volumen total del líquido que estará debajo del colector de gas. Para esto es necesario utilizar un factor de efectividad, este factor de efectividad es la fracción que ocupará el manto de lodos, este factor varía entre 0.8 a 0.9, la ecuación para obtener el volumen del líquido es:

$$V_L = \frac{V_n}{E} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

$V_L$ : Volumen del líquido ( $m^3$ )

$E$ : Factor de eficiencia

El reactor anaerobio necesitará de un área, esta área se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{v} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

$A$ : es el área ocupada por el RAFA ( $m^2$ )

$v$ : Velocidad ascensional del agua residual dentro del reactor ( $m/h$ )

La velocidad ascensional se puede obtener de tablas, estará en función del contenido de DQO soluble, para el caso de aguas residuales domésticas, se recomienda que la velocidad ascensional sea menor de 0.8  $m/h$

Una vez calculada el área, será necesario obtener la altura total del líquido, se obtendrá:

$$H_L = \frac{V_L}{A} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

$H_L$ : Altura del líquido en el reactor ( $m$ )

Los reactores anaerobios generalmente producen biogás, este biogás en muchos casos se aprovecha, o bien se quema, para cualquiera de los dos casos es necesario tomar en cuenta que un colector de gas ocupara una altura  $H_G$  en el RAFA, por tanto será necesario sumar esta altura a la altura del líquido y obtener así la altura total del tanque, para ello:

$$H_T = H_L + H_G \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

$H_T$ : es la altura total del tanque ( $m$ )

$H_G$ : La altura del colector del biogas ( $m$ )

Otros parámetros básicos que ay que conocer al momento de diseñar un RAFA son:



- El tiempo de retención hidráulico ( $\tau$ )
- El tiempo de retención de los lodos (SRT)
- Los sólidos suspendidos totales en el reactor ( $X_{SST}$ )

Para el cálculo del tiempo de retención hidráulico, será necesario utilizar la formula:

$$\tau = \frac{V_L}{Q} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

$\tau$ : es el tiempo de retención hidráulico en h

El tiempo de retención de los lodos se calculará utilizando la expresión:

$$QX_e = P_{X,SSV} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde:

$X_e$ : son los sólidos esperados en el efluente tratado

$P_{X,SSV}$ : Los sólidos suspendidos producidos y es igual a:

$$\frac{QY(S_0-S)}{1+k_dSRT} + \frac{f_d k_d Y Q (S_0-S) SRT}{1+k_dSRT} + QnbSSV - QX_e \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

$Y$ : Rendimiento de producción de biomasa (g SSV/gDQO), el valor típico utilizado es de 0.08

$S_0$ : Concentración de DQO en el afluente (mg/L)

$S$ : Concentración de DQO soluble en el efluente (mg/L)

$k_d$ : Coeficiente de decaimiento de biomasa (g/g.d) el valor típico usado es 0.03

$f_d$ : Fracción de biomasa que permanece como desechos celulares, el típico es va de 0.1-0.15, para el diseño del sistema en la ZUP se utilizará el valor de 0.15

$SRT$ : Tiempo de retención de lodos

$X_e$ : SST en el efluente

El SRT se determina igualando la ecuación a  $QX_e$  y suponiendo valores para SRT, mediante iteraciones hasta igualar el resultado.

El filtro percolador se calculo de 2 maneras, la primera fue el método propuesto para un filtro con empacado de plástico, este método tiene algunas restricciones, por ejemplo:

- Es necesario el uso de 2 torres
- Las ecuaciones fueron pensadas para diseñar filtros con profundidades que van de 6.1-6.7 metros.



Las ecuaciones utilizadas fueron:

Para determinar el efecto de la temperatura en el sistema:

$$k_2 = k_1 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{0.5} \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^{0.5} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde:

$k_2$ : Valor normalizado para  $k$  a la profundidad de empacado específica del sitio y concentración de DBO del afluente.

$k_1$ : Valor de  $k$  a profundidad de 6.1m y concentración del influente de 150mg/L, para aguas residuales domésticas el valor es de  $0.21 \text{ (L/s)}^{0.5}/\text{m}^2$

$D_1$ : Profundidad del empacado de 6.1m

$D_2$ : Profundidad del empacado específica del sitio

$S_1$ : 150 mgDBO/L

$S_2$ : Concentración de DBO específica del sitio

Con el valor de  $k_2$  obtenido se calculo el valor de  $k_T$  a la temperatura mínima del sitio específico con la siguiente ecuación:

$$k_T = k_{20}(1.035)^{T-20} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

$k_T$ : Valor de  $k$  a la temperatura mínima del sitio específico

$k_{20}$ : Valor de  $k$  a 20°C

$T$ : Temperatura mínima del sitio específico

Con el valor de  $k_T$  se calculó la tasa de aplicación hidráulica  $q$ , que se despejo de la ecuación:

$$\frac{S_e}{S_0} = e^{-kD/q^n} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

$S_e$ : Concentración de DBO en el efluente (mg/L)

$k$ : Coeficiente de empacado y tratabilidad del agua ( $[\text{L/s}]^{0.5}/\text{m}^2$ )

$D$ : Profundidad del empacado (m)

$n$ : Constante de las características del material empacado utilizado

Después de despejar  $q$  de la ecuación 15 se obtuvo:

$$q = [kD/\ln(S_0/S_e)]^{1/n} \quad \text{Ecuación 2.14}$$



Con el valor de  $q$  calculado y con el gasto se obtuvo el área del filtro con la expresión:

$$Area = Q/q \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde:

$Q$ : es el gasto ( $m^3/día$ )

El área obtenida se dividió entre las torres y se calculo el diámetro de cada una de estas.

La tasa de recirculación se calculo con la formula

$$R = \frac{q_r}{q} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Donde:

$R$ : es la relación de recirculación

$q_r$ : tasa de recirculación ( $L/m^2.s$ ) y es igual a:

$$q_r = q_m - q \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde:

$q_m$ : es la tasa de mojado mínima ( $L/m^2.s$ )

La carga orgánica que tendrá el clarificador será igual a:

$$L_{DBO} = \frac{QS_0}{V} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Donde:

$L_{DBO}$ : es la carga de DBO ( $kg/m^3.d$ )

$V$ : Volumen de empacado del filtro ( $m^3$ )

Finalmente es necesario calcular la velocidad del distribuidor utilizando la ecuación:

$$n = \frac{(1+R)(q)(10^3 mm/m)}{(A)(DR)(60 min/h)} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Donde:

$n$ : es la velocidad rotacional (rev/min)

$q$ : Tasa de carga hidráulica aplicada al afluente ( $m^3/m^2.h$ )

$A$ : El numero de brazos distribuidores que tiene el filtro

$DR$ : La tasa de aplicación, mm/paso del brazo distribuidor

Se hizo el diseño de un filtro utilizando las ecuaciones del NRC. De acuerdo a Metcalf & Eddy (2003) estas ecuaciones fueron deducidas para filtros percoladores que utilizan rocas como material de empacado en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Las ecuaciones del NRC son:



$$E_1 = \frac{100}{1 + 0.4432 \sqrt{\frac{W_1}{VF}}} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Donde:

$E_1$ : es la eficiencia de remoción en el primer filtro a 20°C incluyendo la recirculación, se expresa en porcentaje

$W_1$ : es la carga de DBO en el primer filtro (kg/d)

$V$ : Volumen de empacado del filtro

$F$ : Factor de recirculación

Para calcular el factor de recirculación se utiliza la ecuación 23:

$$F = \frac{1+R}{(1+R/10)^2} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Donde:

$R$ : es la relación de recirculación

Para el caso en que se utilizan 2 filtros, es necesario calcular la eficiencia del segundo filtro utilizando:

$$E_1 = \frac{100}{1 + \frac{0.4432}{1-E_1} \sqrt{\frac{W_2}{VF}}} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Donde:

$E_2$ : es la eficiencia de remoción en el segundo filtro a 20°C incluyendo la recirculación, se expresa en porcentaje

$W_2$ : es la carga de DBO en el segundo filtro (kg/d)

Debido a que la eficiencia de ambos filtros se calculan a temperatura de 20°C, es necesario calcular el efecto de la temperatura del agua residual en la eficiencia de remoción de DBO, para ello usaremos:

$$E_T = E_{20} (1.035)^{T-20} \quad \text{Ecuación 2.23}$$

Donde:

$E_T$ : Eficiencia de remoción de DBO a la temperatura (°C) del agua residual del sitio.

Al final con los datos obtenidos se hizo una comparación de la calidad del afluente contra la calidad del efluente, los datos obtenidos se presentan más adelante.



## **2.5. Diseño y evaluación de escenarios**

Debido a que cada uno de los resultados obtenidos en las diferentes propuestas, representan un porcentaje de ahorro de agua dentro de la ZUP de la UASLP, es importante considerar el ahorro generado por el conjunto de estas propuestas. Se harán combinaciones de estas para conocer la disminución en el consumo de agua potable debido a ellas.

Las propuestas básicas que se han estado manejando en el presente trabajo son:

1. Cambio de muebles actuales por muebles de bajo consumo
2. Ahorro de agua debido al cambio de jardinería actual por xerojardinería
3. Captación y utilización de agua de lluvia
4. Tratamiento y reutilización de aguas residuales

### **2.5.1 Escenarios generados por el cambio de muebles actuales por muebles de bajo consumo**

Actualmente los muebles de la ZUP generan un consumo, en la presente tesis se propone el cambio de muebles por muebles de bajo consumo, si esto ocurre, el gasto de agua residual generado será mucho menor al actual, por tanto, será necesario ajustar los datos de la calidad de agua residual y las características del sistema de tratamiento. El nuevo gasto modificará el volumen de agua residual tratada que se generará, por tanto, el agua disponible para riego será menor.

El nuevo gasto no tendrá efecto alguno en la cantidad de agua de lluvia a captar o utilizar, por tanto, se generó un escenario que estima el ahorro de agua debido al cambio de muebles sanitarios y el uso de agua de lluvia captada.

Los escenarios generados son:

- Cambio de muebles sanitarios en la ZUP,
- Cambio de muebles en la ZUP y tratamiento de aguas residuales,
- Cambio de muebles en la ZUP, tratamiento de aguas residuales y cambio de la jardinería actual por xerojardinería

### **2.5.2 Escenarios generados por el cambio de la jardinería actual por xerojardinería**

La propuesta de xerojardinería dio como resultado 2 propuestas de jardines con xerojardinería, cada uno de ellos con un consumo menor al de los jardines actuales. Debido a que se pretende utilizar agua de lluvia para el riego de los jardines, un escenario generado será el uso de agua de lluvia para el riego de los jardines. El agua residual tratada puede utilizarse en el riego de los jardines en los días en que no exista agua de lluvia. Si ay un cambio de los muebles sanitarios, habrá una disminución del caudal de agua residual a tratar y por lo tanto un caudal menor de agua residual



tratada. Con lo anterior podemos deducir que los escenarios generados para el cambio de jardinería actual son:

- Nueva jardinería en la ZUP de la UASLP
- Riego de la nueva jardinería con agua de lluvia captada
- Riego de la jardinería actual y jardinería propuesta con agua residual tratada

### **2.5.3 Escenarios generados por la captación de agua de lluvia**

El análisis de la pluviometría dentro de la ZUP se hizo para determinar el volumen de agua de lluvia que se puede utilizar. Dentro de la ZUP existen diferentes superficies que pueden ser utilizadas para la captación del agua de lluvia, pero se optó por utilizar solo los techos de los edificios. Se prevé que el agua captada en los edificios, será de buena calidad, por lo tanto, el agua de lluvia se puede utilizar para riego de áreas verdes y/o agua para descarga de retretes, entonces los escenarios que se generaron a partir de esto son:

- Uso de agua de lluvia para el suministro en retretes actuales y retretes de bajo consumo

### **2.5.4 Escenarios generados con el tratamiento y la reutilización de agua residual**

Estos escenarios se analizaron pensando en que el flujo del agua residual actual disminuirá considerablemente si se utilizan muebles sanitarios de bajo consumo, además el tratamiento del agua residual proveerá a la ZUP de una fuente más de abastecimiento que puede ser utilizada en varios servicios dentro de la ZUP como el riego de jardines o suministro de los baños actuales o propuestos.

- Cambio de muebles en la ZUP y tratamiento de aguas residuales,
- Cambio de muebles en la ZUP, tratamiento de aguas residuales y cambio de la jardinería actual por xerojardinería y
- Riego de la jardinería actual y jardinería propuesta con agua residual tratada.



## Capítulo 3 Resultados del estudio para la reducción del consumo de agua en la ZUP

### 3.1 Muebles sanitarios

#### 3.1.1 Propuesta de nuevos muebles sanitarios en la ZUP

Se analizaron los muebles sanitarios que existen dentro de la ZUP, el volumen del tanque y el volumen por descarga, se obtuvo lo siguiente:

Existen 65 edificios dentro de la ZUP que contiene al menos un retrete, en total, a octubre del 2009 se contabilizaron 544 retretes dentro de la ZUP de los cuales:

- 453 contienen un tanque de 16 L y generan un gasto de 8 L/descarga
- 49 tienen un tanque de 16 L y generan un gasto de 6 L/descarga
- 25 tienen un tanque de 12 L y generan un gasto de 8 L/descarga
- 17 no tienen tanque y utilizan fluxómetro que genera un gasto de 6 L/descarga

El gobierno de la ciudad de México publicó un catálogo de dispositivos ahorradores, en el catálogo se muestran dispositivos que actualmente existen en el mercado como:

- Inodoros
- Mingitorios
- Fluxómetros
- Regaderas
- Lavamanos

Para el caso de esta tesis se propuso el cambio de muebles sanitarios, específicamente, inodoros, los inodoros que actualmente existen en el mercado y que se muestran en el catálogo son:

- Inodoros que generan un gasto de 6 L/descarga
- Inodoros de doble descarga, 3 L para líquidos y 6 L para sólidos
- Inodoros que producen 4.8 L/descarga

Para el caso de la ZUP se propone el uso de retretes con descarga de 6 L o 4.8 L, el ahorro de agua puede variar según el tipo de inodoro utilizado.

Se propone homogenizar las descargas de los retretes dentro de todos los edificios de la ZUP a 6 L/descarga. Si bien actualmente existen otros dispositivos ahorradores, aquellos que generan un gasto de 6 L/descarga son los más utilizados actualmente.

En caso de que se cuente con los recursos económicos, se pueden reemplazar por inodoros o fluxómetros que permitan un gasto de 4.8 L/descarga o bien por muebles con doble descarga. Otra



propuesta es el uso de estos dispositivos, que permitirá el ahorro de 3.2 L/descarga en el caso de los retretes que utilizan 8 L/descarga y, si el cambio de muebles es general entonces se ahorrará 1.2 L/descarga en aquellos retretes que consumen 6 L.

### 3.1.2 Estimación de ahorro de agua dentro de la ZUP con nuevos muebles sanitarios

Se calculó el gasto generado por todos los retretes actuales y el gasto generado por cada uno de los diferentes modelos que existen dentro de la ZUP, entonces el nuevo gasto de los nuevos muebles sanitarios es:

Tabla 3. 1. Características y consumo actual de los inodoros de la ZUP.

Mueble	Cantidad dentro de la ZUP	Descarga por retrete (L)	Tanque (L)	Gasto total generado (L)
Induro	453	8	16	3,624
Inodoro	49	6	16	294
Inodoro	25	8	12	200
Fluxómetro	17	6	Sin tanque	102
Total	544	-	-	4,220

En total los 544 retretes que actualmente existen dentro de la ZUP consumen un total de 4,220 L/descarga.

Se propone homogenizar las descargas de los retretes a 6 o 4.8 L utilizando dispositivos ahorradores, entonces, para el primer caso el gasto generado por los retretes que consumen 6 L/descarga será de:

Tabla 3. 2. Características propuestas para los retretes de la ZUP, propuesta A.

Mueble	Cantidad dentro de la ZUP	Descarga por retrete (L)	Tanque (L)	Gasto total generado (L)
Induro	453	6	12	2,718
Inodoro	49	6	12	294
Inodoro	25	6	12	150
Fluxómetro	17	6	Sin tanque	102
Total	590	-	-	3,264

En total se consumirían 3,264 L/descarga de los 544 retretes, representando un ahorro del 23% en el consumo de agua, comparado con el consumo actual.

Si los muebles sanitarios y/o dispositivos se sustituyen por aquellos con consumo de 4.8 L/descarga, entonces, los 544 retretes que actualmente existen en la ZUP consumirán:



Tabla 3. 3. Características propuestas para los retretes de la ZUP, propuesta B.

Mueble	Cantidad dentro de la ZUP	Descarga por retrete (L)	Tanque (L)	Gasto total generado (L)
Induro	499	4.8	12	2,174
Inodoro	49	4.8	12	235
Inodoro	25	4.8	12	120
Fluxómetro	17	4.8	Sin tanque	82
Total	590	-	-	2,611

2,611 L/descarga, que representa un ahorro del 38% en comparación al consumo actual.

Finalmente se comparó el consumo actual de los inodoros de la ZUP con el posible consumo de los muebles propuestos para los baños. De acuerdo a los datos aquí obtenidos, el ahorro será de:

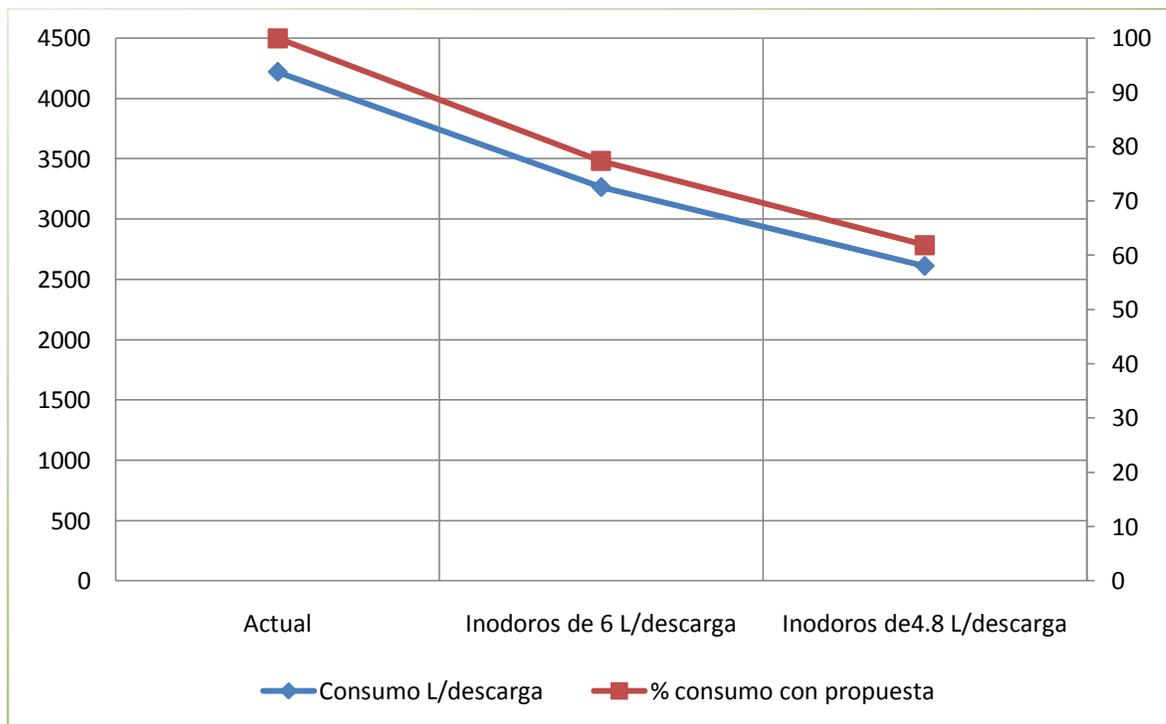


Figura 3. 1. Resultado del consumo con inodoros actuales y con inodoros propuestos.

### 3.2 Jardinería

La vegetación que existe en la ciudad de San Luis Potosí se encuentra principalmente en plazas, parques, aceras y camellones. La vegetación predominante es exótica. Esta vegetación consume cantidades considerables de agua pues en su mayoría es pasto.

Las plazas más significativas de la ciudad son:



Tabla 3. 4. Plazas en la ciudad de San Luis Potosí y sus principales características (Rodríguez, 2003)

Plaza	Ubicación en la ciudad	Superficie	Vegetación predominante
Plaza de Armas	Zona centro	9000	Laurel de la India, cedro, jacaranda, flamboyán, ficus, buganvilea, trueno y pino
Plaza Fundadores	Zona centro	8000	No existe vegetación
Jardín de San Miguelito	Zona centro	5400	Jacarandas y Laurel de la India
Jardín de San Sebastián	Zona centro	4000	Laurel de la india, cedro, jacaranda, flamboyán, ficus, buganvilea, trueno y pino
Jardín de Colon	Zona centro	5200	Pino, trueno, palmas canarias y jacaranda
Jardín central de la calzada de Guadalupe	Zona centro	5100	Jacarandas, Palmas canarias, eucaliptos, guamúchil, pino, limón y laurel de la India
Jardín de Zona Militar	Zona centro	7000	Jacarandas, Palmas canarias, eucaliptos y laurel de la India
Jardín de Guadalupe	Zona centro sur	3000	Laurel de la India
Jardín Escobedo	Zona centro	3200	Laurel de la India
Plaza del Carmen	Zona centro	2500	Magnolias, laurel de la India y jacaranda
Jardín Mariano Jiménez	Zona centro	2700	Eucaliptos, jacaranda y laurel de la India
Jardín de San Agustín	Zona centro	1000	Cedro, magnolia
Jardín de San Francisco	Zona centro	3800	Eucaliptos, cedros, palmas canarias, casuarinas, truenos y jacaranda
Jardín de Tlaxcala	Zona centro	4800	Laurel de la India
Jardín parroquial de Tlaxcala	Zona centro	3200	Laurel de la India y jacarandas
Jardín de Santiago	Zona norte	5700	Jacaranda, cedro y casuarina
Jardín Tequisquiapan	Zona centro	12200	Fresno, casuarina, palmas canarias chopos y truenos
Jardín del Montecillo	Zona centro	1000	Laurel de la India
Jardín Escontría	Zona centro	1500	Jacarandas y Laurel de la India
Jardín Independencia	Zona sur	2500	Casuarinas, palmas canarias, jacarandas y cedros
Jardín Manuel Muro	Zona este	3000	Casuarinas y olmos
Jardín Ponciano Arriaga	Zona centro	1800	Casuarinas, eucaliptos, cedros, mimosas y fresnos
Jardín Filomeno Mata	Zona centro	900	Eucaliptos
Jardín Colón	Zona centro	5200	Jacarandas, chopos, fresnos, eucaliptos, cedros y palmas



Los parques principales de la ciudad son:

Tabla 3. 5. Principales parques de la ciudad de San Luis Potosí y sus características (Rodríguez, 2003)

Parque	Ubicación	Superficie (Ha)	Vegetación predominante
<b>Tangamanga I</b>	Zona sur	411	Pasto, pirul común, pirul chino, eucalipto, cedro blanco y álamo
<b>Tangamanga II</b>	Zona norte	215	Pasto eucalipto, pirul, pirul chino, y álamo
<b>Morales</b>	Zona Oeste	25	Pasto, eucalipto, fresno, cedro, chopo, casuarina y palma canaria
<b>Juan Sarabia</b>	Zona centro	78.75	Pasto, pino, jacaranda, álamo, flamboyán, laurel de la India y palma canaria

En calles y camellones de la ciudad hay vegetación. Las calles más significativas de la ciudad y su vegetación predominante son:

Tabla 3. 6. Principales calles y camellones en la ciudad de San Luis Potosí. (Rodríguez, 2003)

Calle o avenida	Ubicación	Vegetación predominante
Ave. Venustiano Carranza	Zona centro-oeste	Palma canaria, eucalipto, fresno y casuarina
Calle Hidalgo	Zona centro	No existe
Calle Zaragoza	Zona centro	No existe
Ave. Constitución	Zona centro	Laurel de la India
Ave. Reforma	Zona centro	No existe
Calle Damián Carmona	Zona centro	No existe
Eje vial Ponciano Arriaga	Zona centro	Laurel de la India
Ave. 20 de Noviembre	Zona centro	Palma canaria
Ave. Prolongación Muñoz	Zona norte	No existe
Ave. Ferrocarril	Zona norte	Eucalipto
Ave. Pedro Moreno	Zona centro	Laurel de la India
Ave. Universidad	Zona centro	No existe
Ave. Santos degollado	Zona este	No existe
Ave. Cordillera Himalaya	Zona este	Ficus, Laurel de la India, Eucalipto
Ave. Diagonal sur Salvador Nava	Zona sur-oeste	Eucaliptos, Mezquites, pirules y ficus
Ave. Ricardo B. Anaya	Zona este	No existe
Ave. José Gálvez	Zona este	No existe
Prolongación Guadalupe	Calzada Zona sur	Jacaranda, laurel de la India, palma canaria, trueno, olmo y eucalipto
Calle Arsénico	Zona oeste	No existe
Ave. Industrias	Zona sur-este	Pirul y eucalipto
Ave. Benito Juárez	Zona este	No existe
Ave. Promoción	Zona este	No existe
Ave. CFE	Zona este	No existe
Calzada Guadalupe	Zona centro-sur	Palma canaria, jacaranda, trueno, olmo y eucalipto
Calle Zaragoza	Zona centro	No existe



Tabla 3.6. (Continuación)

Calle o avenida	Ubicación	Vegetación predominante
Camino a la presa	Zona oeste	Eucalipto, mezquite y pirul
Ave. Himno Nacional	Zona sur-oeste	Laurel de la India y ficus
Boulevard Río Santiago	Zona centro-norte	Álamo, silver dollar, buganvilea, pirul, neriums y pasto
Calle Abasolo	Zona centro	No existe
Calle Cordillera del Marques	Zona oeste	Pirul, ficus y laurel de la India
Calle plata	Zona oeste	No existe
Calle Amado Nervo	Zona oeste	Jacaranda y Laurel de la India
Calle Cordillera Arakan	Zona oeste	Cedro

### 3.2.1 Propuesta de cambio parcial de jardinería en la ZUP

La ZUP de la UASLP tiene un total de 28,620.3 m<sup>2</sup> (Rueda, 2004) de áreas verdes distribuidas en las diferentes facultades que existen de la siguiente manera:

Tabla 3. 7. Superficie de vegetación en las diferentes facultades de la ZUP de la UASLP

Facultad	Superficie (m2)	Vegetación predominante
Hábitat	5,530.5	Pasto, eucalipto, laurel de la India, jacaranda.
Ciencias	2,107.5	Pasto, eucalipto, laurel de la India.
Ciencias Químicas	7,013.9	Pasto, eucalipto, laurel de la India
Ingeniería	8,960	Pasto, eucalipto, laurel de la India. Jacaranda, buganvilea.
Enfermería	3,141.9	Pasto, laurel de la India
Estomatología	1,866.5	Pasto, eucalipto, laurel de la India
<b>Total</b>	<b>28,620.3</b>	

Se identificaron las áreas verdes de la zona universitaria en un plano digital, el plano obtenido fue el que se muestra en la Figura 3.2.

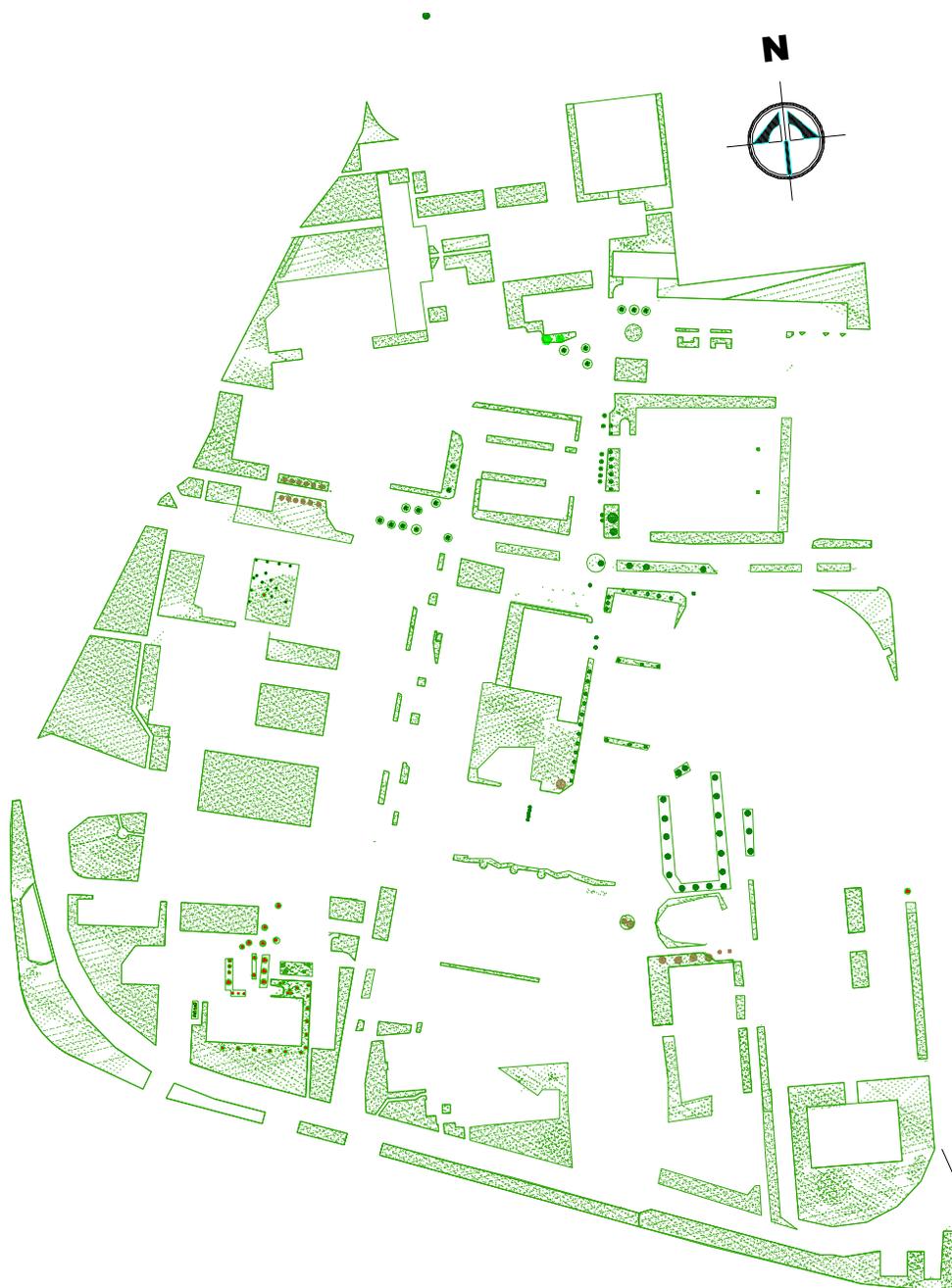


Figura 3. 2. Áreas verdes de la ZUP.

La jardinería actual de la ZUP de la UASLP consiste principalmente en vegetación no endémica, siendo la más utilizada el pasto. Por tanto, es lógico pensar que el consumo de agua de las áreas verdes de la ZUP es elevado. Para reducir el consumo es necesario utilizar vegetación autóctona de la región o bien emplear plantas de bajo consumo hídrico y que estén adaptadas a las condiciones climáticas de la ciudad de San Luis Potosí (precipitación, temperatura, humedad, etc.).



Después de analizar la vegetación utilizada en la xerojardinería, se proponen las siguientes plantas. Éstas tienen la característica en común de que todas se pueden encontrar en México en lugares desérticos o semidesérticos.

En la Tabla 3.8 se describen las características principales de cada una de las plantas para lo cual se utilizaron los siguientes campos y valores:

**Planta.** Se indica el nombre científico

**Tipo.** Tipo de planta a la que pertenece debido a sus características, pueden ser:

Árbol: son plantas leñosas que tienen un tronco visible con ramificaciones por arriba de este, su altura es >3metros.

Arbusto: son plantas leñosas con ramificaciones muy cercanos a la base, su altura es <3 metros.

Enredaderas: Son plantas leñosas que se apoyan y sostienen en estructuras que las soportan.

Cubre suelos: son plantas que forman una cobertura vegetal en el suelo que puede llegar a medir hasta 70cm de altura.

Cactáceas, Agaváceas y suculentas: plantas que tienen como principal característica la de almacenar agua en sus tejidos para utilizarla en la época de sequías.

**Agua.** Necesidades de riego, las cuales se clasificaran en:

Moderado: riego esporádico, no intenso, aproximadamente una vez cada 4-7 días,

Bajo: cuando la planta puede desarrollarse en un suelo que permanece seco durante varios días, riego cada 10-14 días.

Muy bajo: riego cada 2-3 semanas, permitiendo que la planta se desarrolle en suelos que permanecen secos varios días.

Nulo: la planta puede desarrollarse con la precipitación de la zona, requiriéndose riego moderado a intenso, el primer año que se siembra la planta.

**Crecimiento.** Es el tiempo que tarda la planta en alcanzar su madurez para lo cual se considera lo siguiente:

Rápido: para árboles, palmas, arbustos y cactáceas, un tiempo de crecimiento menor a 3 años, para enredaderas y cubre suelos: menos de 1 año

Medio: para árboles, palmas, arbustos y cactáceas, un tiempo de crecimiento entre 3-5 años, para enredaderas y cubre suelos: de 1-2 años

Lento: para árboles, palmas, arbustos y cactáceas, más de 5 años, para enredaderas y cubre suelos: más de 2 años.



Tabla 3. 8. Características de la vegetación de bajo consumo de agua y crecimiento de lento a moderado, propuesta para el cambio de jardinería en la ZUP.

Tipo	Necesidades de agua	Especies	Crecimiento	Color
Arbusto	Baja	<i>Acacia Constricta</i> , <i>Acacia greggii</i> , <i>Anisacanthus quadrifidus</i> , <i>Caesalpinia mexicana</i> , <i>Calliandra eriophylla</i> , <i>Cordia parvifolia</i> , <i>Guaiacum coulteri</i> , <i>Hyptis emoryi</i> , <i>Justicia californica</i> , <i>Ruellia peninsularis</i> y <i>Vauquelinia californica</i> .	Mínimo 3 años hasta más de 5 años	■
Árbol	Baja	<i>Parkinsonia florida</i> , <i>Parkinsonia microphylla</i> , <i>Chilopsis linearis</i> , <i>Dodonaea viscosa</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Prosopis juliflora</i> , <i>Prosopis pubescens</i> , <i>Prunus cerasifera</i> , <i>Quercus virginiana</i> , <i>Sophora secundiflora</i> y <i>Tecoma stans</i>	Mínimo 3 años hasta más de 5 años	
Cactáceas	Baja	<i>Agave americana</i> , <i>Agave palmeri</i> , <i>Dasyllirion miquihuanensis</i> , <i>Pedilanthus macrocarpus</i> , <i>Yucca elata</i> y <i>Yucca glauca</i>	Mínimo 3 años hasta más de 5 años	
Cubresuelos	Baja	<i>Euphorbia milii</i> , <i>Melampodium leucanthum</i> y <i>Setcreasea pallida</i>	Al menos 1 año hasta más de 2 años	
Arbusto	Baja	<i>Atriplex canescens</i> , <i>Baccharis sarothroides</i> , <i>Bougainvillea "La Joya"</i> , <i>Caesalpinia pulcherrima</i> , <i>Caesalpinia gilliesii</i> , <i>Dalea pulchra</i> y <i>Leucophyllum frutescens</i>	Máximo 5 años	■
Árbol	Baja	<i>Juniperus deppeana</i> y <i>Prosopis velutina</i>	Máximo 5 años	
Cactáceas	Baja	<i>Agave geminiflora</i> y <i>Nolina microcarpa</i>	Mínimo 5 años	
Cubresuelos	Baja	<i>Baileya multiradiata</i> , <i>Sphaeralcea ambigua</i> , <i>Thymophylla pentacaeta</i> y <i>Zinnia grandiflora</i>	Máximo 2 años	■
Arbusto	Moderado	<i>Calliandra californica</i> , <i>Justicia spicigera</i> y <i>Tagetes lemmonii</i>	Máximo 5 años	
Árbol	Moderado	<i>Cercis canadensis</i> , <i>Cupressus arizonica</i> , <i>Fraxinus velutina</i> , <i>Washingtonia filifera</i> y <i>Washingtonia robusta</i>	Máximo 5 años	
Cubresuelos	Moderado	<i>Gomphrena globosa</i> , <i>Lantana montevidensis</i> , <i>Ruellia brittoniana</i> , <i>Salvia leucantha</i> y <i>Salvia farinacea</i> ,	Máximo 2 años	



Todas estas plantas tienen en común lo siguiente:

- Bajo consumo de agua
- Crecimiento de lento a rápido
- Se pueden encontrar en México
- Se encuentran en zonas con clima similar al de la ciudad de San Luis Potosí

Se proponen para la primera etapa vegetación con tasa de crecimiento lento, para alcanzar su desarrollo completo se necesita un período de 1-2 años para los arbustos y no menos de 3 años para los árboles. Para el momento en que la segunda etapa del cambio de la jardinería de inicio, ya habrá xerojardinería establecida.

Para calcular el consumo de agua de este tipo de vegetación es necesario estimar el área que ocupará, se propone el cambio de las áreas que se muestran en la figura 3.3.

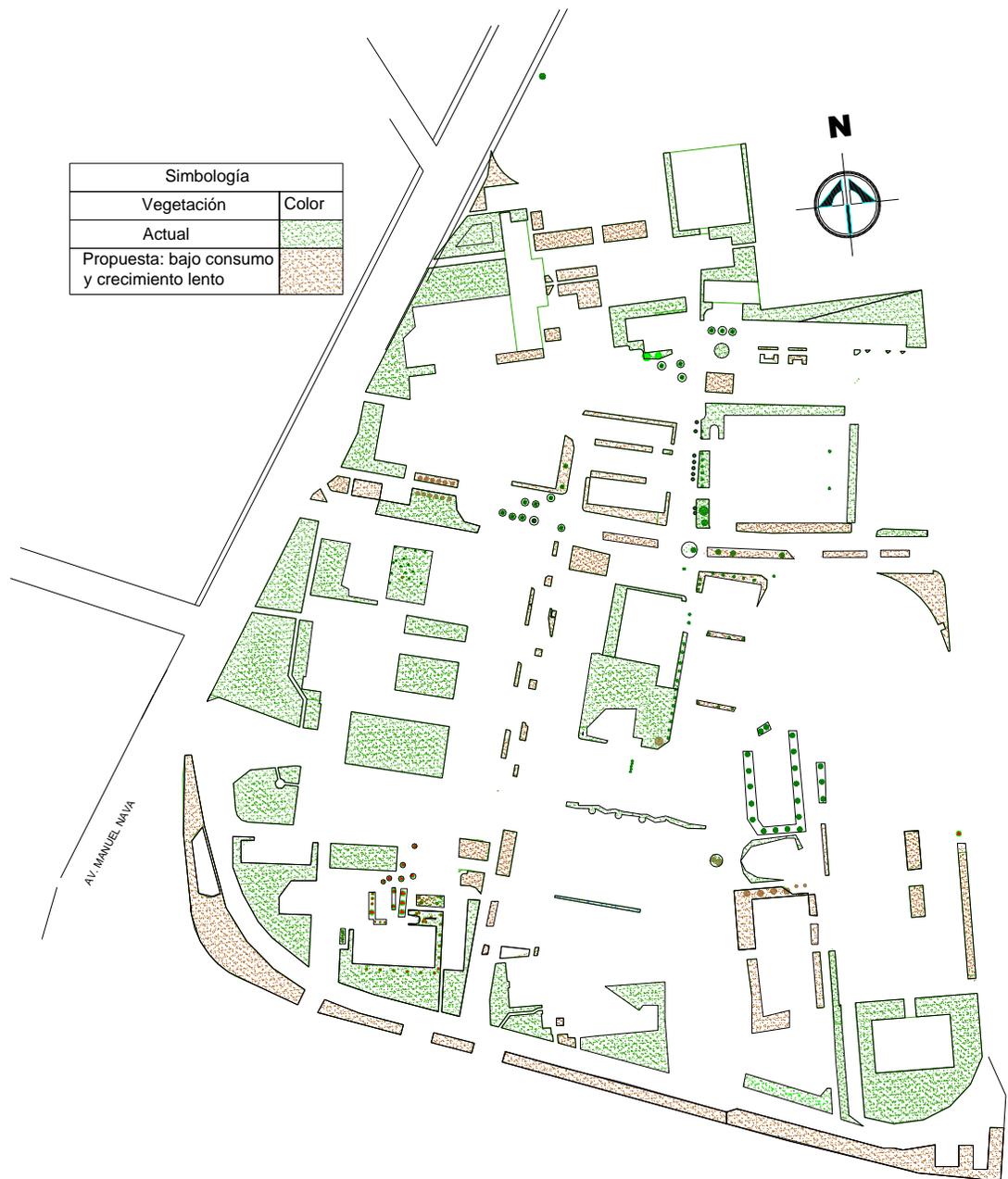


Figura 3. 3. Propuesta de áreas verdes a modificar en una primera etapa de cambio de jardinería en la ZUP de la UASLP.

El consumo de agua generado por esta vegetación será:



Actualmente, el área propuesta para la modificación es de 9,791 m<sup>2</sup>, el consumo actual de esta área es de:

$$9,791 \text{ m}^2 \times 5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{día} = 48,955 \text{ L/día o bien } 49 \text{ m}^3/\text{día}$$

El consumo de la nueva jardinería será bajo, es decir, las plantas seleccionadas requieren riego cada 10-14 días un promedio de 12 días. El riego será 12 veces menos que el riego requerido por la jardinería actual por tanto, se requerirán de 0.42 L/m<sup>2</sup>.día para el riego de estas áreas. Para un total de:

$$9,791 \text{ m}^2 \times 0.42 \text{ L/m}^2 \cdot \text{día} = 4,112.2 \text{ L/día o bien } 4.11 \text{ m}^3/\text{día}$$

El resto de la jardinería que en el caso se mantendrá igual, consumirá:

$$18,829 \times 5 \text{ L/m}^2 \cdot \text{día} = 94,145 \text{ L/día o bien } 94.2 \text{ m}^3/\text{día}$$

En total el consumo de agua de las áreas verdes con la jardinería en la primera etapa consumirá 98.3 m<sup>3</sup>/día, que representa un 32% menos que el consumo actual.

Una segunda etapa consistiría en disminuir el resto de las áreas verdes poco a poco, para ir desapareciendo la jardinería que existe actualmente. En la figura 3.4 y 3.5 se muestran dos propuestas. En la figura 4, la propuesta A, consiste en modificar 11,194 m<sup>2</sup> del resto de la jardinería actual por xerojardinería. Al final de esta etapa se habrían modificado 20,985 m<sup>2</sup> de toda la superficie ocupada por la jardinería actual, es decir un 73.3% del área ocupada por esta.

Para esta etapa se proponen poca variedad de arboles y cactáceas y una mayor variedad de especies de arbustos y cubresuelos de crecimiento rápido. La propuesta A puede mostrar un cambio no tan gradual al que se propone, por lo tanto se presenta una segunda opción (Propuesta B) para realizar el cambio de la jardinería con las mismas especies por lo que, en la figura 3.5 se plantea reducir el área de jardinería propuesta a 9,130.5 m<sup>2</sup>, de esta manera, la sustitución será más gradual ya que la superficie de la nueva jardinería será de 18,921 m<sup>2</sup>, que representa el 66.1% de la espacio total ocupado por las áreas verdes de la ZUP.

Se propone que en esta segunda opción se utilicen también las mismas especies de arbustos y cubresuelos principalmente. Las especies de cubresuelos sustituirían al pasto en aquellos lugares donde actualmente cubre una gran superficie, mientras que una combinación de arboles o cactáceas y arbustos o cubresuelos en áreas de menor superficie.

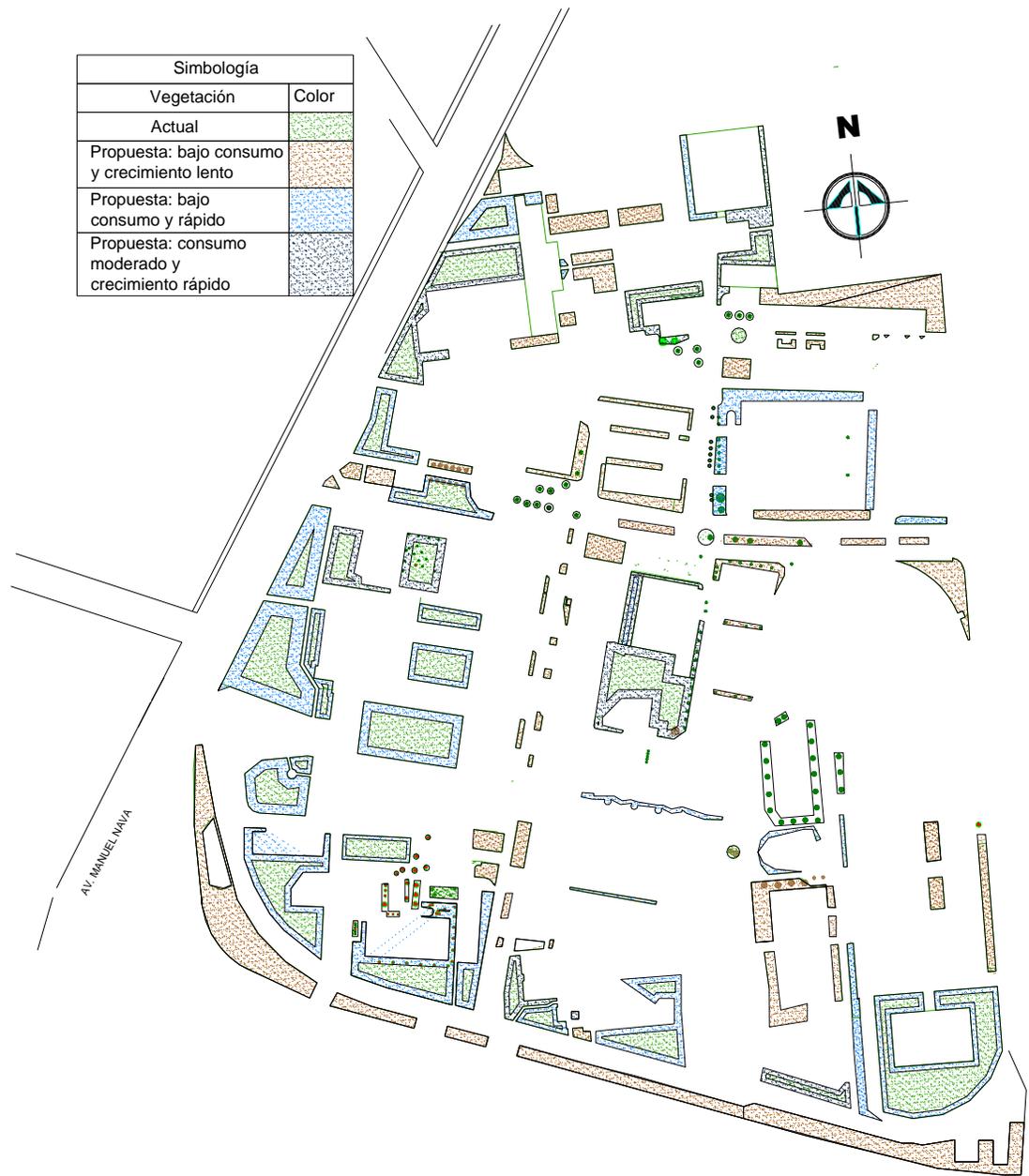


Figura 3. 4. Propuesta A para el cambio parcial de jardinería dentro de la ZUP de la UASLP

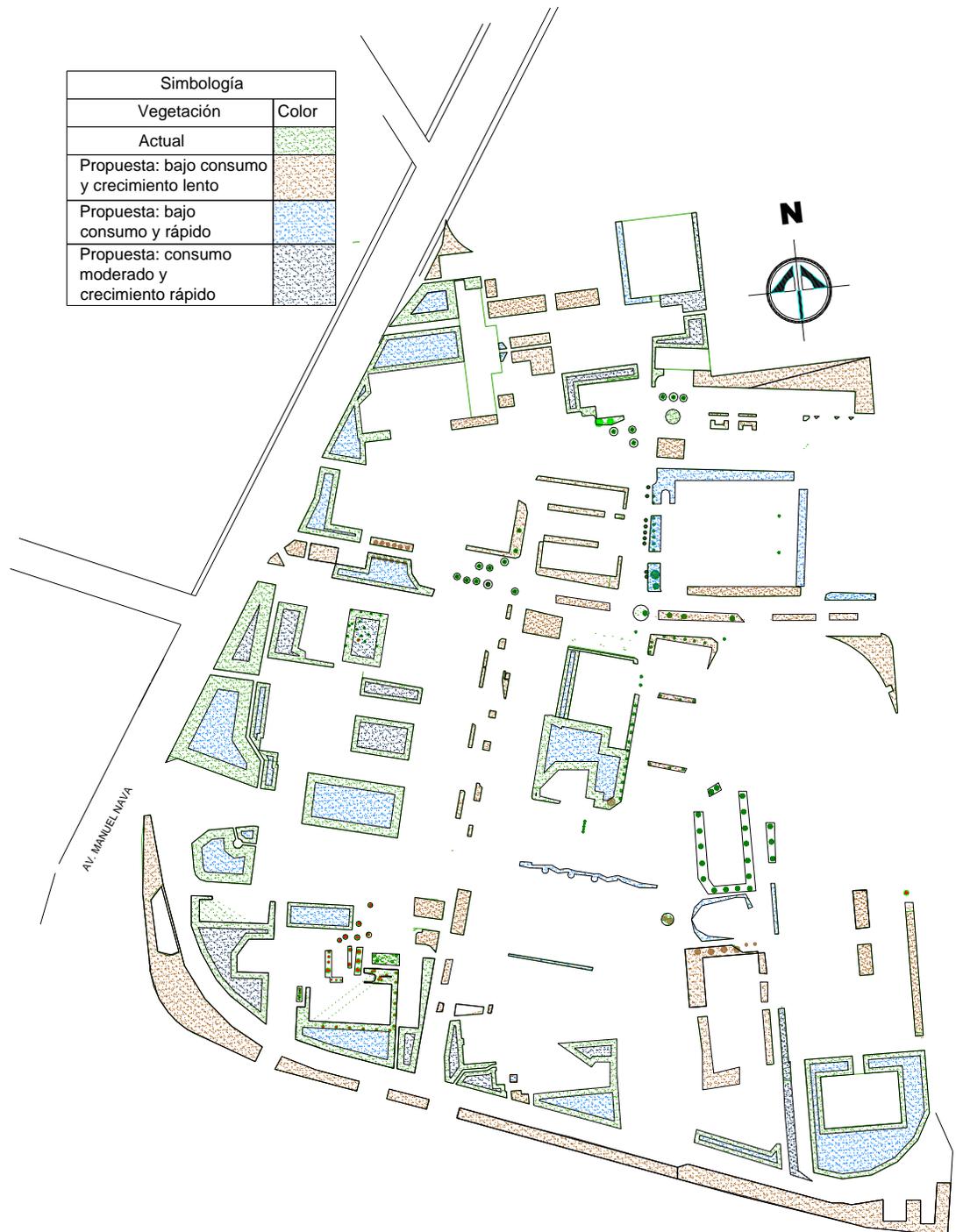


Figura 3. 5. Propuesta B para el cambio parcial de jardinería dentro de la ZUP de la UASLP

En el plano se muestran en verde la jardinería actual y en tonos café, azul oscuro y azul claro la jardinería propuesta, estos últimos corresponden a diferentes especies con diferentes necesidades



de agua y tasa de crecimiento, los datos de las características de estas plantas se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3. 9. Áreas ocupadas por la jardinería propuesta y consumo de la jardinería actual

Propuesta	Área ocupada (m <sup>2</sup> ) por la jardinería con necesidades de agua:			Consumo de agua por jardinería actual (L/m <sup>2</sup> .día)	Consumo actual de las áreas propuestas (m <sup>3</sup> /día)
	Baja	Moderada	Total		
A	8,184.1	3,010.2	11,194.3	5	56
B	6,782.6	2,347.9	9,130.5	5	46

En estos casos el consumo de agua para ambas propuestas será:

Para la propuesta A, el consumo de la superficie ocupada por la jardinería de bajo consumo de agua será 12 veces menos que el de la jardinería actual, entonces se requerirán de:

$$0.42 \text{ L/m}^2.\text{día} \times 8,184.1 \text{ m}^2 = 3,437 \text{ L/día} \text{ (3.44 m}^3\text{/día)}$$

En el caso de la jardinería con consumo moderado de agua, se requerirá riego cada 4-7 días es decir cada 5.5 días en promedio, por tanto el consumo de agua será de:

$$0.91 \text{ L/m}^2.\text{día} \times 3,010.2 \text{ m}^2 = 2,739 \text{ L/día} \text{ (2.74 m}^3\text{/día)}$$

En total los 11,194m<sup>2</sup> de la nueva jardinería propuesta consumirán un total de 6,176 L/día (6.2 m<sup>3</sup>/día)

Para la propuesta A, la jardinería de la ZUP consumirá:

Tabla 3. 10. Consumo total de la jardinería en la segunda etapa, propuesta A.

Etapas	Área modificada (m <sup>2</sup> )	Consumo de agua	Consumo de agua (L/día.m <sup>2</sup> )	Consumo total (m <sup>3</sup> /día)
Primera	9,791.0	Bajo	0.42	4.11
Segunda	8,184.1	Bajo	0.42	3.44
	3,010.2	Moderado	0.91	2.74
Actual	7,635.0	Actual	5	38.18
<b>Total</b>	<b>28,620.3</b>	-	-	<b>48.47</b>

En esta etapa y para la propuesta A el consumo de la jardinería será un 66% menor al consumo actual.

Para la propuesta B se propuso un área menor de ambos tipos de jardinería, el consumo de estas será:

$$0.42 \text{ L/m}^2.\text{día} \times 6,783 \text{ m}^2 = 2,849 \text{ L/día} \text{ (2.85 m}^3\text{/día)}$$

En cuanto a la jardinería con consumo moderado:

$$0.91 \text{ L/m}^2.\text{día} \times 2,348 \text{ m}^2 = 2,137 \text{ L/día} \text{ (2.14 m}^3\text{/día)}$$



El total de consumo de agua por la jardinería de la propuesta B será de 4,986 L/día (5.00 m<sup>3</sup>/día)

Tabla 3. 11. Consumo total de la jardinería en la segunda etapa, propuesta B.

Etapa	Área modificada (m <sup>2</sup> )	Consumo de agua	Consumo de agua (L/día.m <sup>2</sup> )	Consumo total (m <sup>3</sup> /día)
Primera	9,791.0	Bajo	0.42	4.11
Segunda	6,782.6	Bajo	0.42	2.85
	2,347.9	Moderado	0.91	2.14
Actual	9,698.8	Actual	5	48.50
<b>Total</b>	<b>28,620.3</b>	-	-	<b>57.60</b>

En esta etapa y para la propuesta B el consumo de la jardinería será un 60% menor al consumo actual.

### 3.2.2 Propuesta de cambio de total de jardinería en la ZUP

Para el cambio de la jardinería en la tercera etapa se proponen también 2 opciones, derivados de las dos propuestas de la segunda etapa, la figura 3.6 y 3.7 muestran los jardines de la ZUP con la jardinería totalmente sustituida por xerojardinería.

En la figura 3.6 se muestra las áreas verdes de los jardines de la ZUP totalmente sustituidos por xerojardinería, esta propuesta de la tercera etapa deriva de la propuesta A de la segunda etapa. En esta se propone que el resto de la jardinería actual sea totalmente sustituida por la vegetación propuesta, en la segunda etapa.

En esta opción se observan las nuevas áreas verdes que para el caso de la propuesta A se proponen de la siguiente manera:

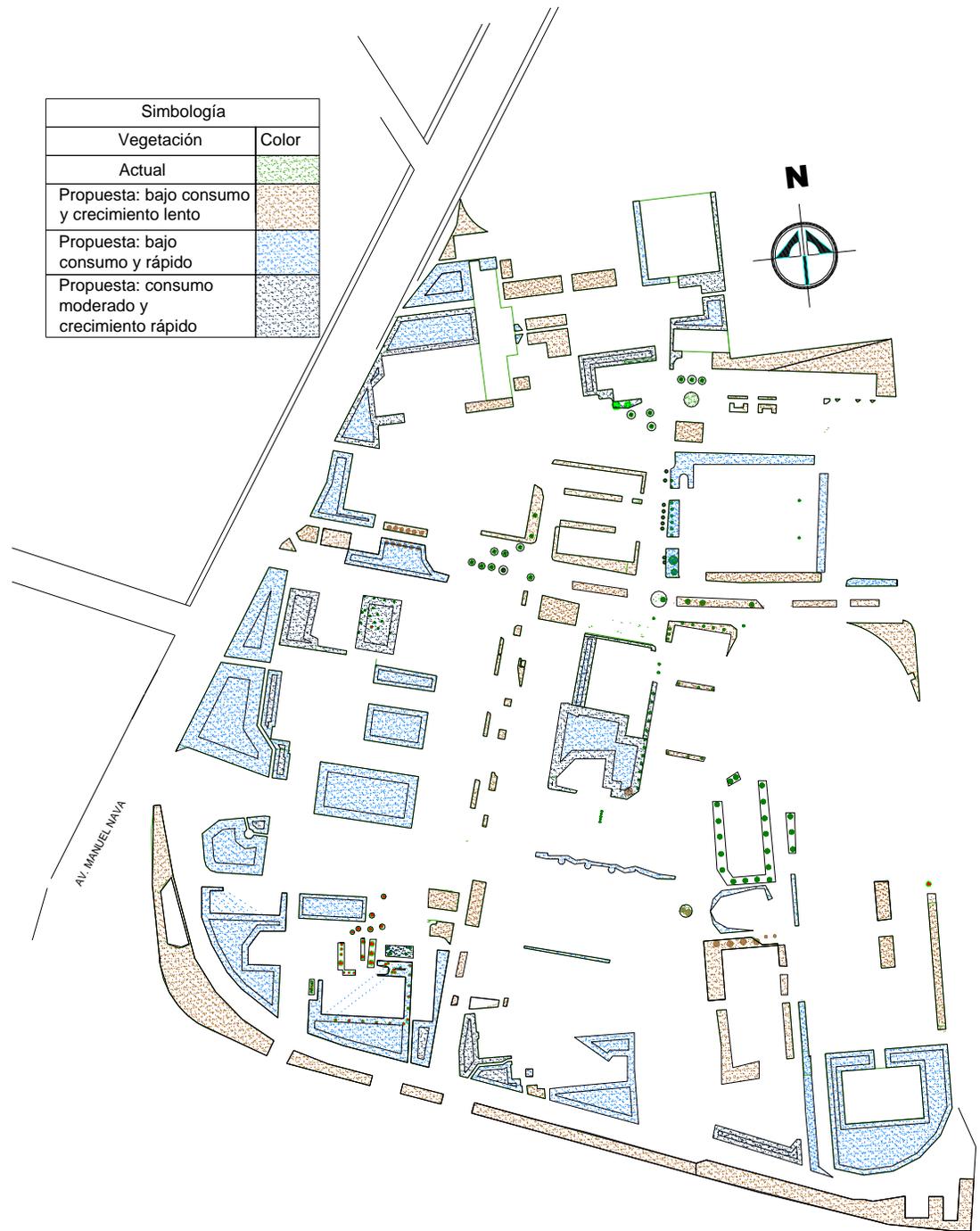


Figura 3. 6. Propuesta A del cambio total de la jardinería en la ZUP



Tabla 3. 12. Características generales de la vegetación propuesta para el cambio de la jardinería actual en la ZUP, propuesta A.

Consumo	Crecimiento	Área ocupada (m <sup>2</sup> )	Color
Bajo	Lento a medio	9,791	
Bajo	Medio a rápido	14,588.9	
Moderado	Medio a rápido	3,3958.1	
-	-	<b>28,338</b>	

El consumo de agua total de las áreas ocupadas por la nueva jardinería será:

$9,791 + 14,588.6 = 24,379.6$  m<sup>2</sup> de jardinería de bajo consumo de agua, es decir 0.41 L/m<sup>2</sup>.día,

3,958.1 m<sup>2</sup> de jardinería con necesidades moderadas de agua, es decir 0.91 L/m<sup>2</sup>.día

El consumo total de estas áreas será:

$(24,379.6 \text{ m}^2 \times 0.41 \text{ L/m}^2.\text{día}) + (3,958.1 \text{ m}^2 \times 0.91 \text{ L/m}^2.\text{día}) = 13,597.5 \text{ L/día}$  (13.6 m<sup>3</sup>/día)

En comparación a la jardinería actual, el consumo de agua de los jardines propuestos para la ZUP en la propuesta A, será un 90% menor.

En la figura 3.7 se muestra las áreas verdes de los jardines de la ZUP totalmente sustituidos por xerojardinería, esta propuesta de la tercera etapa deriva de la propuesta B de la segunda etapa. En esta al igual que en la propuesta A, se propone la sustitución del resto de la jardinería por las especies propuestas en la segunda etapa.

En esta opción se observan las nuevas áreas verdes que para el caso de la propuesta B se tendrá de la siguiente manera:

Tabla 3. 13. Características generales de la vegetación propuesta para el cambio de la jardinería actual en la ZUP, propuesta B.

Consumo	Crecimiento	Área ocupada (m <sup>2</sup> )	Color
Bajo	Lento a medio	9,791	
Bajo	Medio a rápido	14,135.6	
Moderado	Medio a rápido	4,229.5	
Total	--	28,156.1	--

El consumo de agua total por riego de las nuevas áreas ocupadas por la nueva jardinería será:

$9,791 + 14,135.6 = 23,926.6$  m<sup>2</sup> de jardinería de bajo consumo de agua, es decir 0.41 L/m<sup>2</sup>.día Y 4,229.5 m<sup>2</sup> de jardinería con necesidades moderadas de agua, es decir 0.91 L/m<sup>2</sup>.día

El consumo total de estas áreas será:

$(23,926.6 \text{ m}^2 \times 0.41 \text{ L/m}^2.\text{día}) + (4,229.5 \text{ m}^2 \times 0.91 \text{ L/m}^2.\text{día}) = 13,658.8 \text{ L/día}$  (13.7 m<sup>3</sup>/día)

En este caso la jardinería consumirá al igual que en la propuesta A, 90% menos agua.

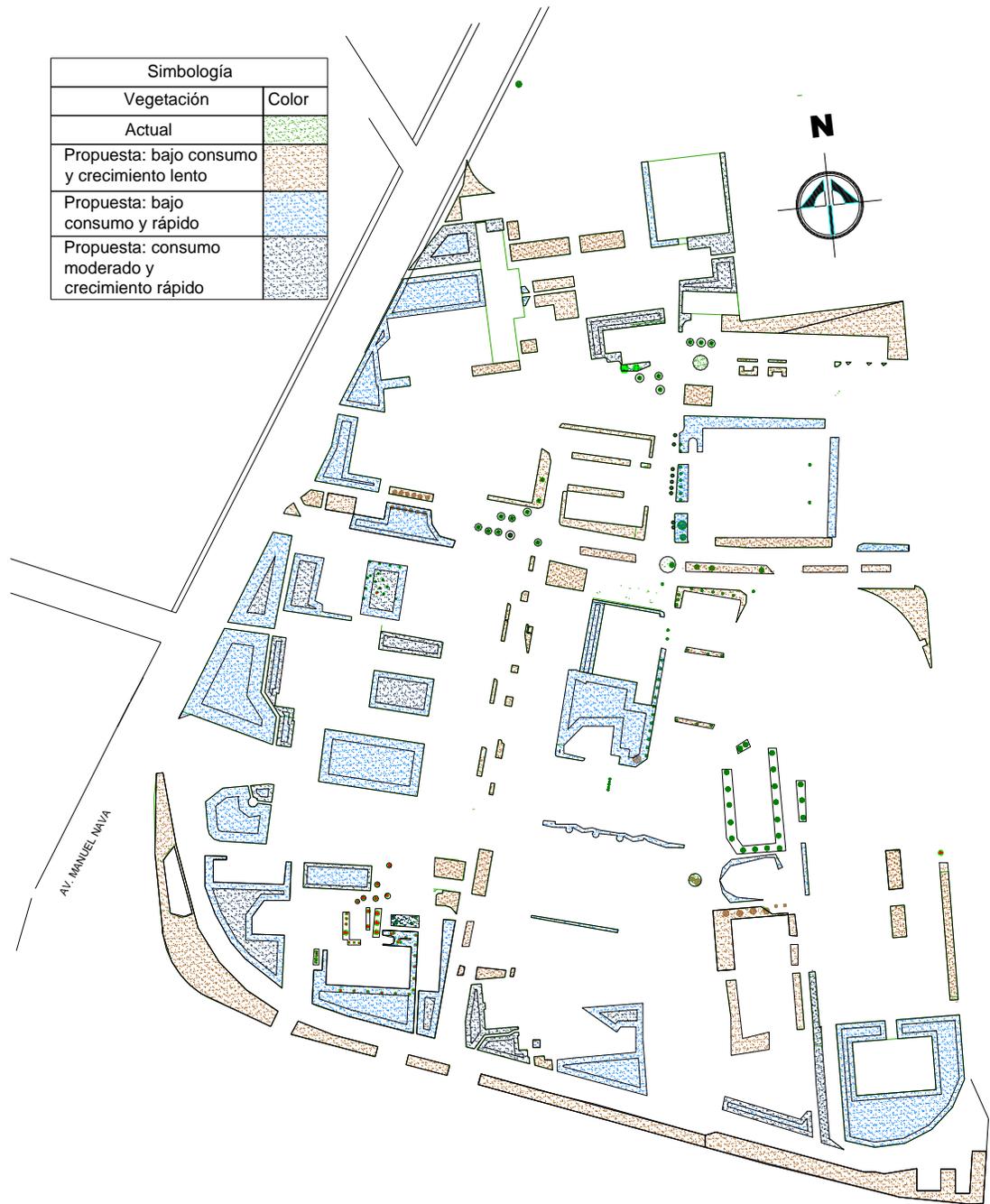


Figura 3. 7. Propuesta B del cambio total de la jardinería en la ZUP



### 3.2.3 Ahorro de agua estimado con cambio de la jardinería

De acuerdo a las propuestas mostradas durante el análisis de la jardinería, se estima que se obtendrá un ahorro de un 90% en el consumo de agua para riego de los jardines de la ZUP, si se sustituyen las áreas verdes como se proponen en esta tesis. La figura 3.8 muestra el ahorro que se puede obtener en el cambio gradual de los jardines de la ZUP.

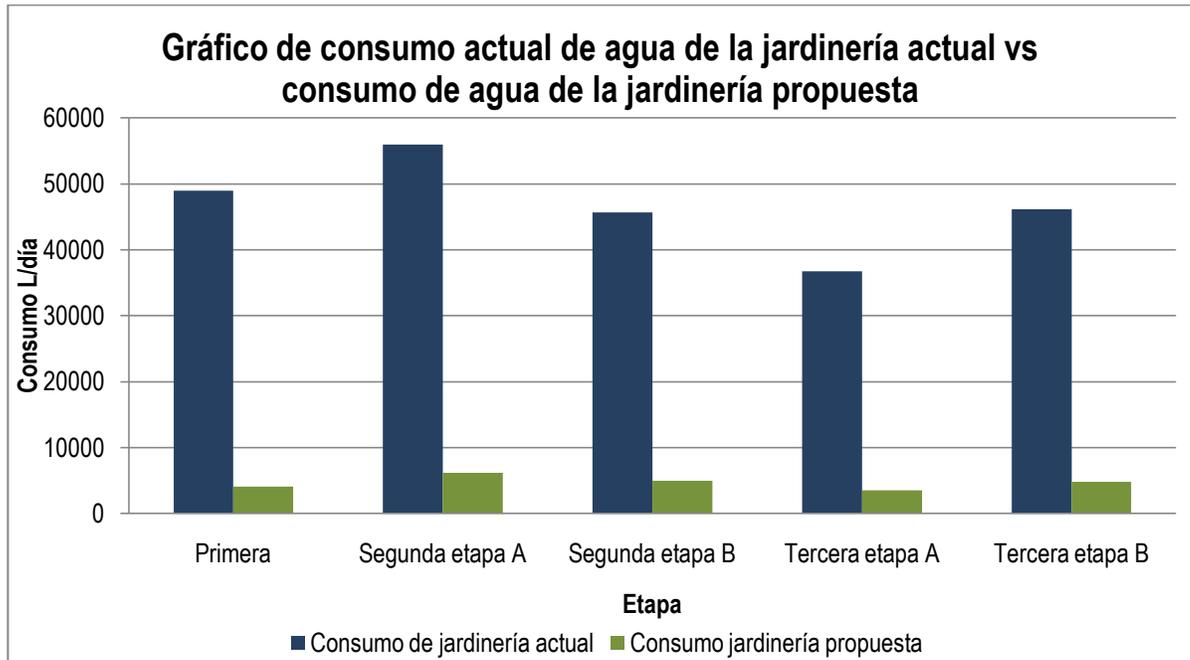


Figura 3. 8. Gráfico de consumo actual de agua de la jardinería actual vs consumo de agua de la jardinería propuesta.

En la figura se muestra en las columnas de color azul oscuro, el consumo de agua que genera la jardinería actual, en las columnas verdes se muestra el consumo que tendrá la jardinería propuesta, este consumo es de las áreas que se sustituirán en la primera, segunda y tercera etapa.

El consumo total de la jardinería actual es de 143, 010 L/día (143.0 m<sup>3</sup>/día) o bien 1.65L/s. Con la jardinería propuesta se estima que el consumo de la jardinería se reducirá un 90%, por lo tanto el consumo de las áreas verdes será de 13,800 L/día (13.8 m<sup>3</sup>/día) es decir 0.2 L/s

### 3.2.4 Discusión de resultados de cambio de jardinería propuesta para la ZUP

De acuerdo a un estudio hecho en Nevada, donde se estudió el consumo ahorro de agua en los jardines de casas habitación con jardinería basada en pasto contra jardines basados en xerojardinería. El estudio incluía 499 casas habitación que cambiaron su jardín basados en pasto a jardines basados de vegetación adaptada a clima desértico. El resultado del estudio demostró que aquellos que cambiaron la totalidad de sus jardines, lograron obtener un ahorro de hasta el 82% en el



consumo de agua, comparando el consumo generado en verano contra el generado en invierno. El ahorro en el consumo anual que se obtuvo en las casas con xerojardín fue de 37% en el consumo de agua para el riego de los jardines. (Sovocool y Rosales, 2001).

Nelson (1987) reportó en un estudio realizado en California, ahorros del 49% en el riego de los jardines de casas habitación. Además reportó que en el estado de Florida el uso de xerojardinería produjo ahorros de hasta el 27% en el agua para riego de jardines.

### 3.3 Cantidad de agua de lluvia captada aprovechable en la ZUP

#### 3.3.1 Volumen de agua de lluvia captada en techos y tratamiento necesario para su utilización

Dentro de la ZUP existe un observatorio meteorológico, el observatorio proporcionó los datos de precipitación. Los datos obtenidos corresponden al período 2004-2006, el promedio de los datos se grafico para obtener la figura 3.9:

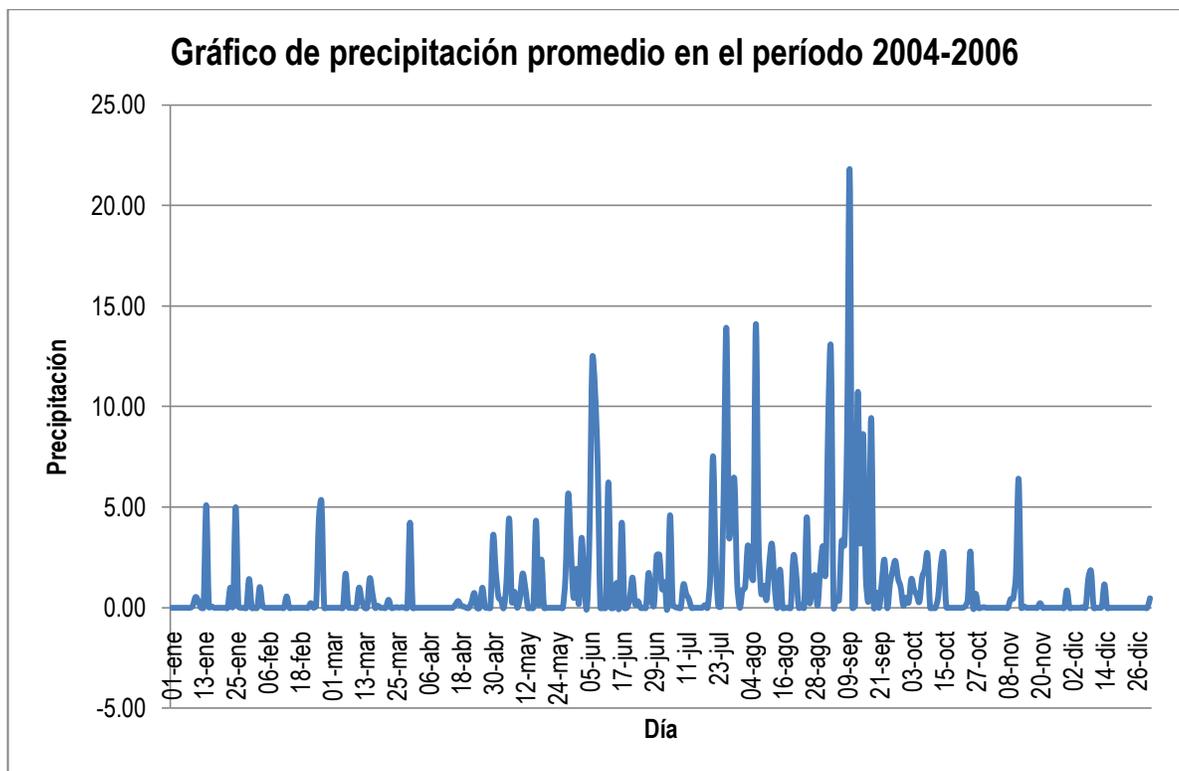


Figura 3. 9. Grafico de precipitación promedio por día en el período 2004-2006 dentro de la ZUP



Se observa que gran cantidad de la precipitación ocurre entre los meses de junio a septiembre. Se estimó el volumen de agua de lluvia a captar en los techos de los edificios de la ZUP, tomando en cuenta lo siguiente:

- Área de captación 48,946.4 m<sup>2</sup>
- Coeficiente de escurrimiento 0.9
- Precipitación de cada día

Para los datos anteriores se obtuvo que es posible captar 16,750 m<sup>3</sup>/año de agua de lluvia, esto representa el 8% del volumen total actual utilizado en los servicios dentro de la ZUP. Representa el 20% del volumen total anual que se utiliza en el riego de las áreas verdes. Para la captación de este volumen es necesaria una capacidad de almacenamiento de 2,160 m<sup>3</sup>. En la figura 3.10 se representa el volumen almacenado extraído y el volumen total acumulado a lo largo del año.

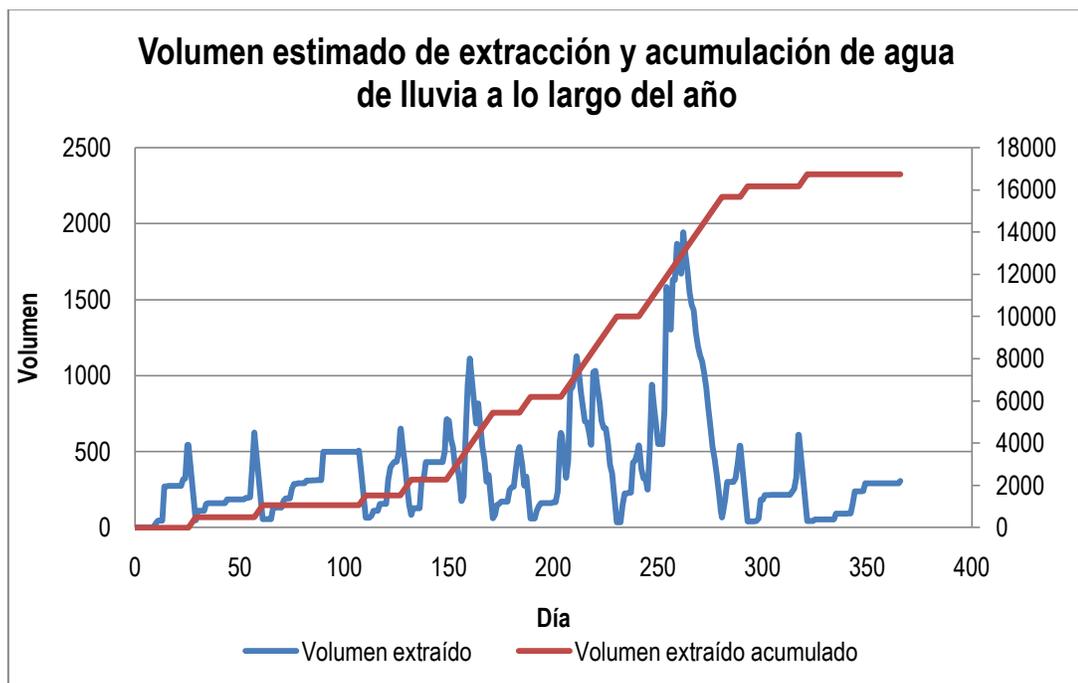


Figura 3. 10. Gráfico del volumen de estimado de extracción y acumulación de agua de lluvia a lo largo del año

Con los datos la capacidad de almacenamiento necesaria se propuso un volumen mínimo a mantener dentro del tanque de 100 m<sup>3</sup>, un volumen de arranque de 300 m<sup>3</sup> y un volumen de paro del sistema de 100 m<sup>3</sup>. Con estos datos se modeló el sistema de bombeo del agua de lluvia para determinar los días que estará en funcionamiento la bomba. La figura 3.11 y 3.12 muestran los días de



funcionamiento de la bomba y el porcentaje de tiempo que trabajará durante los diferentes meses del año.

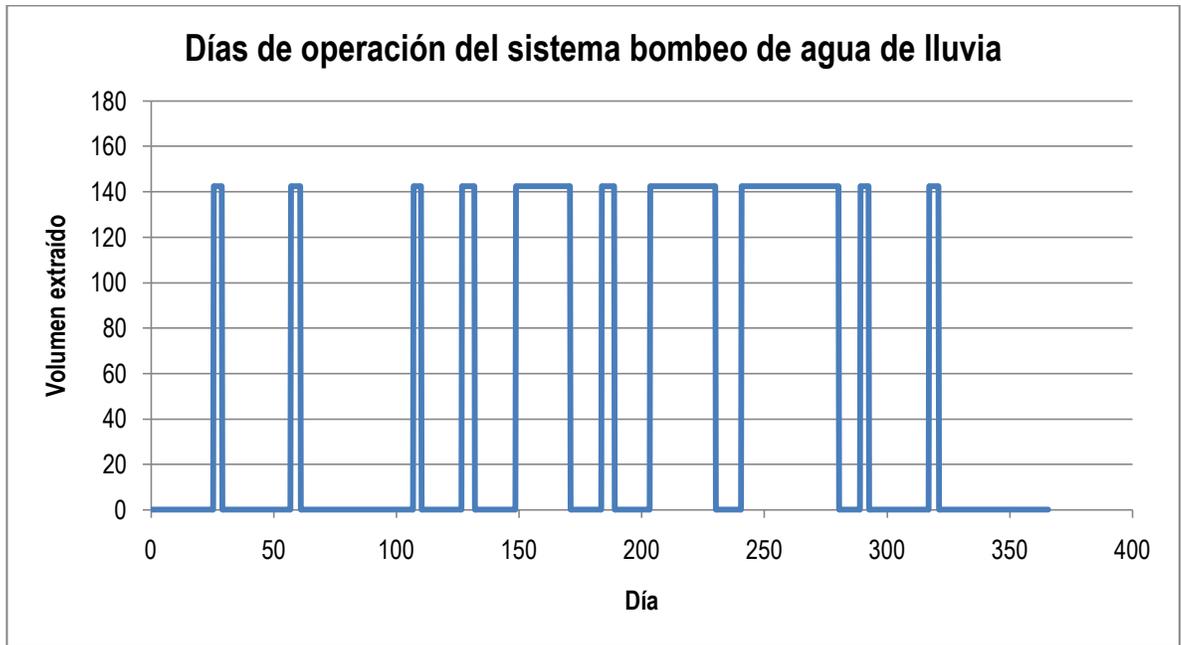


Figura 3. 11. Gráfico operación del sistema de bombeo de agua de lluvia



Figura 3. 12. Gráfico de la distribución de los días de operación del sistema de bombeo durante el año



Se estimo que el tanque (s) de almacenamiento de agua de lluvia operará (n) durante 124 días a lo largo del año, los días de operación están distribuidos en los diferentes meses del año, siendo septiembre el mes con mas días de operación con un 30 días (24%) y diciembre el mes con menos días de operación con 0 días.

### **3.3.2 Dimensionamiento del tanque (s) de almacenamiento de agua de lluvia**

Al estimar la capacidad de almacenamiento del tanque de agua de lluvia, se analizaron diferentes escenarios para el cálculo del volumen aprovechable de agua captada en los techos de los edificios. Se obtuvo que a mayor área de captación, mayor volumen aprovechable de agua de lluvia, pero necesidades de gran capacidad de almacenamiento, por lo tanto, costos de construcción elevados, el tiempo de operación será solo en época de lluvias, entonces, es impráctico invertir demasiado en tener una capacidad de almacenamiento elevada, ya que solo será útil pocos meses al año.

Se optó por una capacidad de de almacenamiento  $2,160 \text{ m}^3$  ya sea en uno o varios tanques dentro de la ZUP. Este volumen de almacenamiento permitirá la captación y aprovechamiento de  $16,750 \text{ m}^3/\text{año}$  de agua de lluvia.

Para la captación del agua de lluvia dentro de la ZUP es necesario el uso de 3 tanques de captación, con una capacidad de  $720 \text{ m}^3$  cada uno, para que los tanques tengan esta capacidad de almacenamiento, deben tener: 12m tanto de ancho como de largo y 5 metros de profundidad. Con estos 3 tanques de almacenamiento se alcanzará a cubrir la capacidad necesaria de  $2,160 \text{ m}^3$ .

### **3.3.3 Posible ubicación del (os) tanque (s) de almacenamiento de agua de lluvia**

La ubicación de los tanques depende de la topografía de la universidad, por lo que será necesario ubicar los tanques en las partes más bajas de la ZUP.

La posible ubicación de los tanques dentro de la ZUP se muestra en la figura 3.13:



Figura 3. 13. Propuesta de ubicación de los tanques de almacenamiento de agua de lluvia para la ZUP de la UASLP.



### 3.3.4 Usos finales del agua de lluvia

De acuerdo a la bibliografía consultada, en la mayoría de los estudios o informes realizados, el agua de lluvia es destinada a usos no potables como:

- Uso en baños como agua de descarga
- Como agua para limpieza
- En cafeterías o lavado de manos en los baños
- En el riego de áreas verdes
- Lavado de autos
- Uso como agua potable después del tratamiento adecuado
- Uso como agua para combatir incendios
- Agua para el llenado de piscina

Fuentes: Lara *et al.* (2007), City of Albuquerque (1995), Adler *et al.* (2008), Waterfall (2004), TWDB(2005), Hatt *et al.* (2004), Miller (2002), Thomas y Martinson (2007) y Abdulal *et al.* (2006).

Para que el agua llegue a estos usos es necesario que cumpla con ciertas especificaciones, si bien, no existe una normatividad que regule el uso de agua de lluvia en las diferentes actividades, si existen normas que se adaptan a la actividad destinada para el agua de lluvia. Pero primero es necesario definir el uso final del agua de lluvia. De acuerdo a las necesidades de la ZUP el agua de lluvia que se estima se puede captar puede ser utilizada para:

- Arrastre de excretas en baños
- Riego de áreas verdes
- Agua de limpieza para las áreas de la universidad
- Lavado de manos en cafeterías o en baños

Para hacer uso del agua de lluvia en las tres primeras propuestas, es necesario cumplir con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994, que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Se espera que en el agua de lluvia captada dentro de la ZUP solo existan los siguientes contaminantes:

- Color
- Olor
- Sabor
- Turbiedad
- Organismos patógenos

De acuerdo a la sección 5 de la norma en las subsecciones 5.1 y 5.2 se propone el tratamiento necesario para la eliminación de estos contaminantes:

- Color, olor, sabor y turbiedad: uso de sistemas de filtración y carbón activado
- Organismos patógenos: desinfección con cloro

Entonces, el tratamiento propuesto para el agua de lluvia captada en la ZUP es:



Figura 3. 14. Tren de tratamiento propuesto para el tratamiento del agua de lluvia captada en los techos de los edificios captados en la ZUP.

### 3.3.5 Discusión de resultados sobre la captación y aprovechamiento de agua de lluvia dentro de la ZUP

De acuerdo la bibliografía consultada, por cada milímetro de lluvia precipitada se puede obtener aproximadamente 1 L/m<sup>2</sup> de superficie de edificio. (GRHG, 2009; Abdulal *et al.*, 2008; Waterfall, 2004 y City of Albuquerque, 1995). En el caso de la ZUP, en los 48,946.4 m<sup>2</sup> de techos se pueden captar un total de 17,048 m<sup>3</sup>/año. En la ciudad de San Luis Potosí precipitan 387.3 mm/año, esto quiere decir que, teóricamente, se podrá obtener 1 L de agua de lluvia/m<sup>2</sup> de edificio.

Los usos del agua varían según las necesidades y la normativa del agua al uso que se le dará, además de los recursos destinados para el sistema de tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia. Para la ZUP se especifica el uso del agua en servicios no potables o bien en el lavado de manos. Los usos sugeridos, según la bibliografía consultada, específica que los usos son variables y depende de las necesidades de agua en el lugar. En algunas zonas rurales de algunos países, el agua de lluvia es una fuente de abastecimiento de agua. En otros lugares se utiliza para complementar las necesidades de agua potable. En lugares de Estados Unidos el agua de lluvia es utilizada en zonas áridas y semiáridas para uso doméstico.

Fuentes: Lara *et al.* (2007), City of Albuquerque (1995), Adler *et al.* (2008), Waterfall (2004), TWDB(2005), Hatt *et al.* (2004), Miller (2002), Thomas y Martinson (2007), Abdulal *et al.* (2006), Miller (2002), Guevara (2007) y Phillips (2005).

No existe normativa aplicable al uso de agua de lluvia en ningún país, sin embargo, sí se desea utilizar el agua de lluvia, será necesario apegarse a las especificaciones necesarias para el uso al que esté destinada.



TWDB (2005), Hatt *et al.* (2004), NOM-127-SSA1-1994, NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1997.

### 3.4 Tratamiento de agua residual generada en la ZUP

#### 3.4.1 Características del agua residual generada en la ZUP

De acuerdo a la bibliografía consultada, en campus universitarios con cafeterías es necesario una dotación por habitante de 60 L/día (Metcalf & Eddy, 2003). El Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento recomienda valores de 25 L/día para alumnos y de 100 L/día para el personal (CONAGUA 2000). Estos valores son algo elevados por lo tanto se tomaron los datos presentados por Rueda (2004). De acuerdo a estos datos, el consumo de agua entre la población es:

- 29 L/hab.día para los estudiantes
- 50 L/hab.día para el personal docente y administrativo

Para determinar el gasto generado en la ZUP es necesario conocer la población de alumnos y personal además del factor de aporte de agua residual, según el MAPAS. De acuerdo a la oficina de acceso a la información (Expediente 138/35SA/10, oficio DDH/170/2010), la población en la ZUP es:

La población en la ZUP es de:

- 9,816 estudiantes
- 1,524 personal administrativo y docentes

Se calculó un valor ponderado de aporte de aguas residuales para la población de la ZUP, es decir:

Aporte de aguas residuales =

$$\frac{(Población\ alumnos\ Aporte\ por\ alumno) + (Población\ personal\ Aporte\ personal)}{Población\ total} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Aporte de aguas residuales= 31.8 L/hab.día

En total el gasto generado en la ZUP es de 360 m<sup>3</sup>/día (4.16L/s) + 12.24m<sup>3</sup>/día (0.14L/s), aportados por cafeterías y laboratorios. El volumen total de agua residual generado es de 373.03 m<sup>3</sup>/seg (4.34 L/s)

De acuerdo a los resultados reportados por el departamento de ingeniería civil la calidad del agua residual de la ZUP es la siguiente:



Tabla 3. 14. Características del agua residual generada en la ZUP

Parámetro	Valor
DQO (mg/L)	715.29
DBO (mg/L)	350.83
SST (mg/L)	270.83
NT (mg/L)	62.75
PT (mg/L)	9.75
G y A (mg/L)	60.24
Coliformes Totales ( $\times 10^6$ NMP/100ml)	99.75
Coliformes fecales ( $\times 10^6$ NMP/100ml)	99.02

### 3.4.2 Sistema de tratamiento seleccionado para el tratamiento del agua residual generada dentro de la ZUP

Se seleccionó un sistema de tratamiento combinado Anaerobio-Aerobio, mediante RAFA y filtro percolador, seguido de un sedimentador secundario y un tanque de contacto con cloro, para el tratamiento de las aguas residuales de la ZUP. El esquema del sistema de tratamiento será:

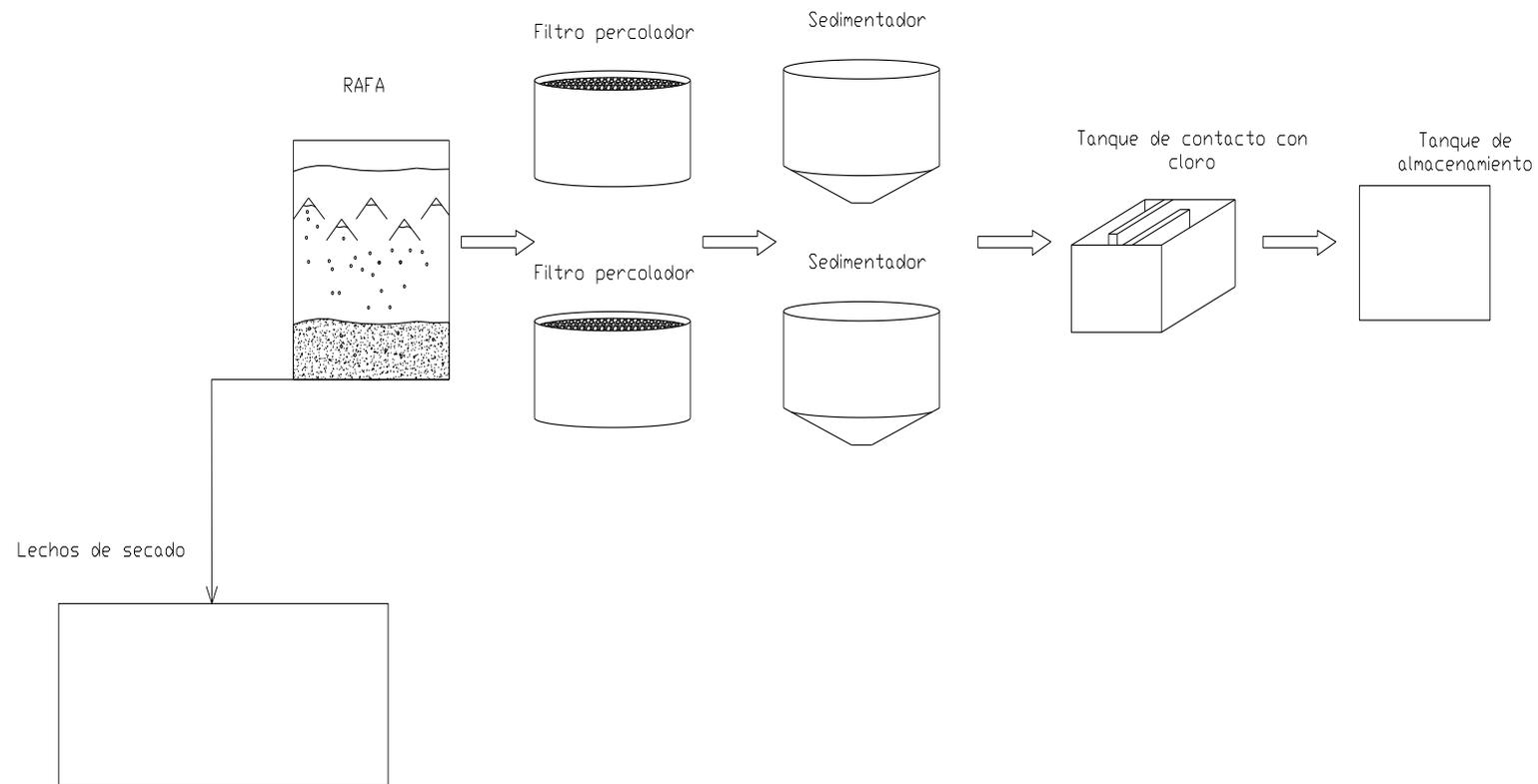


Figura 3. 15. Esquema del tren de tratamiento para el sistema de depuración de aguas residuales de la ZUP.



### 3.4.3 Diseño del sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP

Con los datos de gasto y concentración de contaminantes calculados, se diseñó el sistema de acuerdo a la bibliografía consultada, se diseñaron las unidades básicas para el sistema de tratamiento de la ZUP, se obtuvieron los siguientes datos para el RAFA:

Tabla 3. 15. Datos de diseño básico para el RAFA de la ZUP

Resultados obtenidos		
Volumen del reactor:		
Vn	133.41	m <sup>3</sup>
VL	156.96	m <sup>3</sup>
Dimensiones del reactor		
Área	31.09	m <sup>2</sup>
Diámetro (D)	6.29	m
Altura del líquido (HL)	5.05	m
Altura total (HT)	6.55	m
Tiempo de retención hidráulico ( $\tau$ )	10.10	h
Datos del efluente		
Tiempo de residencia de los lodos TRL	60.00	d
DQOs al TRL calculado	82.62	mg/L
Datos en el reactor		
Xsst en el reactor	14.26	Kg/m <sup>3</sup>

A partir de estos datos se estimó la calidad del efluente tratado, con los datos del efluente, se diseñó el filtro percolador.

La primera propuesta para filtro percolador fue el uso de filtros percoladores con empacado de plástico y de flujo cruzado, con los datos del efluente tratado del UASB se diseñó el sistema y se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 16:



Tabla 3. 16. Datos de diseño básico obtenidos mediante las ecuaciones para el diseño de filtro percolador propuesto para la ZUP con empacado de plástico.

Resumen del diseño del filtro percolador con empacado de plástico		
Parámetro	Valor	Unidades
No. De filtros	2.00	Torres
Diámetro	4.38	M
Profundidad	6.10	M
Volumen total de empacado	184.18	m <sup>3</sup>
Carga de DBO	0.36	kg/m <sup>3</sup> .día
Tasa de aplicación hidráulica	0.14	L/m <sup>2</sup> s
Tasa total de bombeo	54.35	m <sup>3</sup> /h
Tasa de recirculación	2.50	Adimensional
Brazos distribuidores	2.00	Brazos
Velocidad normal del distribuidor	3.33	min/rev
Velocidad de lavado del distribuidor	20.00	min/rev
Clarificadores	2.00	clarificadores
Profundidad del clarificador	4.20	M
Diámetro del clarificador	3.00	M

Utilizando las ecuaciones del NRC se obtuvo el diseño de 2 filtros percoladores, el resumen de los resultados obtenidos de dimensiones y características de los filtros se muestran a continuación.

Tabla 3. 17. Datos de diseño básico obtenidos mediante las ecuaciones del NRC para el diseño de filtro percolador propuesto para la ZUP con empacado de rocas.

Resumen de diseño del filtro percolador con empacado de rocas		
Parámetro	Valor	Unidades
No. De filtros	2.00	Torres
Volumen del filtro 1	24.51	m <sup>3</sup>
Área del filtro 1	12.25	m <sup>2</sup>
Diámetro del filtro 1	3.95	m
Profundidad 1	2.00	m
Volumen del filtro 2	73.35	m <sup>3</sup>
Área del filtro 2	36.68	m <sup>2</sup>
Diámetro del filtro 2	6.83	m
Profundidad 2	2.00	m
Carga de DBO en el primer filtro 1	65.44	KgDBO/día
Carga de DBO en el primer filtro 2	21.86	KgDBO/día
Carga orgánica a la entrada del filtro 1	2.67	Kg/m <sup>3</sup> .día



Tabla 3.17. (Continuación).

Resumen de diseño del filtro percolador con empacado de rocas		
Carga orgánica a la entrada del filtro 2	0.30	Kg/m <sup>3</sup> .día
Carga hidráulica en el filtro 1	0.06	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min
Carga hidráulica en el filtro 2	0.02	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min
Clarificadores	2.00	clarificadores
Profundidad del clarificador	4.20	m
Diámetro del clarificador	3.00	m
DBO en el efluente del primer filtro biológico	58.61	mg/L
DBO en el efluente del segundo filtro biológico	19.58	mg/L
Eficiencia global de remoción de la DBO de ambos filtros	88.84	Adimensional

El sistema de tratamiento que hasta el momento se muestra no ha considerado la remoción de coliformes del agua residual, para ello se hizo el diseño del sistema de cloración, el sistema de cloración calculado permitirá una remoción de coliformes de 99.999 % de los coliformes presentes en el agua residual, los datos propuestos para el tanque de contacto con cloro son:

Tabla 3. 18. Datos de diseño básico obtenidos para el tanque de contacto con cloro para la ZUP.

Datos	Resultado	Unidades
Flujo	373.03	m <sup>3</sup> /día
Flujo pico	559.54	m <sup>3</sup> /día
Tiempo de detención a flujo pico	40	min
Número de canales paralelos	2	Canales
Número máximo de dispersión	0.015	Adimensional
Ancho de cada canal	0.5	m
Profundidad de cada canal	0.85	m
Longitud de los canales	18.29	m
Velocidad a gasto pico en cada canal	0.00762	m/s
Coefficiente de dispersión en las condiciones de proceso	0.00202	m <sup>2</sup> /S
Numero de dispersión para las condiciones de proceso	0.0145	Adimensional

### 3.4.4 Propuesta de ubicación del sistema de tratamiento de agua residual de la ZUP

Se desea que el sistema sea compacto, pues dentro de la ZUP no existe área suficiente para el uso de un sistema de tratamiento de aguas residuales que necesite demasiada superficie, para el sistema de tratamiento de aguas residuales, se piensan las siguientes áreas mostradas en la siguiente figura:

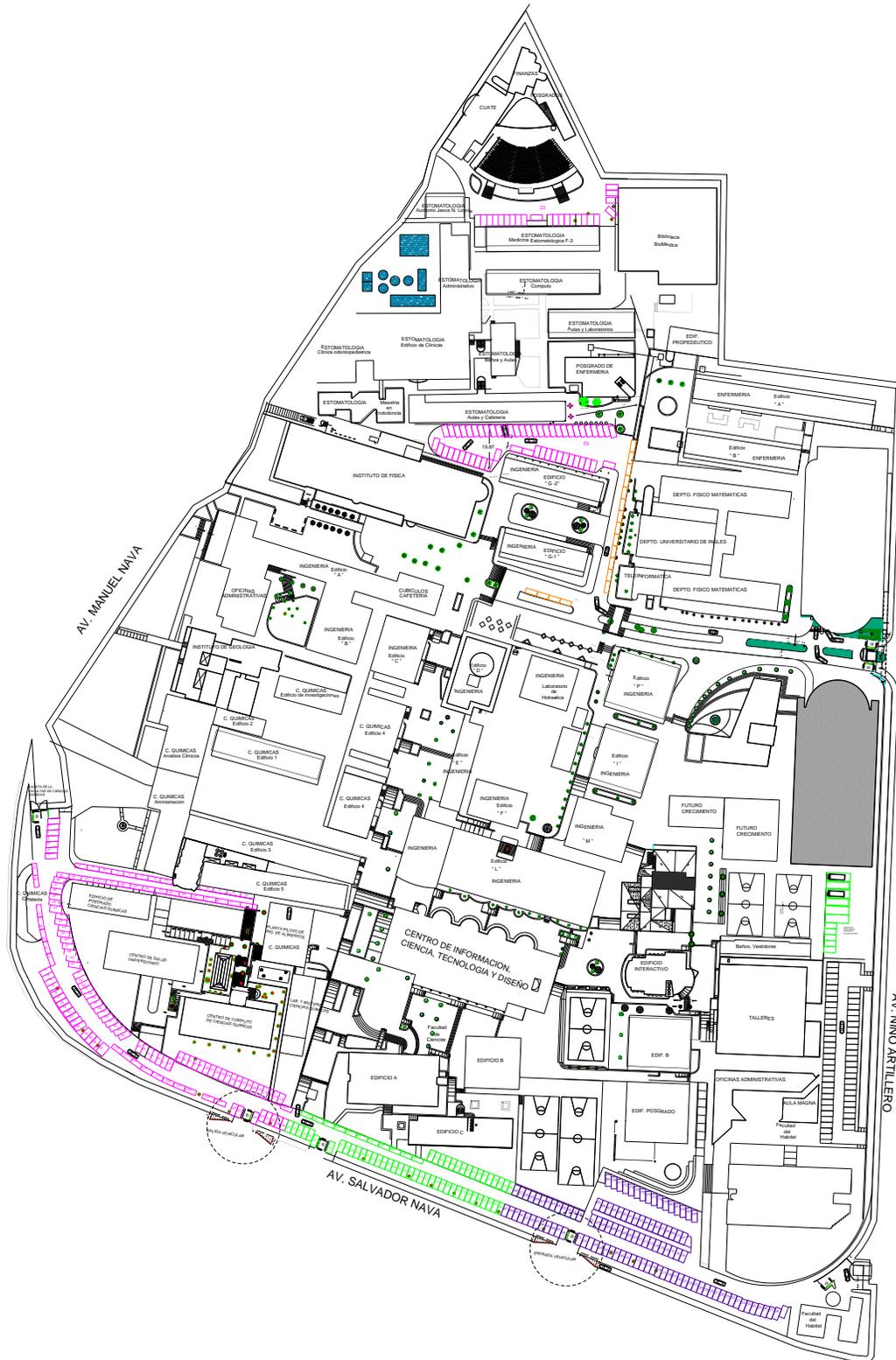


Figura 3. 16. Posible ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ZUP



### 3.4.5 Características del efluente generado por el sistema de tratamiento de agua residual seleccionado

De acuerdo a la bibliografía consultada (Escalas, 2009) los sistemas anaerobios consiguen una eficiencia de remoción baja, en el caso de los UASB llega a ser del 50%. De acuerdo a las ecuaciones del NRC (Metcalf & Eddy, 2003), la eficiencia global del tratamiento secundario mediante filtros percoladores será hasta de un 85% (Concurrent Technologies Corporation, 1998). Con estos datos podremos obtener que la eficiencia global del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto para la ZUP será de:

Tabla 3. 19. Eficiencia de remoción del sistema de tratamiento del agua residual doméstica generada en la ZUP para los contaminantes básicos.

Contaminante	Afluente (mg/L)	Eficiencia de remoción del UASB (%) *	Efluente del UASB (mg/L)	Eficiencia de remoción del filtro percolador (%) *	Efluente del Filtro percolador (mg/L)	Eficiencia global de remoción (%)
SST	270.83	50.00	135.42	88.84	15.12	94.42
DBO <sub>5</sub>	350.83	50.00	175.42	88.84	19.58	94.42
DQO	715.29	50.00	357.65	88.84	39.92	94.42
NT	62.75	20.00	58.04	20.00	46.43	26.00
PT	9.75	15.00	8.28	10.00	7.45	23.50
G y A	60.24	50.00	30.12	88.84	3.36	94.42
Coliformes Fecales	1x10 <sup>7</sup> ***	80.00***	2x10 <sup>6</sup> **	92.50****	1.5x10 <sup>5</sup>	98.50

\* Fuente: Escalas, 2009; Concurrent Technologies Corporation, 1998. \*\* NMP/100ml, Fuente: Metcalf & Eddy (2003). \*\*\* Valor para una laguna anaerobia, Luna, (2009). \*\*\*\*Valor promedio, obtenido del rango de 90-95% de remoción en filtros percoladores dado por Metcalf & Eddy (2003).

El efluente estimado, en general tiene una buena calidad, pero para obtener un efluente que al menos cumpla con las Normas Oficiales Mexicanas, será necesario reducir el valor de coliformes en el efluente a un valor <1000 NMP/100ml, para ello se diseñó el tanque de contacto con cloro.

Según la bibliografía consultada, el agua residual tratada de un filtro percolador tiene una calidad entre 1x10<sup>5</sup> y 1x10<sup>6</sup> coliformes totales (NMP/100ml), para obtener un efluente con una concentración de coliformes que cumplan con la norma, será necesario clorar el agua con 3-10mg/L de cloro libre, o bien si se quiere obtener un agua tratada con un valor de 23 coliformes (NMP/100ml) es necesario utilizar una dosis de 10-40 mg/L de cloro libre (Metcalf & Eddy, 2003). El clorar el agua residual tratada para obtener este ultimo valor nos dará como resultado una remoción del 99.99977%.



### 3.4.6 Propuesta de reutilización del agua residual tratada dentro de la ZUP

Se propone el uso del agua residual tratada en el riego de la jardinería actual de la ZUP. El agua regenerada, también puede ser utilizada como agua para descarga de retretes, siempre y cuando reciba un pulimiento antes de su reuso. Para poder definir el uso final o la disposición del agua residual tratada, es necesario conocer la normativa aplicable al uso que se pretende dar.

Con los datos del efluente, podemos determinar que usos puede tener el agua residual tratada dentro de la ZUP. De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, la NOM-003-SEMARNAT-1997 y a los datos el agua residual tratada mediante el sistema propuesto será apta para el uso:

Tabla 3. 20. Comparación de los datos obtenidos en el efluente tratado, con la normativa aplicable en el país.

Contaminante	Efluente del Filtro percolador (mg/L)	Especificaciones de la NOM-001 de acuerdo a su disposición (Promedio diario)			Especificaciones de la NOM-003 para uso en servicios al público	
		Ríos		Suelo	Reuso	
		Riego agrícola	Uso público urbano	Riego agrícola	Con contacto directo	Contacto indirecto u ocasional
SST	15.12	150	75	N/A	20	30
DBO <sub>5</sub>	19.58	150	75	N/A	20	30
DQO	39.92	-	-	-	-	-
NT	46.43	40	40	N/A	N/A	N/A
PT	7.45	20	20	N/A	N/A	N/A
G y A	3.36	15	15	15	15	15
* Coliformes Fecales	23	2,000	1,000	2,000	240	1,000

Nota: 1. \*Efluente del tanque de cloración. Todos los valores presentados tienen unidades de mg/L. 2. N/A: se refiere a que la norma no especifica un valor para este contaminante. No está considerado el valor de coliformes fecales.

De la tabla 3.20 se concluye que el agua regenerada dentro de la ZUP es apta para reutilizarse en el riego de jardines de la universidad o bien en el reuso en baños como agua para descarga de retretes, debe tomarse en cuenta un sistema de pulimiento para mejorar la calidad del agua tratada.

### 3.4.7 Normativa aplicable al agua residual regenerada

Las normas que regulan la disposición y reuso del agua residual en México son:



Tabla 3. 21. Normas Oficiales Mexicanas en materia de aguas residuales: regulación y aplicación.

Norma	Regulación	Aplicación
<b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b>	Los límites máximos permisibles de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores.	A cualquier descarga de agua residual que derive en algún cuerpo receptor (ríos, lagos, mar, suelo, etc.)
<b>NOM-002-SEMARNAT-1996</b>	Los límites máximos permisibles de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.	A cualquier descarga de agua residual que derive en el sistema de alcantarillado municipal
<b>NOM-003-SEMARNAT-1997</b>	Los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público	A cualquier agua residual tratada que pretenda reutilizarse en servicios al público (parques, edificios, actividades recreacionales)

De acuerdo a la estimación hecha y a que el agua residual tratada, pretende utilizarse para el riego de las áreas verdes o bien en el uso como agua para descarga en retretes. La normativa aplicable para este caso es la Norma Oficial Mexicana, NOM- 003-SEMARNAT-1997. Al comparar está norma con la normativa de otros países, se observa que es demasiado permisible en la regulación de los coliformes fecales. Por tanto se propone el uso de las especificaciones de la norma para la regulación de la DBO, en cuanto a los coliformes, se propone utilizar una especificación más estricta como la que exige la norma del estado de Texas: 75 NMP/100ml o bien una normativa más estricta como la que exige la USEPA: 14 para cualquier muestra.

En cuanto a las especificaciones de los demás parámetros, se propone que se mantengan, tal como los propone la NOM-003-SEMARNAT-1997, mientras que el límite aceptable para los valores de coliformes sean otros más estrictos pero a la vez posibles de alcanzar, entonces, de acuerdo a las sugerencias hechas, los límites serán:

Tabla 3. 22. Efluente tratado generado en la ZUP y normativa aplicable según el uso.

Contaminante	Efluente del Filtro percolador (mg/L)	Especificaciones de la NOM-003 para uso en servicios al público		Especificaciones para el reuso de agua residual tratada, sugerido para la ZUP
		Reuso		
		Con contacto directo	Contacto indirecto u ocasional	
SST	14.87	20	30	20
DBO <sub>5</sub>	13.51	20	30	20
DQO	35.81	-	-	-
NT	31.29	N/A	N/A	N/A
PT	4.22	N/A	N/A	N/A
G y A	4.04	15	15	15
* Coliformes fecales	23	15	15	75**

Nota: \*Efluente del tanque clorador. \*\*Valor adaptado de las especificaciones para el estado de Texas en USA.



### **3.4.8 Discusión de los datos obtenidos para el sistema de tratamiento de agua residual para la ZUP**

Las características del agua residual obtenida en la ZUP a partir del muestreo realizado por el departamento de ingeniería, al comparar los datos con estudios sobre tratamiento de agua residual dentro de otras zonas universitarias se obtuvo que los valores son similares.

En un estudio hecho en la Universidad de Cumhuriyet en Turquía (Ciner y Sarioglu, 2005) se obtuvieron valores de 372 mg/L de DQO total y 178 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 177 mg/L de sólidos suspendidos. Estos valores son bajos en comparación con los datos de DBO, DQO y sólidos suspendidos estimados en la ZUP.

En la Universidade Federale de Ouro Preto, en Brasil, se realizó un estudio para caracterizar y estimar su biodegradabilidad, la caracterización se hizo mediante análisis del agua residual obtenida en diferentes puntos de muestreo. Del análisis se obtuvieron los valores de DBO, DQO, SST y fósforo total; los valores obtenidos fueron de 300, 670, 296 y 6 mg/L respectivamente (Bertolino *et al.*, 2008). Al comparar estos valores se observa que son semejantes a los obtenidos en el caso de la ZUP.

En la Universidad de las Américas de Puebla se realizó un estudio para evaluar la viabilidad técnica y económica para la instalar una planta de tratamiento de aguas residuales dentro de la universidad. Para proponer el sistema de tratamiento se hizo una caracterización del agua residual de la descarga a tratar. Se obtuvo que el agua residual a tratar tiene una DBO<sub>5</sub> de 242 mg/L, 237 mg/L de SST, 66.82 mg/L de NT y 9.49 mg/L de PT (Alden, 2004). Estos valores bajos comparados con los valores obtenidos en la ZUP.

Se seleccionó un sistema Anaerobio-Aerobio para el tratamiento del agua residual de la ZUP, los sistemas de tratamiento combinado cada vez están siendo más usados en el tratamiento de las aguas grises, domésticas e industriales. Ejemplo de ello son los que presentan:

Mara (2003) menciona que el uso de UASB para el tratamiento de aguas residuales domésticas ha crecido, pues se ha encontrado que es un pretratamiento eficaz que reduce cantidades considerables de materia orgánica en comparación con los tanques sépticos.

Azimi y Zamanzadeh (2004), realizaron un estudio que demuestra la efectividad del RAFA para el pretratamiento de aguas residuales. Concluyeron que es viable utilizarlo siempre y cuando se tome en cuenta que el desempeño de este puede variar con la temperatura.

Otro estudio demuestra que un UASB puede obtener una eficiencia de remoción de hasta el 79% en el tratamiento de aguas residuales grises, este estudio se enfocó en determinar la capacidad de remoción de la DQO a diferentes tiempos de retención y a diferentes temperaturas. (Elmitwalli, 2007)



Otro estudio demuestra que el RAFA puede remover entre el 75% y el 86% de la DQO y del 70% al 91% de la DBO<sub>5</sub>. (Banu *et al.* 2007)

Von Sperling *et al.* (2001) estudiaron la eficiencia de un sistema combinado mediante RAFA-Lodos activados, encontraron que el sistema combinado remueve entre 85% a 93% de la DQO total que entra a la planta. Encontraron además que los SST en el efluente fueron de 13-18 mg/L valor aceptable en el caso de que se pretenda su reutilización o su disposición en algún cuerpo receptor. Cabe mencionar que estos rendimientos se obtuvieron a tiempos de retención hidráulicos de 4, 2.8 y 1.1 horas para el RAFA, el reactor de lodos activados y el sedimentador secundario respectivamente.

Lara *et al.* (S/f) proponen el uso de un humedal artificial para el tratamiento de agua residual doméstica que viene de un pretratamiento en un RAFA, concluyeron que es viable el tratamiento de agua residual doméstica utilizando esta combinación de sistema anaerobio con sistema aerobio (humedal artificial), obtuvieron rendimientos de remoción para DBO<sub>5</sub>, DQO y SST de 45%, 52% y 77% respectivamente. Estos valores fueron obtenidos al comparar el efluente del RAFA con el efluente del humedal artificial.

Otro estudio propone el uso de un sistema de biomasa fija después del pretratamiento del agua residual con un RAFA, el sistema combinado logró porcentajes de remoción de DQO del 80-86% a un tiempo de retención hidráulico que varió entre 5 y 10 horas. Se obtuvo además que a valores del TRH de 10 a 13.3 horas la eficiencia de remoción de incremento hasta el 92% (Tawfik *et al.*, 2009).

Para el caso de la ZUP se propone el uso de un sistema combinado anaerobio-aerobio mediante el uso de un RAFA y un filtro percolador, se obtuvo que a las condiciones del proceso será necesario un RAFA con un volumen del líquido de 133.41 m<sup>3</sup>, un TRH de 10.10 horas y una temperatura de proceso de 17°C. Será necesario además 2 filtros percoladores con un volumen total de empacado de 184.18m<sup>3</sup> cada uno, 2 tanques clarificadores con un diámetro de 3.00m y una profundidad de 4.20m. Este sistema permitirá obtener una remoción del 94.42% de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST



## Capítulo 4 Resultados de los diferentes escenarios generados

### 4.1 Escenarios generados por el cambio de muebles actuales por muebles de bajo consumo

#### 4.1.1 Cambio de muebles sanitarios en la ZUP

Como se mostró en el capítulo 3, existe la oportunidad de reducir el consumo de agua potable de los inodoros de la ZUP, para ello es necesario actualizarlos. Actualmente existen dentro de los 65 edificios de la ZUP un total de 544 retretes contados a septiembre del diciembre del 2009.

De acuerdo a los resultados mostrados en el capítulo 3, es posible reducir el consumo de estos en un 23% o en un 39% dependiendo del modelo por el que sean sustituidos los inodoros. Estos porcentajes significan el total del consumo de agua potable destinado a los inodoros que puede ser reducido por una descarga de los 544 retretes.

Para generar los escenarios que incluyan el ahorro generado por los retretes, es necesario calcular cual es el consumo actual del total de agua consumida en la ZUP. De acuerdo a la bibliografía consultada, un una persona utiliza un retrete alrededor de 5 veces al día (Arreguín, 1991 y Pipeline, 2000). Si, en promedio la actividad diaria de una persona es de 16 horas al día y de estas, 8 horas las ocupa fuera del hogar, ya sea en el trabajo o en la escuela (en el caso de las personas adultas). Entonces, una persona utilizará un inodoro cada 3.2 horas es decir en 8 horas de trabajo o escuela lo utilizará 2 veces al menos.

Si la población actual de la ZUP es de:

- 1,524 entre maestros y personal administrativo
- 9,776 alumnos

En total, la población de la ZUP es de 11,340 personas, distribuidas en las diferentes facultades. Para el primer escenario será necesario realizar una estimación de la cantidad de agua residual generada por las descargas de los sanitarios en la ZUP, para ello primero se calculo una descarga ponderada de los baños de la ZUP

Existen 478 retretes que necesitan 8 L/descarga y 66 que generan 6 L/descarga. La descarga ponderada por retrete será de 7.8 L/descarga. Con esto se calculó el gasto generado por los retretes de la ZUP, estimado a partir de que una persona dentro de la ZUP utilizará un retrete 2 veces por día, entonces:



Tabla 4. 1. Gasto actual estimado generado por los retretes de la ZUP

Media ponderada de gasto por descarga generado	Población total de la ZUP	Propuesta de descargas por persona por día	Gasto generado (L/s)	Gasto consumido en la ZUP (L/s)
7.76	11340	2	2.04	6.00

Para el caso en que el total de los retretes actuales de la ZUP que descargan 8L/descarga, sea sustituido por retretes por aquellos muebles o dispositivos que permitan disminuir la descarga de 8 a 4.8 L/descarga, el gasto generado por los retretes será de:

Tabla 4. 2. Gasto estimado generado por los retretes propuestos en la ZUP, propuesta A

Retretes	Descarga	Media ponderada de gasto por descarga generado	Población total de la ZUP	Propuesta de descargas por persona por día A	Gasto generado (L/s)
453.00	6.00	6.00	11290	2	1.57
49.00	6.00				
25.00	6.00				
17.00	6.00				

Tabla 4. 3. Gasto estimado generado por los retretes propuestos en la ZUP, propuesta B

Retretes	Descarga	Media ponderada de gasto por descarga generado	Población total de la ZUP	Propuesta de descargas por persona por día A	Gasto generado (L/s)
453.00	4.80	4.95	11290	2	1.29
49.00	6.00				
25.00	4.80				
17.00	6.00				

De acuerdo a la sección 3.4 de la presente tesis, el gasto de agua residual generado en la ZUP es de 4.34 L/s, que corresponde al volumen total de agua utilizado en servicios dentro de la ZUP sin tomar en cuenta el riego de las áreas verdes. De acuerdo al cálculo, el gasto actual necesario para los retretes de la ZUP es de 2.04 L/s, esto representa el 34% estimado, del volumen total del agua utilizado en servicios. Si el cambio de retretes se realiza tal como se menciona en esta sección, el volumen de agua utilizado en los retretes puede reducirse y por consecuencia el gasto de agua residual de la siguiente manera:



Tabla 4. 4. Ahorro estimado para el escenario con cambio de retretes en la ZUP

Media ponderada de gasto por descarga generado	Gasto actual de los baños (L/s)	Gasto generado (L/s)	Porcentaje de ahorro generado en baños	Gasto de agua consumido en la ZUP (L/s)	Porcentaje de ahorro generado del total de agua consumida
6.00	2.04	1.57	23%	6.00	8%
4.95	2.04	1.29	37%		12.5%

#### 4.1.1.1 Viabilidad del escenario propuesto

Este escenario contempla la sustitución de los muebles sanitarios, desde el punto de vista ambiental, es viable ya que el consumo de agua disminuye. En cuanto a la parte técnica, se actualizarán los muebles sanitarios, sin embargo, el trabajo que implica el reemplazo de estos muebles, además del costo necesario para instalarlos, es elevado.

De estos casos analizados el mas viable, es el reemplazo de los inodoros actuales por aquellos con descarga de 4.8 L. Una idea del costo necesario para instalar estos nuevos baños es el siguiente:

- El costo estimado necesario solo para comprar los nuevos retretes será de:

El costo promedio de cada retrete en el mercado es de \$1,105.00 M.N. entonces, el costo necesario para comprar los 478 retretes nuevos es de \$528,190.00, además de este costo, es necesario considerar el costo de remoción e instalación de los retretes.

El costo es elevado y el beneficio obtenido es poco, por tanto, es necesario considerar otras alternativas.

#### 4.1.2 Cambio de muebles en la ZUP y tratamiento de aguas residuales,

Puesto que el uso de muebles sanitarios de bajo consumo impactan en el gasto de agua residual generado, es necesario recalculan el sistema de tratamiento de aguas residuales en base al nuevo dato de agua residual. Los datos de calidad de agua seguirán siendo los mismos, puesto que la carga contaminante aportada es la misma. Es importante considerar el volumen de agua residual tratada que se generará pues una de las propuestas, es el reuso de esta para el riego de los jardines actuales de la ZUP. Re calculando el gasto:

El gasto se verá disminuido en un 8% al menos y hasta en un 12.5% debido al cambio de los muebles sanitarios de la ZUP, entonces de acuerdo a las propuestas, los gastos generados serán:



Tabla 4. 5. Gastos, actual y proyectados con el cambio de los muebles sanitarios para el cálculo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

Escenario	Gasto generado por los retretes de la ZUP (L/s)	Gasto de agua residual de la ZUP (L/s)	Consumo total de la ZUP (L/s)
Actual	2.04	4.34	6.00
Cambio de muebles actuales por sanitarios de 6 L/descarga	1.57	3.87	5.52*
Cambio parcial de muebles actuales por sanitarios de 4.8 L/descarga	1.29	3.60	5.25*

\*En este cálculo se considera el consumo de la jardinería igual al actual de 1.65 L/s

Con estos datos se recalculó los sistemas de tratamiento que quedaron como se muestran en la tabla 4.6:

Tabla 4. 6. Características del sistema RAFA para el tratamiento de las aguas residuales de la ZUP para el escenario de cambio de muebles sanitarios.

Datos del agua residual			
Parámetros	Cambio de sanitarios a 6 L/descarga	Cambio de sanitarios a 4.8 L/descarga	Unidades
	Valor	Valor	
Gasto	334.00	311.23	m <sup>3</sup> /d
DQO	715.29	715.29	g/m <sup>3</sup>
<b>Volumen del reactor:</b>			
Vn	119.36	111.31	m <sup>3</sup>
VL	140.42	130.95	m <sup>3</sup>
<b>Dimensiones del reactor</b>			
Área	34.76	32.42	m <sup>2</sup>
Diámetro (D)	6.65	6.42	m
Altura del líquido (HL)	4.04	4.04	m
Altura total (HT)	6.54	6.54	m
Tiempo de retención hidráulico (τ)	10.10	10.10	h
<b>Datos del efluente</b>			
Tiempo de residencia de los lodos TRL	60.00	60.00	D
DQOs al TRL calculado	82.62	82.62	mg/L
<b>Datos en el reactor</b>			
Xsst en el reactor	14.26	14.26	Kg/m <sup>3</sup>



Tabla 4. 7. Características del filtro percolador con empacado de plástico para el tratamiento de las aguas residuales de la ZUP para el escenario de cambio de muebles sanitarios.

Resumen de diseño				
Parámetro	Cambio de sanitarios a 6 L/descarga	Cambio de sanitarios a 4.8 L/descarga		Unidades
	Valor	Valor	Valor	
No. De filtros	2.00	2.00	2.00	Torres
Diámetro	4.15	4.00	4.00	m
Profundidad	6.10	6.10	6.10	m
Volumen total de empacado	164.78	153.67	153.67	m <sup>3</sup>
Carga de DBO	0.36	0.36	0.36	kg/m <sup>3</sup> .d
Tasa de aplicación hidráulica	0.14	0.14	0.14	L/m <sup>2</sup> s
Tasa total de bombeo	48.62	45.35	45.35	m <sup>3</sup> /h
Tasa de recirculación	2.50	2.50	2.50	Adimensional
Brazos distribuidores	2.00	2.00	2.00	Brazos
Velocidad normal del distribuidor	3.33	3.33	3.33	min/rev
Velocidad de lavado del distribuidor	20.00	20.00	20.00	min/rev
Clarificadores	2.00	2.00	2.00	Clarificadores
Profundidad del clarificador	4.20	4.20	4.20	m
Diámetro del clarificador	2.84	2.74	2.74	m

Tabla 4. 8. Características del filtro percolador con empacado de piedra para el tratamiento de las aguas residuales de la ZUP para el escenario de cambio de muebles sanitarios.

Parámetro	Cambio de sanitarios a 6 L/descarga	Cambio de sanitarios a 4.8 L/descarga	Unidades
No. De filtros	2.00	2.00	Torres
Volumen del filtro 1	21.93	20.45	m <sup>3</sup>
Área del filtro 1	10.96	10.22	m <sup>2</sup>
Diámetro del filtro 1	3.74	3.61	m
Profundidad 1	2.00	2.00	m
Volumen del filtro 2	65.63	61.20	m <sup>3</sup>
Área del filtro 2	32.81	30.60	m <sup>2</sup>
Diámetro del filtro 2	6.46	6.24	m
Profundidad 2	2.00	2.00	m
Carga de DBO en el primer filtro	58.54	54.59	KgDBO/d
Carga de DBO en el segundo filtro	19.56	18.24	KgDBO/d
Carga orgánica a la entrada del filtro 1	2.67	2.67	Kg/m <sup>3</sup> .d
Carga orgánica a la entrada del filtro 2	0.298	0.298	Kg/m <sup>3</sup> .d
Carga hidráulica en el filtro 1	0.0634	0.0634	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min



Tabla 4.8. (Continuación)

Parámetro	Cambio de sanitarios a 6 L/descarga	Cambio de sanitarios a 4.8 L/descarga	Unidades
Carga hidráulica en el filtro 2	0.0212	0.0212	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min
Carga hidráulica en el filtro 2	0.0212	0.0212	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min
Clarificadores	2.00	2.00	Clarificadores
Profundidad del clarificador	4.20	4.20	m
Diámetro del clarificador	2.84	2.74	m
DBO en el efluente del primer filtro biológico	58.61	58.61	mg/L
DBO en el efluente del segundo filtro biológico	19.58	19.58	mg/L
Eficiencia global de remoción de la DBO de ambos filtros	88.84	88.84	Adimensional

Ay una variación pequeña en las dimensiones de las unidades de tratamiento pero el gasto se ve modificado por el uso de muebles sanitario de bajo consumo, ya se aquellos de 6 L/descarga o de 4.8 L/descarga, entonces, es necesario tomar en cuenta esto al momento de pensar en el reuso. El agua residual tratada puede reutilizarse en el riego de jardines, para ello, es necesario ver las necesidades de riego.

#### 4.1.2.1 Viabilidad del escenario

El escenario más viable, técnica y ambientalmente hablando, es el que considera el cambio de muebles sanitarios con una descarga de 4.8 L, pues reduce el costo de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, para la construcción del sistema de tratamiento será de:

- Para la construcción de un RAFA, se necesitan de 280-350 dólares/m<sup>3</sup> (promedio de 315 dólares/m<sup>3</sup>) de reactor construido (Souza, 1986), es decir, que, para el escenario donde se utilizan retretes de bajo consumo, se necesitarán \$41,265.00 U.S. Dlls. (con un tipo de cambio de \$12.40/Dll. el costo será de 511,686.00 M.N.) para construir el reactor anaerobio de 131 m<sup>3</sup>.
- Mantilla y Serving (2004) proponen la ecuación 4.1 para estimar el costo de construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante filtro percolador. La ecuación propuesta es:

$$C_{inv} = 319.6Q^{0.964} \tag{Ecuación 4.1}$$

Donde: Q = gasto en L/s

$C_{inv}$  = El costo de inversión estimado en pesos.



De acuerdo al escenario, la ZUP producirá 3.6 L/s de aguas residuales utilizando la fórmula tendremos que el costo estimado para la construcción del filtro percolador será de \$892,722.62 M.N.

A los costos anteriores, es necesario sumarles el costo del cambio de los retretes y su costo de instalación. En el caso del costo estimado para las unidades de tratamiento, es necesario mencionar que los costos pueden variar dependiendo de las condiciones del lugar (topografía, costo del suelo, costos de excavación y costos de material y mano de obra). A pesar de que el dato del costo de construcción del sistema de tratamiento mediante el RAFA es un valor estimado, se colaboró con una especialista en construcción de este tipo de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Si bien, los costos necesarios para llevar a cabo este escenario son bastante considerables, las propuestas hechas permiten obtener agua para utilizar en diferentes actividades, como el gasto de agua residual generado satisface la demanda en usos no potables, el excedente puede venderse al municipio o a institutos aledaños, además, el consumo de agua potable en la ZUP puede reducirse de manera significativa. Sin embargo a pesar de proponer el reuso de agua residual, el uso propuesto es en los jardines de la ZUP.

#### **4.1.3 Cambio de muebles en la ZUP, tratamiento de aguas residuales y cambio de la jardinería actual por xerojardinería**

En la sección 3.2 del capítulo 3, se analizó el cambio de la jardinería actual a jardinería de bajo consumo, de acuerdo a los datos generados, se estima que la nueva jardinería requerirá un total de 13.8 m<sup>3</sup>/día para el riego. Esta cantidad es fácilmente aportada por el agua residual tratada, sin embargo todavía existirá un excedente, por lo tanto es necesario encontrar otro uso para el agua residual tratada sobrante, para ello se propone su uso para el arrastre de excretas en los sanitarios sustituidos de la ZUP.

De acuerdo a estos datos, las necesidades de agua tanto para los nuevos jardines de la ZUP como los muebles sanitarios sustituidos serán:



Tabla 4. 9. Comparación de las necesidades de agua y ahorros estimados para los diferentes escenarios propuestos

Escenario	Gasto de agua residual tratada generado (L/s)	Gasto necesario para el riego de áreas verdes (L/s)	Gasto de agua necesario para descarga de sanitarios (L/s)
Actual	4.34	1.65	2.04
Escenario con sanitarios de 6.0 L/descarga	3.87	0.20	1.57
Escenario con sanitarios de 4.8 L/descarga	3.60	0.20	1.29

Con estos datos se estimó el ahorro de agua de acuerdo a las propuestas aquí mencionadas, el primer caso sería el cambio de los muebles sanitarios de la ZUP que actualmente consumen 8 L/descarga y a muebles con un consumo de 6 L/descarga. El segundo caso es el cambio de estos muebles por unos de consumo aun menor, de 4.8 L/descarga. La tabla 4.10 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 4. 10. Resultados del primer escenario generado, cambio de muebles sanitarios en la ZUP

Escenario sin cambio de jardinería			
	Actual	Escenario con cambio de retretes a 6 L/descarga	Escenario con cambio de retretes a 4.8 L/descarga
<b>Propuestas de usos de agua residual tratada</b>			
Uso en riego	1.65	1.65	1.65
Uso en retretes	2.04	1.58	1.29
<b>Uso de agua potable en otros servicios</b>			
Uso en laboratorios y cafeterías	0.14	0.14	0.14
Uso en otros servicios	2.17	2.17	2.17
<b>Uso total de agua en diferentes servicios</b>	<b>6.00</b>	<b>5.54</b>	<b>5.25</b>

El ahorro en el uso de agua potable es de un 61.44% para el caso de que no exista cambio de muebles sanitarios, para el segundo escenario, donde los muebles sanitarios actuales son sustituidos, por muebles con descarga de 6 L, se obtiene un ahorro en el uso de agua de un 8% y de un 58% en el uso de agua potable. En el tercer y último escenario se obtiene un ahorro de un 12.5% en el uso de agua y un 56% en el uso de agua potable.

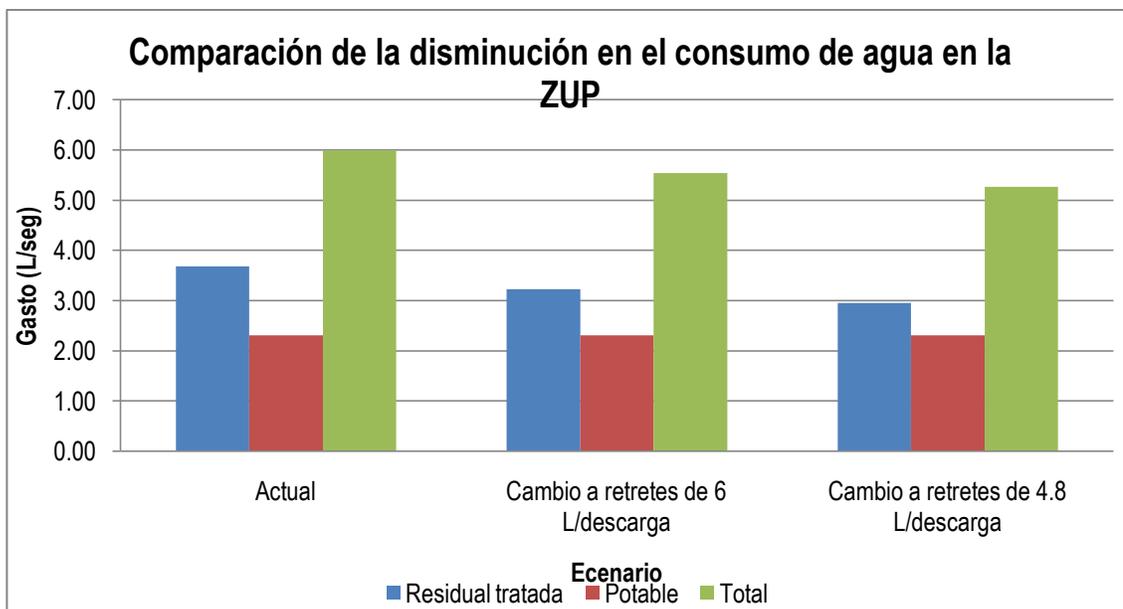


Figura 4. 1. Comparación de la disminución en el consumo de agua en la ZUP

Para el segundo caso se propone, además del tratamiento de agua residual y el cambio de muebles sanitarios, el cambio de los jardines actuales de la ZUP, en capítulo 3 se estimó que el gasto de agua necesario para el riego de estos disminuirá de 1.65 a 0.2 L/s. Con esto se volvió a calcular la disminución en el uso de agua y de agua potable. La tabla 4.11 muestra los resultados.

Tabla 4. 11. Resultados del segundo escenario generado considerando cambio de muebles sanitarios en la ZUP, reutilización de agua residual tratada y cambio de jardinería de la ZUP.

	Actual	Escenario con cambio de jardinería y retretes a 6 L/descarga	Escenario con cambio de jardinería y retretes a 4.8 L/descarga
<b>Propuestas de usos de agua residual tratada</b>			
Uso en riego	1.65	0.20	0.20
Uso en retretes	2.04	1.58	1.29
<b>Uso de agua potable en otros servicios</b>			
Uso en laboratorios y cafeterías	0.14	0.14	0.14
Uso en otros servicios	2.17	2.17	2.17
<b>Uso total de agua en diferentes servicios</b>	<b>6.00</b>	<b>4.09</b>	<b>3.80</b>

Con este escenario se obtuvo que el cambio de los jardines junto con el cambio de los muebles sanitarios impacta en el consumo de agua dentro de la ZUP, disminuyendo en un 32% en el caso del cambio de muebles sanitarios actuales por muebles de 6 L/descarga y en un 36.5% para el



segundo escenario. El ahorro en el consumo de agua potable en comparación al actual es del 78.9% para el escenario que considera el cambio de muebles sanitarios a 6 L/descarga y de 77% para el otro escenario.

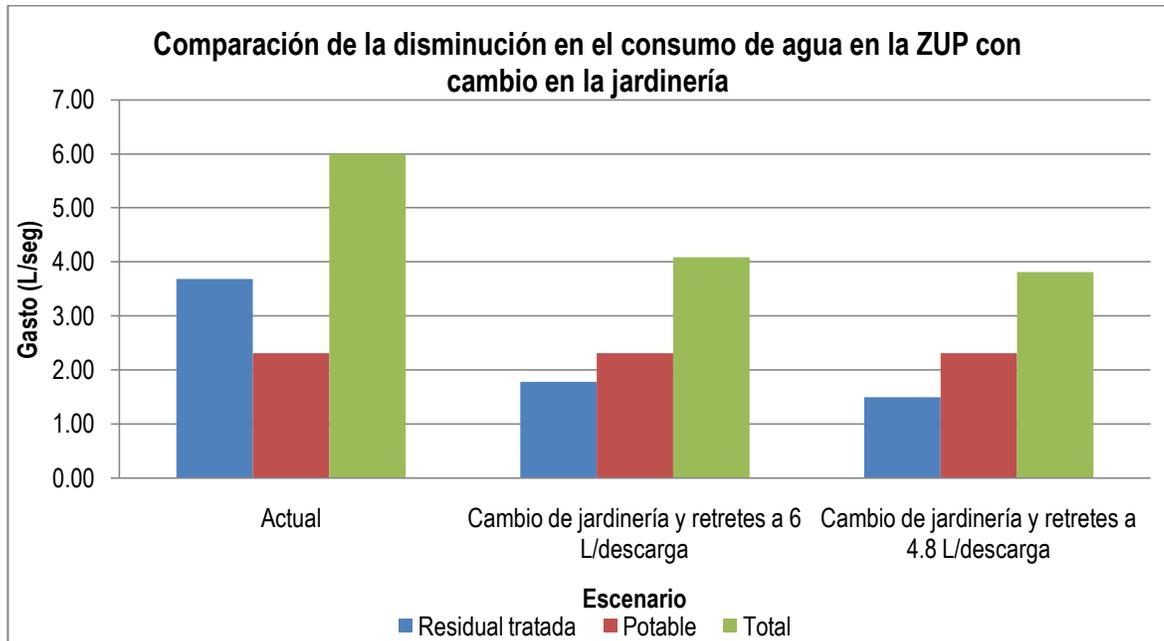


Figura 4. 2. Comparación de la disminución en el consumo de agua en la ZUP, considerando el cambio de retretes y la jardinería.

#### 4.1.3.1 Viabilidad del escenario

Este escenario, reducirá de manera considerable el uso de agua potable en la ZUP, no solo el gasto de agua potable necesario disminuirá, al considerar el cambio de muebles y de jardinería, el agua utilizada para abastecer estos servicios, sea potable o no potable, se reducirá de manera notable.

Para llevar a cabo este escenario los costos se elevan aun mas pues, además de los costos necesarios para el sistema de tratamiento de aguas residuales y el cambio de muebles, es necesario considerar:

- El costo generado por la remoción de las tuberías actuales y la instalación de tubería nueva, que llevará el agua residual tratada a los nuevos retretes.
- Según la bibliografía consultada, se han realizado varios estudios sobre el ahorro de agua al cambiar la jardinería convencional por xerojardinería. En los estudios realizados el costo del cambio de los jardines varía según el lugar estudiado, pues va desde \$12.00 U.S. Dlls./m<sup>2</sup> (con un tipo de cambio de \$12.40/Dll. el costo por m<sup>2</sup> será de \$148.80 M.N.) hasta \$16.74 Dlls./m<sup>2</sup> (\$207.60 M.N.) los costos de los



estudios realizados varían de acuerdo al lugar estudiado, disponibilidad de plantas y costo de mano de obra (Lee y Medina, 2006; Gumper y Medina, 2004 y Sovocool, 2005).

Tomando en cuenta un valor promedio del costo necesario para el cambio de jardines para la ZUP, se necesitarán \$178.20 M.N. /m<sup>2</sup> de jardín sustituido entonces, para cambiar los 24,153.1m<sup>2</sup> promedio de los dos escenarios propuestos, será necesario invertir un total de \$4,304,082.42 M.N.

El costo total de este escenario es bastante considerable y es necesario analizar detenidamente los resultados obtenidos con las propuestas hechas. Técnica y económicamente hablando, no es posible llevar a cabo este escenario, pues el reemplazo de las tuberías es poco práctico. En el aspecto ambiental, el escenario es viable, pues el consumo de agua de las diferentes fuentes propuestas se reduce considerablemente, es necesario analizar otras alternativas para aumentar la viabilidad del escenario, una alternativa válida a analizar es el uso de un sistema de tratamiento que permita obtener agua residual con calidad casi potable para su uso como agua de descarga de retretes y en lavabos de algunos edificios de la ZUP esto disminuiría considerablemente los costos en el cambio de retretes y aumentaría los costos de construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.

## 4.2 Escenarios generados por el cambio de la jardinería actual por xerojardinería

### 4.2.1 Nueva jardinería en la ZUP de la UASLP

En el capítulo 3 se analizó las diferentes propuestas de nueva jardinería y el consumo de agua que requerirá. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4. 12. Comparación de los consumos y disminución del uso de agua en riego de jardines de la ZUP

Escenario	Consumo (L/s)	Consumo de agua en los servicios de la ZUP (L/s)	Porcentaje de agua disminuido en el riego	Porcentaje de agua disminuido en los servicios
Jardinería actual	1.65	6	0	0
Jardinería propuesta	0.2	4.55	90	24

#### 4.2.1.1 Viabilidad del escenario

Este escenario solo considera el cambio de jardinería, al analizarlo, el consumo de agua potable reducido es considerable, sus costos son considerables, sin embargo se debe de considerar el hecho de que este escenario solo requiere la sustitución de la jardinería, no requiere de instalación para el riego pues ya existe una, si se desea introducir un sistema de riego tecnificado, entonces los costos se incrementarían. Es necesario seguir analizando la viabilidad de la combinación de este escenario con los demás.



#### **4.2.2 Riego de la jardinería actual y jardinería propuesta con agua residual tratada**

Se estima que en la ZUP existirá un gasto de agua residual tratada de buena calidad, que permitirá su reutilización en varios de los servicios de la ZUP. Uno de los usos propuestos es el riego de los jardines. Si el agua residual tratada, se reutiliza en el riego de los jardines actuales, puede sustituir totalmente al agua de pozo que actualmente se usa para esta actividad. Entonces, el gasto de agua de pozo, necesario para satisfacer las necesidades de la universidad disminuirá de 6.00 L/s a 4.35 L/s, sin embargo aun serán necesarios 6.00 L/s, para satisfacer todas las necesidades de la ZUP.

Si en cambio, la jardinería actual es sustituida por la que se propone en el capítulo 3, el gasto global de agua, ya sea de pozo o residual tratada, consumido dentro de la ZUP disminuirá a 4.55 L/s, pues la nueva jardinería solo requerirá 0.2 L/s de agua para su riego, cantidad fácilmente cubierta por el gasto de agua residual tratada generado en la ZUP.

##### **4.2.2.1 Viabilidad del escenario**

Este escenario no considera el cambio de los muebles sanitarios de la ZUP, sin embargo considera dos propuestas de la jardinería, en ambas, el riego de estas con agua residual tratada. Para este caso, el costo de construcción del sistema de agua tratada varía ya que no se considera el cambio de los muebles sanitarios.

El gasto de agua residual actual es de 4.34 L/s, para este gasto, el volumen del RAFA es de 157 m<sup>3</sup>. Se requiere de \$49,455.00 U.S. Dlls. (\$613, 242.00 M.N.) para la construcción de esta unidad de tratamiento. Con estos mismos datos, se necesitan \$1,315,669.69 M.N. para la construcción del filtro percolador. Si bien el costo es considerable, el beneficio obtenido para el escenario de jardinería actual es bastante, pues los jardines actuales pueden regarse con el agua tratada, sin embargo es necesaria la instalación de tubería y un sistema para conducir el agua a los jardines, además de un sistema de bombeo ya que el sistema de tratamiento de agua residual está en la parte mas baja de la universidad y la mayoría de las áreas verdes se encuentran arriba de esta zona.

En el escenario donde se considera el cambio de jardinería, es necesario agregarle, a los costos de construcción del sistema de tratamiento de agua residual, el costo del cambio de jardinería y el costo de conducción y bombeo de agua residual tratada. El gasto necesario para satisfacer la demanda del riego de los nuevos jardines es bajo, por tanto existirá un sobrante de agua tratada bastante considerable, este puede venderse a los institutos educativos que se encuentran cercanos a la ZUP.



### 4.2.3 Riego de la nueva jardinería con agua de lluvia captada

Debido a que el volumen necesario para el riego de la nueva jardinería es demasiado bajo, se analizó la posibilidad de que sea cubierto con el uso de agua de lluvia captada en los techos de los edificios de la ZUP. De acuerdo a los resultados obtenidos, dentro de la ZUP, se pueden aprovechar un total de 16,750 m<sup>3</sup>/año de agua de lluvia, es decir 0.53 L/s. Debido a que el agua de lluvia se distribuye en los 12 meses del año, se recalculó los días que operará la bomba, el volumen utilizado acumulado y el volumen necesario para el almacenamiento de agua de lluvia para el riego de los jardines de la ZUP.

Para el cambio de jardinería se requerirá menor gasto para satisfacer la demanda de los jardines, esto provocará que el sistema de captación de agua de lluvia varíe en tamaño y operación. Se estimó de acuerdo a la nueva demanda, el volumen de agua de lluvia que puede ser aprovechado en la ZUP.

En la figura 4.3 se observa el volumen captado y el volumen utilizado, acumulado a lo largo del año. En el gráfico se observa que se pueden aprovechar 5,490 m<sup>3</sup>/año (0.17 L/s) de agua de lluvia, a lo largo del año; este volumen representaría el 87% de la demanda total anual, necesaria para el riego de los nuevos jardines.

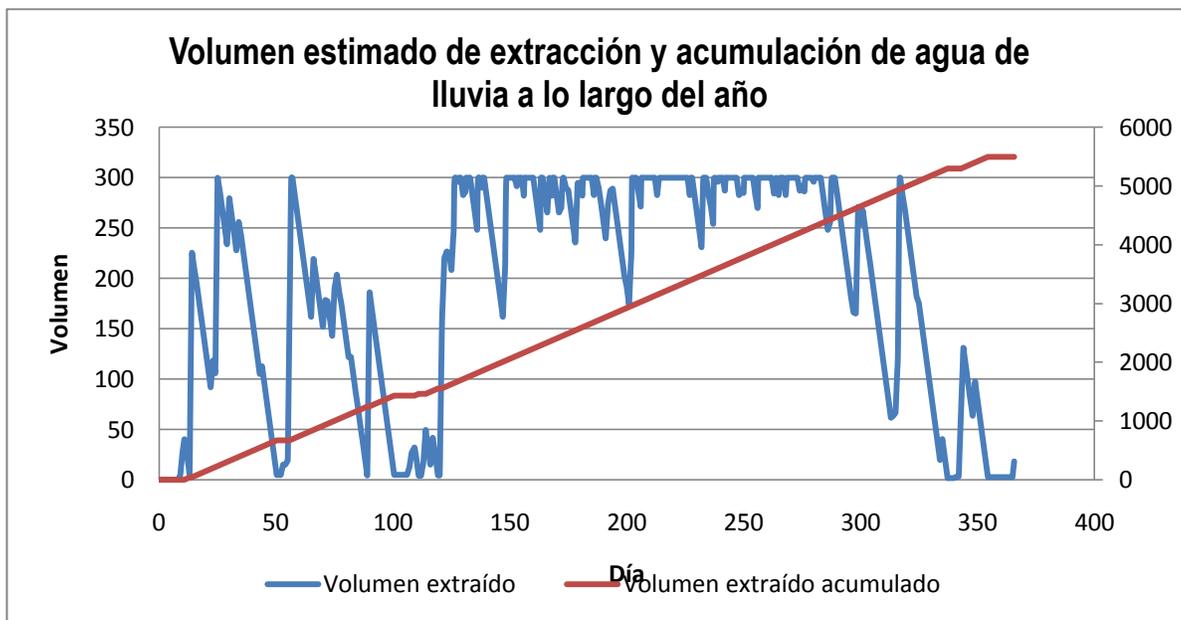


Figura 4. 3. Volumen captado y utilizado acumulado en los techos de los edificios de la ZUP

Debido a que el volumen necesario para satisfacer la demanda ha variado, es necesario estimar que días operará el sistema de bombeo. Para un gasto de 0.2 L/s, la bomba podrá operar durante 324 días. El gráfico de operación de la bomba y la distribución de los días de operación ésta se muestran en la figura 4.4 y 4.5.

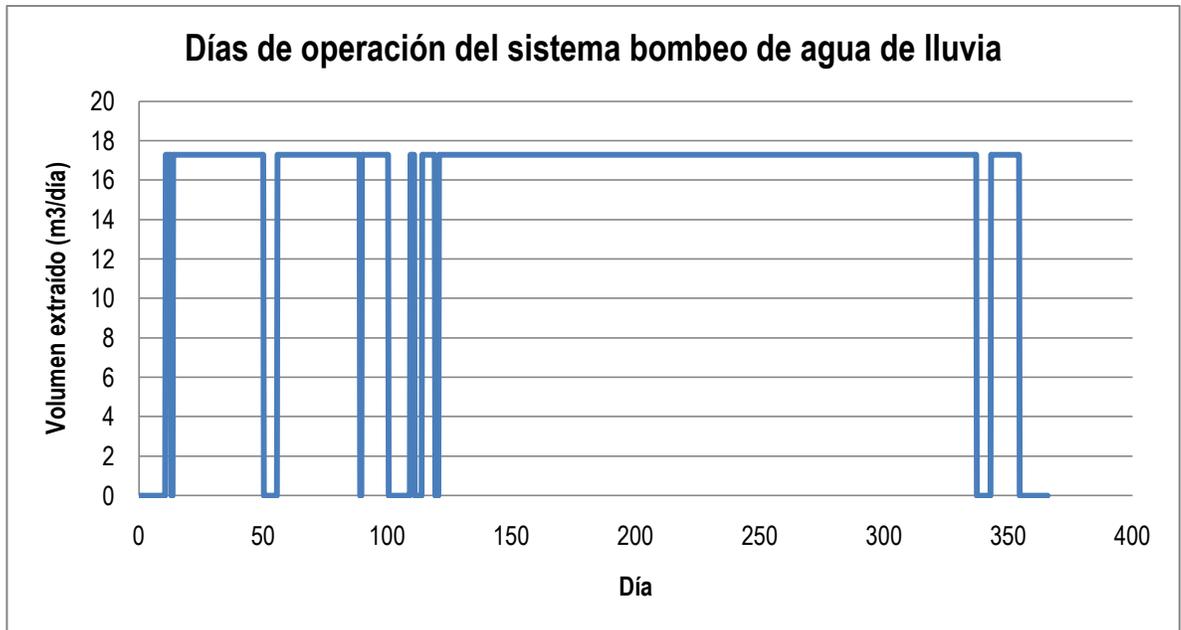


Figura 4. 4. Gráfico de operación del sistema de bombeo de agua de lluvia.



Figura 4. 5. Distribución de los días de operación del sistema de bombeo durante el año

Se observa que existe un cambio en los días de operación de la bomba y en la distribución de los días que opera el sistema de bombeo, debido a que el gasto disminuye considerablemente y a que el volumen de almacenamiento necesario también se reduce a consecuencia de esto.



El volumen de necesario para el almacenamiento del agua de lluvia será de 330 m<sup>3</sup>, por lo tanto se propone el uso de 3 tanques de almacenamiento con las siguientes dimensiones 7.5m de largo, 5 de ancho y 3 m de profundidad, estos 3 tanques combinados, tendrán una capacidad de almacenamiento de 337.5m<sup>3</sup>.

#### 4.2.3.1 Viabilidad del escenario

En este escenario, se considera el cambio de la jardinería, a estos costos, es necesario agregar los costos necesarios para la instalación, construcción, conducción y tratamiento de agua de lluvia. Para la construcción del tanque de almacenamiento es necesario conocer el material en que se construirá pues los costos de construcción varían según el lugar donde se construirá, la mano de obra y otros factores, pero principalmente, el que dictamina el costo final del tanque es el material con que este se elabora. Los materiales mas utilizados son: el concreto (\$2.55 M.N. /L de almacenamiento necesario) y el polipropileno (\$2.23 M.N. /L de almacenamiento). Para estos dos casos el costo del tanque será:

- Sí es necesario un volumen de almacenamiento de 337.5 m<sup>3</sup>, el costo del tanque de concreto estimado será de \$860,625.00 M.N.
- Para un tanque de polipropileno con el mismo volumen el costo estimado será de \$752,625.00 M.N.

(TWDB, 2005)

A estos costos de construcción del tanque de almacenamiento es necesario incluir el de los sistemas de conducción. De acuerdo al TWDB (2005) se necesitan \$12.20 M.N. /m lineal de tubería (construida en plástico o vinilo) para la conducción del agua de lluvia al tanque de almacenamiento.

Otros dispositivos necesarios para el sistema de captación son:

- Las rejillas para la remoción de sólidos gruesos
- El sistema para la descarga de la primer agua de lluvia captada
- El sistema de tratamiento de agua de lluvia
- El sistema de bombeo

En este caso, el gasto necesario para el riego de la nueva jardinería de la ZUP es 90% al actual. Con el volumen de agua de lluvia captado se satisface el 87% de la demanda de agua para el riego de las áreas verdes. Para este volumen de almacenamiento, el sistema de captación es viable técnica y ambientalmente hablando. El cambio de la jardinería podrá disminuirse por completo y el riego de los jardines con agua de lluvia será factible.



### 4.3 Escenarios generados por la captación de agua de lluvia

#### 4.3.1 Uso de agua de lluvia para el suministro en retretes actuales y retretes de bajo consumo

##### consumo

El gasto estimado necesario para suministrar los 544 inodoros que existen actualmente en la ZUP es 2.04 L/s. Debido a que se propone el cambio de los muebles sanitarios por unos con consumo de 6 y 4.8 L/descarga, es posible reducir el gasto a 1.57 o 1.29 L/s respectivamente, tomando en cuenta esto, se analizó el utilizar agua de lluvia captada para suministrar los retretes. Se analizó lo siguiente:

- Volumen total acumulado posible a utilizar
- Días de operación del sistema de bombeo
- Dimensión del tanque de almacenamiento de agua de lluvia

Para suministrar los 544 retretes que actualmente existen dentro de la ZUP es necesario un volumen anual de 64,333 m<sup>3</sup>/año, el sistema de captación de agua de lluvia puede proveer un total de 16,788 m<sup>3</sup>/año, que representa el 26 % del total necesario.

Con esta demanda, el sistema de bombeo operará durante 107 días y será necesario un volumen de almacenamiento de 1,585 m<sup>3</sup>, que puede ser dividido en tres tanques de 585 m<sup>3</sup> cada uno con dimensiones de 11 m de ancho, 11 de largo y 4.85m de profundidad.

Se obtuvo que el volumen total acumulado que es posible aprovechar en el suministro de los nuevos retretes propuestos con 6 L/descarga es de 16,752.53 m<sup>3</sup>/año, es decir 0.53 L/s, que representa el 33.8% de los 49,511.52 m<sup>3</sup>/año, necesarios para satisfacer la demanda generada estimada para los nuevos sanitarios.

Para estos datos, el sistema de bombeo operará un total de 134 días. Para que esto suceda, es necesario una capacidad de almacenamiento de 2,348.5 m<sup>3</sup>, que dividido en 3 tanques de almacenamiento que se han venido proponiendo durante el desarrollo de esta investigación, los tanques deben de tener una capacidad de 783 m<sup>3</sup> (12m de ancho x 12 m de largo y 5.45 m de profundidad)

Para el caso en que la sustitución de los inodoros, sea por aquellos de consumo de 4.8L/descarga, se podrá aprovechar para el suministro de estos, un total de 16,746 m<sup>3</sup>/año, es decir 0.53 L/s, que representa el 41 % de los 40,681 m<sup>3</sup>/año, necesarios para cubrir su demanda.

Con este gasto, el sistema de bombeo operará durante 160 días. Será necesario un volumen de almacenamiento de 2,816 m<sup>3</sup>, es decir, 3 tanques de 939 m<sup>3</sup> (13 m de ancho x 13 de largo y 5.55m de profundidad).



De acuerdo a las alternativas propuestas para el uso de agua de lluvia captada, se puede reducir el consumo un 26, 33.8 y un 41 % para las alternativas aquí mostradas, al final la reducción en el consumo de agua potable, necesario para las necesidades de la ZUP será de:

Tabla 4. 13. Comparación de los ahorros obtenidos mediante el uso de agua de lluvia para el suministro de retretes en la ZUP

Escenario	Gasto total inicial necesario para los servicios de la ZUP(L/s)	Ahorro total en el consumo generado de retretes	Gasto final necesario de agua, para el suministro de retretes (L/s)	Gasto final necesario de agua, para el suministro de servicios en la ZUP (L/s)	Porcentaje ahorrado del total necesario en la ZUP
Actual	6.00	26%	1.51	5.47	9%
Con uso de retretes de 6 L/descarga	5.54	34%	1.04	5.01	9.6%
Con uso de retretes de 4.8 L/descarga	5.26	41%	0.76	4.73	10%

#### 4.3.1.1 Viabilidad del escenario

Los costos necesarios para los tanques de almacenamiento construidos en concreto son:

- Para el escenario actual: \$4,041,750 M.N.
- Para el escenario con retretes de 6L/descarga: \$5,988,675 M.N.
- Si se desea llevar a cabo el último escenario, el costo será de: \$7,181,055 M.N.

Si se desea construir los tanques en polipropileno, el costo necesario para construir estos tanques será de: \$3,534,550, \$5,237,155 y \$6,279,903.

De las tres opciones presentadas para este escenario, sería factible el uso de retretes nuevos y el abastecimiento de estos con agua de lluvia, sin embargo, debido a que el agua de lluvia es disponible estacionalmente, el beneficio obtenido solo es temporal y el costo necesario para llevarlo a cabo es demasiado. Para llevar a cabo este escenario, es necesario un volumen de almacenamiento mayor, en consecuencia el costo del sistema de captación de agua de lluvia se incrementa.

Sí en cambio, se utiliza esta fuente de agua en los retretes actuales, el costo disminuye sin embargo los días de operación son menos, por tanto, este escenario no es viable.



## CONCLUSIONES

Actualmente la ZUP de la UASLP tiene deficiencias en el suministro, medición y utilización del agua potable dentro de las instalaciones. No existe un sistema que permita medir el consumo de agua potable de una manera precisa. La jardinería existente no es la más adecuada a las condiciones climáticas de la ciudad y por lo tanto el consumo de agua es elevado. Existen muebles sanitarios dentro de los edificios que son obsoletos y que por tanto utilizan demasiada agua, solo los edificios de reciente construcción poseen dispositivos ahorradores como inodoros con descargas de 6 L y mingitorios con nulo o bajo consumo de agua. Además solo existe una tubería para el suministro de los muebles y otro para la descarga de agua residual que mezcla aguas grises y negras.

Las aguas residuales generadas dentro de la ZUP se vierten en el drenaje municipal, sin que esto sea un problema de ningún tipo, sin embargo, con el debido tratamiento de estas aguas, se puede obtener una fuente de suministro para servicios en actividades que no requieran de agua de calidad potable.

El consumo actual de en los servicios de la ZUP según el estudio realizado por Rueda (2004), es de 6 L/s para satisfacer todas sus necesidades. El presente trabajo demuestra que se puede conseguir una disminución significativa en el consumo de este valor dentro de la ZUP. Se demostró que el consumo de agua por los inodoros de los edificios se puede reducir en un 23%, esto representa el 8% del agua total que se consume dentro de la ZUP, otra opción de sustitución de los muebles sanitarios demostró que se puede reducir en un 37% el consumo de agua de los inodoros, esto significa un ahorro del 12.5% en el consumo total de agua.

En el presente estudio, no se analizó el gasto generado por los mingitorios, pero, de acuerdo a los datos obtenidos de ahorro de agua en inodoros, es lógico pensar que puede existir un ahorro aún más significativo en el consumo de agua si se estudia el consumo de los mingitorios actuales y la viabilidad de cambiarlos por mingitorios de nulo consumo como los que existen actualmente en algunos edificios de la ZUP. Esta alternativa puede influir en las dimensiones del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Una alternativa mas, fue el cambio de la jardinería actual a xerojardinería, los resultados obtenidos demuestran que el consumo en la jardinería puede reducirse, de acuerdo a las propuestas realizadas, de 1.65 L/s a 0.2 L/s, que representa el 88% del consumo en el riego de áreas verdes y el 24% del consumo total actual.

En el cambio de la jardinería se tiene que tener cuidado con la combinación que se elija, pues actualmente los jardines de la ZUP presentan un paisaje al cual la población está acostumbrada. Es



necesario el uso de plantas que permitan un paisaje similar o agradable a los estudiantes y el personal de la universidad.

Otra propuesta realizada es la de captación del agua de lluvia para utilizarlo en diferentes actividades dentro de la ZUP. El agua captada se puede utilizar en el riego de los jardines actuales, representando el 32% del consumo total actual de 1.65 L/s, o en el riego de xerojardinería (con necesidades de 0.2 L/s), que representaría además del ahorro del 90% (1.45 L/s) de uso de agua potable en el riego de jardines, una disminución en el consumo de agua del 24% disminuyendo de 6 a 4.55 L/s. O bien en el uso de agua para la descarga en retretes actuales (ahorro del 26% en el consumo de agua potable) o descarga de retretes propuestos con bajo consumo de agua para este último caso se obtendría una disminución que va desde el 34-41% dependiendo del tipo de inodoro que se utilice para sustituir los muebles actuales, además, una disminución en el consumo de agua reduciéndolo de 6 L/s hasta 5.01 o 4.73 L/s (16.5-21% menos del consumo actual).

El aprovechamiento de las aguas residuales proveerá a la ZUP de una fuente de agua de buena calidad para diferentes usos (que no requieran agua potable) dentro de las instalaciones como el riego de los jardines actuales o el suministro de los inodoros, incluso ambas, cubriendo la totalidad de la demanda de estos dos servicios pues actualmente se estima que se generan dentro de la ZUP 4.34 L/s de aguas residuales sin tratar, el consumo actual estimado de estos servicios es de 3.69 L/s. El cambio de los muebles modificaría el gasto generado por lo que se recalculó las dimensiones y el gasto generado para el caso, de acuerdo a esto el nuevo gasto generado sería de 3.39-3.74 L/s, el agua necesaria para cubrir la demanda por la nueva jardinería y los nuevos sanitarios sería de 1.50-1.78L/s, este gasto puede ser fácilmente cubierto por el gasto de agua residual generado.

Al haber una reducción en el consumo de agua potable, impacta directamente en el gasto de agua residual generado y por lo tanto en las dimensiones del sistema de tratamiento de aguas residuales, sin embargo la diferencia no fue muy significativa, debido a que la calidad de agua residual que se está considerando es la misma para los escenarios proyectados.

El escenario más viable y que representa el ahorro más significativo en el consumo de agua en los servicios de la ZUP es el del cambio de los muebles sanitarios dentro de la ZUP (ahorro de 8 a 12.5% del consumo actual), cambio de la jardinería actual por xerojardinería (ahorro del 24%) y el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales que se generan dentro de la ZUP (disminución de un 77-79 % en el consumo de agua potable), en total se reduciría el consumo de agua (potable o residual tratada) en la ZUP un 32 a un 36.5%.

Por lo anterior, se concluye que es viable llevar a cabo estos escenarios pues se puede reducir el consumo de agua, sin embargo de acuerdo a los visto y a los costos estimados, el llevar a cabo estos escenarios es costoso debido a que los edificios de la ZUP no fueron planeados para llevar



a cabo las propuestas mencionadas. Para ello sería necesario dividir las tuberías que suministran agua a los muebles sanitarios para permitir un suministro de agua diferente al agua potable. Dividir las descargas de agua residual en aguas grises y negras. Además de esto, no se tenía planeado la recolección de las aguas residuales para un tratamiento y posterior reutilización, por tanto, no existe un espacio destinado para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales.

A pesar de esto se piensa que las alternativas aquí propuestas se pueden llevar a cabo dentro de los edificios de mayor antigüedad pues las instalaciones son algo viejas y puede existir un deterioro de estas.

Se implementen o no estos escenarios, es necesario llevar a cabo una planeación al construir edificios, pues como se vio en el presente trabajo, al querer implementarlas cuando ya se ha edificado, las alternativas disponibles son menores y aquellas viables son costosas. Estas alternativas propuestas pueden implementarse en proyectos futuros de la UASLP o cualquier institución que se interese en la conservación y uso sustentable de los recursos.

### **Recomendaciones**

La construcción de los edificios actuales, ya no debe de ser concebida de manera tradicional, los nuevos edificios deben de construirse pensando en el uso de nuevas alternativas para el ahorro y suministro de agua. Y analizar todas las alternativas viables para minimizar el uso de los recursos disponibles. En el caso de zonas universitarias o complejos habitacionales, es recomendable analizar las propuestas aquí mencionadas.

En cuanto los aspectos técnicos del estudio realizado, se recomienda que:

Para futuros estudios al respecto, se realice un aforo de las descargas que actualmente existen en la ZUP, los datos de gasto aquí presentados son estimaciones que se realizaron a partir de datos obtenidos de bibliografía sobre estudios anteriores.

Estudiar la viabilidad de separar las tuberías de agua en los sanitarios de los edificios de la ZUP, para dividir aquella que suministra agua a los tanques de los inodoros o a los mingitorios y la que suministra los lavamanos.

En el estudio aquí realizado no se toma en cuenta la sustitución de los mingitorios por mingitorios de bajo o nulo consumo de agua, es necesario estimar el gasto generado por los mingitorios de la ZUP, estudiar la viabilidad del cambio de los mingitorios actuales, por mingitorios de bajo consumo o bien, utilizar agua residual tratada para el suministro de agua en estos.

Analizar la posibilidad de solo utilizar plantas que sean nativas de la ciudad en los jardines de la ZUP, de esta manera el consumo de agua puede ser aun mas bajo que el actual. Proponer y analizar la viabilidad de uso de riego tecnificado para las áreas verdes. Además consultar un paisajista



que sepa utilizar los espacios de la ZUP y las plantas propuestas en este estudio para crear áreas verdes que sean del agrado de la población universitaria.

Estudiar la calidad del agua de lluvia que se capta en los edificios de la ZUP y ver la viabilidad de utilizar esta agua sin necesidad de un tratamiento, o bien, estudiar la calidad de agua de lluvia que se puede captar en todas las áreas de la ZUP ya sea: banquetas, calles, áreas verdes, edificios, etc. y los tratamientos necesarios para reutilizar esta agua en los servicios de la ZUP.

De acuerdo a los resultados, habrá un exceso de agua residual tratada, por lo que es necesario estudiar otros usos que se le puede dar al agua dentro de la ZUP o bien, ver la posibilidad de la venta a terceros como a las instituciones educativas que se encuentran en la zona. Otra alternativa viable es vender el agua al municipio para el riego de jardines, tomando en cuenta la cercanía que tiene la ZUP con el Parque Morales.

El uso de mingitorios ahorradores disminuirá el gasto de agua residual generado en la ZUP por lo tanto es necesario redimensionar el sistema de tratamiento de aguas residuales para la ZUP y en caso de que exista una diferencia significativa en las dimensiones de las unidades analizar la posibilidad de reubicación de los sistemas de tratamiento.



## Referencias

- Abdul, H., Arsenault, L., Bachiu, T., Garrey, S., MacGillivray, M. y Uloth, D. (2006). Rainwater Collection System: A Feasibility Study for Dalhousie University. Dalhousie University. [En línea]. Consulta el: 05/01/2009. Consulta por web. URL: <http://environmental.science.dal.ca/Files/Environmental%20Programs/WaterProjectCombined.pdf>
- Adler, I., Carmona, G., Bojalil, J. (2008). Manual de Captación de Agua de Lluvia para Centros Urbanos. [En línea]. Consulta el: 23/02/2010. Consulta por web. URL: <http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION%20oct%202008.pdf>.
- Alden, D. (2004). Evaluación Económica de un Tren de Tratamiento de Agua Residual para la UDLA-P. Tesis de profesional. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de las Américas de Puebla. México.
- Amha, R., (2006). Impact assessment of rainwater harvesting ponds: The case of Alaba Woreda, Ethiopia. Tesis de maestría. Faculty of Business and Economics. Addis Ababa University.
- Amiraly, A., Prime, N. y Singh, J. (2004). "Rainwater Harvesting, Alternative to the Water Supply in Indian Urban Areas: The Case of Ahmedabad in Gujarat," IIMA Working Papers 2004-04-01, Indian Institute of Management Ahmedabad, Research and Publication Department.
- Arevalo, E.*et al.* (2009). Reuso del Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus de la Universidad Rafael Landívar para el Riego de los Jardines del Campus. Facultad de Ingeniería. [En línea]. Consulta el: 03/05/2010. Consulta por web. URL: [http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_13\\_QUI02.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_13_QUI02.pdf).
- Arid Zone Trees. (S/f). *Prosopis velutina*, fact sheet [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web. URL: <http://www.aridzonetrees.com/images/Cut%20sheets/prvel05.pdf>
- Australian Government. (2008). Rainwater tank design and installation handbook. Australia.
- Azimi, A., Zamanzadeh, M. (2004). Determination of Design Criteria for UASB Reactors as a Wastewater Pretreatment System in Tropical Small Communities. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 1, 1, 51-57.
- Banu, J., Kaliappan, S., Yeom I. (2007). Treatment of Domestic Wastewater using upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4, 3, 363-370.



- Bertolino, S., Carvalho, F., Aquino, S. (2008). Caracterização e Biodegradabilidade Aeróbia e Anaeróbia dos Esgotos Produzidos em Campus Universitário. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 13, 03.
- Bhattacharya, A. y Rane, O. (s/f). Roof Top Rainwater Recharge. Centre for Civil Society. [En línea]. Consulta el 21/01/2009. Consulta por Web. URL: [www.ccsindia.org/policy/enviro/studies/wp0076.pdf](http://www.ccsindia.org/policy/enviro/studies/wp0076.pdf).
- Borguett, V., et al.. (2003). Manual para el Uso Eficiente y Racional del Agua. 1ra edición. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Callaghan, A. (2001). Becoming a desert gardener. University of Nevada. [En línea]. Consulta el 23/03/2009. Consulta por web. URL: <http://www.unce.unr.edu/publications/files/ho/2001/sp0115.pdf>.
- Chatila, J. (s/f). Performance of the Wastewater treatment at LAU Campus. [En línea]. Consulta el: 03/05/2010. Consulta por web. URL: <http://www.docstoc.com/docs/32193338/Performance-Evaluation-of-the-Wastewater-Treatment-Plant-at-LAU>.
- Ciner, F. Sarioglu, M. (2006). Determition of Inert Chemical Oxigen Demand (COD) Fractions of Cumhuriyet Wastewater. *Global Nest Journal*. 8, 1, 31-36.
- City of Albuquerque. (1995). *Rainwater Harvesting: Supply from the Sky*.
- City of Botany Bay. (2002). Guidelines for the design of stormwater drainage systems within city of Botany Bay. [En línea]. Consulta el: 26/02/2009. Consulta por web. URL: <http://www.botanybay.nsw.gov.au/pdf/engineering/august/guide-drainagev7.pdf>.
- Colín, I. y Valdés, J. (S/f). Captación de agua pluvial para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México mediante sistemas de Infiltrómetros. [Enlínea]. Consulta el 05/01/2009. Consulta por web. URL: [alojamientos.us.es/ciberico/archivos\\_word/21b.doc](http://alojamientos.us.es/ciberico/archivos_word/21b.doc)
- Collado, R. (2008) La depuración de aguas residuales en pequeños núcleos: situación actual, compromisos y alternativas. *Rev. Tec. Del Med. Amb.* 21, 124, 80-91.
- Comer, J. (2001). Creating a desert garden. Turfgrass information file. [En línea]. Consulta el: 23/03/2009. Consulta por web. URL: <http://turf.lib.msu.edu/2000s/2001/010718.pdf>
- Comisión Estatal de Agua (CEA) Queretaro. (2009). Manual para las instalaciones de Agua Potable, Agua Tratada, Drenaje Sanitario y Drenaje Pluvial de los Fraccionamientos y Condominios de las Zonas Urbanas del Estado de Querétaro. [En línea]. Consulta el: 09/09/2009. Constula por web. URL: <http://www.ceaqueretaro.gob.mx/users/ceaqro/publicaciones/Manual2009/VIIIDispositivosahorradores.pdf>.



- Comisión Nacional del Agua. (2009) Inventario Nacional de Plantas de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación Diciembre 2008. México.
- CONAGUA. (2000). Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento: Alcantarillado Sanitario. Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas. Subdirección General Técnica.
- Concurrent Technologies Corporation. (1998). *Municipal Wastewater Treatment Technologies Matrices*. Environmental Export Council. Washington D. C., USA.
- Department of Environmental and Conservation. (2006). Managing Urban stormwater: harvesting and reuse. Published by the Department of Environment and Conservation of New South Wales. Australia
- Elmitwalli, T.m Shalabi, M., Otterpohl R. (2007). Grey Water Treatment in UASB Reactor at Ambient Temperature. *Water Sci. Tech.*, 55, 7, 173-180.
- Eriksson, E. *et al.* (2002). Hazard identification of rainwater collected for non-potable reuse in households. [En línea]. Environmental and Resources DTU. [En línea]. Consulta el 26/12/2008. Consulta por web. URL: [www.enpc.fr/cereve/HomePages/thevenot/www-jes-2002/Eriksson-Paper-2002.doc](http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/thevenot/www-jes-2002/Eriksson-Paper-2002.doc). Eriksson, E., Baun, A., Mikkelsen, P. y Ledin, A. (2005). Chemical hazard identification and assessment tool for evaluation of stormwater priority pollutants. *Wat. Scien. and Tech.* 51, 2, 47-55.
- Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Montecillos, J., Servín, C. y Villavicencio, F. (2003). El reuso del agua residual tratada en México. [En línea]. Consulta el: 04/05/2010. Consulta por web. URL: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/agua2003/reus.pdf>.
- Escalas, A. (2009). Perspectivas del Saneamiento en México: Costos e Impactos de las Tecnologías. Presentado en el Curso Internacional: *Tecnologías de Bajo Costo y Bajo Impacto Ambiental para el Tratamiento de las Aguas Residuales Municipales*. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 30 de Junio-8 de Julio.
- Garrido *et al.* (2007). Planta potabilizadora de agua de lluvia rodada: se construyo para Villa Nicolás Zapata, Morelos. *Gaceta del IMTA*, 3.
- Gallagher, N. Sharvelle, S. (2010). Anaerobic Digestión of Blackwater on the CSU Foothills Campus. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University.
- Georgia Rainwater Harvesting Guidelines (GRWHG). (2009). [En línea]. Consulta el: 26/08/2010. Consulta por web. URL: <http://www.scribd.com/doc/34474311/Rainwater-Collection-Georgia-Rainwater-Harvesting>.
- Gilman, E. (1999a). *Euphorbia millii*, fact sheet. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Science. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web. URL: <http://hort.ufl.edu/shrubs/EUPMILA.PDF>



- Gilman, E. (1999b). *Setcreasea pallida*, fact sheet. University of Florida. [En línea]. Consulta el: 09/02/2010. Consulta por web. URL: <http://hort.ifas.ufl.edu/shrubs/SETPALA.PDF>.
- Gilman, E., Howe, T. (1999). *Gomphrena globosa*, fact sheet. University of Florida. [En línea]. Consulta el: 09/02/2010. Consulta por web. URL: <http://hort.ifas.ufl.edu/shrubs/GOMGLOA.PDF>.
- Gilman, E., Marshall, D. (1999). *Salvia leucantha*, fact sheet. University of Florida. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web. URL: <http://hort.ufl.edu/shrubs/SALLEUA.PDF>.
- Gilman, E., Watson, D. (1993). *Juniperus deppeana*, fact sheet. University of Florida. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web. URL: <http://hort.ufl.edu/trees/JUNDEPA.pdf>.
- Gilman, E., Watson, D. (1994a). *Prunus cerasifera*, fact sheet. University of Florida [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://hort.ufl.edu/trees/PRUCERC.pdf>.
- Gilman, E., Watson, D. (1994b). *Quercus virginiana*, fact sheet. University of Florida [En línea] Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://hort.ufl.edu/trees/QUEVIRA.pdf>.
- Gilman, E., Watson, D. (1994c). *Washingtonia filifera*, fact sheet. University of Florida. [En línea]. Consulta el: 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://hort.ifas.ufl.edu/trees/WASFILA.pdf>
- Gilman, E., Watson, D. (1994d). *Washingtonia robusta*, fact sheet. University of Florida. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://hort.ifas.ufl.edu/trees/WASROBA.pdf>
- Gobierno de la Ciudad de México (s/f). Catálogo de productos y dispositivos ahorradores de agua. [En línea]. Consulta el: 28/04/2010. Consulta por web. URL: <http://www.icyt.df.gob.mx/documents/varios/CatalogosAhorradoresdeAgua.pdf>.
- Guevara, A. (2007). *Distribución Espcial y Abastecimiento del Agua para Uso Humano, en el Área Metropolitana de la Ciudad de San Luis Potosí: Problemática, Implicaciones y Alternativas*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
- Hat, B., Deletic, A. y Fletcher, T. (2004). Integrated storm water treatment and re-use systems: Inventory of Australian practice. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
- Hernández, E., Montero, G. (2009). Manual de Pruebas a Instalaciones Sanitarias. Guía Práctica para la Evaluación de Muebles y Aparatos Sanitarios. UNAM. Consulta por web. URL: <http://www.pumagua.unam.mx/docs/ManualSanitarios.pdf>. Consulta el: 27/04/2010.
- LaBranche, A., Wack, H., Crawford D., Crawford, E., y Brand, E. (2007). *Virginia Rainwater Harvesting Manual*. The Cabell Brand Center.
- Lara, C. et al. (s/f) *Postratamiento del Efluente de un Reactor UASB por Medio de un Humedal Artificial*. [En línea]. Consulta el: 06/10/2010. Consulta por web. URL: <http://www.google.com.mx/#hl=es&biw=1366&bih=705&q=Postratamiento+del+Efluente+de+u>





- Mountain States Wholesale Nursery. (1999b). *Anisacanthus quadrifidus*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Anisacanthus%20quadrifidus%20Mexican%20Flame.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (1999c). *Baccharis sarothroides*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Baccharis%20hybrid%20Thompson.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (1999d). *Leucophyllum frutescens*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Leucophyllum%20frutescens%20Green%20Cloud.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (1999e). *Salvia farinacea*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/salvia%20fainacea.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (1999f). *Tecoma stans*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Tecoma%20stans.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2001a). *Chilopsis linearis*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Chilopsis%20linearis%20Lucretia%20Hamilton.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2001b). *Nolina microcarpa*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Nolina%20microcarpa.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2001c). *Pedilanthus macrocarpus*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/pedilanthus%20macrocarpus.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2002a). *Agave americana*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Agave%20americana.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2002b). *Melampodium leucanthum*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Melampodium%20leucanthum.pdf>.



- Mountain States Wholesale Nursery. (2002c). *Prosopis juliflora*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/prosopis%20juliflora.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2002d). *Ruellia brittoniana*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Ruellia%20brittoniana%20Dwarf.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2004a). *Acacia greggii*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Acacia%20greggii.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2004b). *Caesalpinia mexicana*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Caesalpinia%20mexicana.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2004c). *Prosopis glandulosa*, fact sheet. [En línea]. Consulta el: 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/prosopis%20glandulosa.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005a). *Acacia Constricta*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Acacia%20constricta.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005b). *Atriplex canescens*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Atriplex%20canescens.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005c). *Bougainvillea "La Joya"*, fact sheet. [En línea]. Consulta el: 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Bougainvillea%20%27La%20Jolla%27.pdf>
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005d). *Caesalpinia pulcherrima*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Caesalpinia%20pulcherrima.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005e). *Caesalpinia gilliesii*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Caesalpinia%20gilliesii.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005f). *Cercis canadensis*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Cercis%20candadensis%20v%20mexicana.pdf>.



- Mountain States Wholesale Nursery. (2005g). *Cupressus arizonica*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Cupressus%20arizonica.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005h). *Dasyllirion miquihuanensis*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Dasyllirion%20miquihuanensis.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005i). *Fraxinus velutina*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Fraxinus%20velutina.pdf>
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005j). *Guaiacum coulteri*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Guaiacum%20coulteri.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005k). *Hyptis emori*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Hyptis%20emoryi.pdf>
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005l). *Lantana montevidensis*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Lantana%20montevidensis.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005m). *Parkinsonia microphylla*, fact sheet. [En línea] Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Parkinsonia%20microphylla.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005n). *Prosopis pubescens*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/prosopis%20pubescens.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005ñ). *Sophora secundiflora*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Sophora%20secundiflora%20%27Silver%20Peso%27.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005o). *Thymophylla pentachaeta*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Thymophylla%20pentachaeta.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005p). *Vauquelinia californica*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/vauquelinia%20californica.pdf>.



- Mountain States Wholesale Nursery. (2005q). *Yucca elata*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Yucca%20elata.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2005r). *Yucca glauca*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Yucca%20glauca.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006a). *Agave geminiflora*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Agave%20geminiflora.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006b). *Baileya multiradiata*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/baileya%20multiradiata.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006c). *Calliandra californica*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Calliandra%20californica.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006d). *Calliandra eriophylla*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Calliandra%20eriophylla.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006e). *Cordia parvifolia*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Cordia%20parvifolia.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006f). *Dalea pulchra*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Dalea%20pulchra.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006g). *Dodonaea viscosa*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Dodonaea%20viscosa.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006h). *Justicia californica*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Justicia%20californica.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006i). *Justicia spicigera*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Justicia%20spicigera.pdf>.



- Mountain States Wholesale Nursery. (2006j). *Parkinsonia florida*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Parkinsonia%20florida.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006k). *Ruellia peninsularis*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Ruellia%20peninsularis.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006l). *Sphaeralcea ambigua*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Sphaeralcea%20ambigua.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006m). *Tagetes lemmonii*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/Tagetes%20lemmonii%20Compacta.pdf>.
- Mountain States Wholesale Nursery. (2006n). *Zinnia grandiflora*, fact sheet. [En línea]. Consulta el 09/02/2010. Consulta por web: URL: <http://www.mswn.com/Plant%20Info%20Sheets/zinnia%20grandiflora.pdf>
- Muñoz, T. (2008). Xerojardinería, Jardinería Sostenible-Aplicación Racional. Congreso Nacional de Parques y Jardines Públicos. Elche, España. Mayo 28 a 30.
- (MWGEWR) Multilateral Working Groups on the Environment and Water Resources. (1993). Workshop on wastewater treatment: alternatives for small communities. Southern California, USA.
- Nelson J. (1987). Water conserving landscape show impressive savings. AWWA Journal 79: 35-42
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".
- National Environmental Engineering Research Institute (NEERI). (2007). Grey Reuse in Rural School s. Guidance Manual. India.
- O'Callaghan, A. (2001). Becoming a desert gardener. University of Nevada. [En línea]. Consulta el 20/02/2008. Consulta por web: URL: <http://www.unce.unr.edu/publications/files/ho/2001/sp01115.pdf>
- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe (2000) "Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias de América Latina", Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 13, Santiago, Chile, 2000



- Peña, M.R. (2003). Pequeños sistemas para el tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. En: Memorias del Congreso Internacional Agua 2003, Seminario sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Cinara. Cartagena, Colombia
- Phillips, A. (2005). *City of Tucson: Water Harvesting Guidance Manual*. City of Tucson, Department of Transportation, Stormwater Management Section.
- PROY-NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.
- Rodriguez, P. (2003). El jardín Sin Agua: Propuesta para el Desarrollo de Áreas Verdes en el Espacio Exterior Potosino. Tesis profesional. Facultad del Habitat. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
- Roth Global Plastics Inc. (s/f). Rainwater harvesting systems. Roth Tech. [En línea]. Consulta el: 08/02/2009. Consulta por web. URL: [www.roth-global.net/tech/rainwater.pdf](http://www.roth-global.net/tech/rainwater.pdf).
- Rueda, A. (2004). *Modelación del Sistema de Agua Potable en la Zona Universitaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Santa Cruz, Y., Ordóñez, P., Jacobo, U. y Camiloaga, F. (2008) *Cosecha del Agua, una Práctica Ancestral: Manejo Sostenible de las Praderas Naturales*. Ed. DESCO. Programa Regional Sur.
- SFWMD (South Florida Water Management District). (2007). Xeriscape: como conservar el agua con técnicas eficientes en su jardín. Distrito de Administración del agua del estado de Florida. [En línea]. Consulta el: 27/03/2009. Consulta por web. URL: [www.sfwmd.gov/pls/portal/docs/PAGE/COMMON/PDF/splash/splxeris\\_sp.pdf](http://www.sfwmd.gov/pls/portal/docs/PAGE/COMMON/PDF/splash/splxeris_sp.pdf).
- Smith, C. (s/f). El mantenimiento de una casa: conservación de agua en los jardines: principios de xerojardinería. [En línea]. Mi propia casa. [En línea]. Consulta el: 23/03/2009. Consulta por web. URL: [www.nmhomeofmyown.com/espanol/mantenimiento/mantenimiento\\_pdf/Xerojardineria.pdf](http://www.nmhomeofmyown.com/espanol/mantenimiento/mantenimiento_pdf/Xerojardineria.pdf).
- Souza, M. (1986). Criteria for the Utilization, Design and Operation of UASB Reactors. *Wat. Sci. Tech.* 18, (12) 55-69.
- Sovocool, K., Rosales, J. (2003). A Five Year Investigacion into the Potencial Water and Monetary Savings of Residential Xeriscape in the Mojave Desert. [En línea]. Consulta el: 26/01/10. Consulta por web. URL> [http://www.snwa.com/assets/pdf/xeri\\_study.pdf](http://www.snwa.com/assets/pdf/xeri_study.pdf).
- Tawkif, A., El-Gohary, F., Temmik, H. (2009). Treatment of Domestic Wastewater in an upflow Anaerobic



- TCEQ (Texas Commission on Environmental Quality) (2004). TAC 290 Subchapter F: Drinking Water Standards Governing Drinking Water Quality and Reporting Requirements for Public Water Systems
- TCEQ (Texas Commission on Environmental Quality). (2007). *Rainwater Harvesting: Guidance for Public Water Systems*. Published by Water Supply Division.
- Thomas, T.H. and Martinson, D.B. (2007). *Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners*. Delft, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre. (Technical Paper Series; no. 49). 160 p. Miller (2002)
- TRHC (Texas Rainwater Harvesting Committee). (2006). *Rainwater Harvesting: Potential and Guidelines for Texas*. Published by Texas Water Development Board.
- TWDB (Texas Water Development Board). (2005). *Texas manual on rainwater harvesting*. 3rd edition.
- Universidad Iberoamericana. (2008). Ibero Campus Verde, Diagnóstico y Plan de Acción. [En línea]. Consulta el: 03/05/2010. Consulta por web. URL: [http://www.uia.mx/web/files/pma/diagnostico\\_y\\_plan\\_de\\_accion.pdf](http://www.uia.mx/web/files/pma/diagnostico_y_plan_de_accion.pdf).
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Estándares del reglamento nacional primario de agua potable. Oficina de Agua 4606. EPA 815-F-00-007
- U.S. Environmental Protection Agency and U. S. 2004. Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108. Washington, DC.
- Victoria Government. (2007). Rainwater use in urban communities: guidelines for non-drinking applications in multi-residential, commercial and communities facilities. Publicado por el gobierno de Victoria, Australia.
- Von Sperling, M., Freire, V., Chernicharo, L. (2001) Performance Evaluation of a UASB-Activated Sludge System Treating Municipal Wastewater. *Water Sci. Tech.*, 43, 11, 323-328.
- Waterfall, P.(2004). *Harvesting Rainwater for Landscape Use*. Second Edition. The University of Arizona.
- Welsh, D. (s/f). Xeriscape: North Carolina. National Xeriscape Council. [En línea]. Consulta el: 26/02/2009. Consulta por web. URL: <http://www.ncsu.edu/wrri/uwc/xeriscape.pdf>.
- Welsh, D. (s/f). Xeriscape: North Carolina. NC State University. [En línea]. Consulta el: 26/02/2009. Consulta por web. URL: <http://www.ncsu.edu/wrri/uwc/xeriscape.pdf>.
- Welsh, Douglas F., William C. Welch, and Richard L. Duple. 1988. Landscape Water Conservation. Bulletin B-1584 of the Texas Agricultural Extension Service. College Station, TX: The Texas A&M University System.



- Wong, M. (2008). Xeriscape plants. Department of Tropical Plants and Soil Sciences. [En línea]. Consulta el: 26/02/2009. Consulta por web. URL: <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/OF-42.pdf>.
- WPL. (s/f). Rainwater harvesting systems. [En línea]. Consulta el: 08/02/2010. Consulta por web. URL: [www.wpl.co.uk/docs/RH/Brochure.pdf](http://www.wpl.co.uk/docs/RH/Brochure.pdf).

## Anexos

### A. Plantas propuestas para sustituir a la jardinería actual de la ZUP

#### Arbustos



Figura A.1 A) *Acacia Constricta*; B) *Caesalpinia gilliesii*; C) *Anisacanthus quadrifidus*; D) *Calliandra eriophylla*. Fuente: Mountain States Wholesale Nursery: 1999b, 2005a, 2005e y 2006d.



Figura A.2. A) *Vauquelinia californica*; B) *Cordia parvifolia*; C) *Ruellia peninsularis*; D) *Guaiacum coulteri*. Fuente: Mountain States Wholesale Nursery: 2005j, 2005p, 2006e y 2006k.



Figura A.3. A) Bougainvillea "La Joya" B) Leucophyllum frutescens C) Dalea pulchra. Fuente: Mountain States Wholesale Nursery: 1999d, 2005c y 2006f.

## Arboles



Figura A. 4. A) *Cercis canadensis*; B) *Fraxinus velutina*; C) *Prosopis pubescens*. Fuente: Mountain States Wholesale Nursery: 2005f, 2005i y 2005n.



**Cactáceas**



Figura A. 5. A) *Agave geminiflora*; B) *Pedilanthus macrocarpus*; C) *Agave palmeri*; D) *Yucca glauca*.  
Fuente: Mountain States Wholesale Nursery: 1999a, 2001c, 2005r y 2006a.

## Cubresuelos



Figura A.6. A) *Baileya multiradiata*, B) *Salvia farinicea*, C) *Lantana montevidensis*, D) *Sphaeralcea ambigua*, E) *Melanpodium leucanthum*. Fuente: Mountain States Wholesale Nursery: 1999e, 2002b, 2005l, 2006b y 2006l.