



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE UNA LAGUNA ORNAMENTAL APROVECHANDO
LAS AGUAS PLUVIALES EN EL CAMPUS DE LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

TRABAJO DE GRADO

Presentado ante la
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR:	Lozada N., Cipriano E.
PROFESOR GUÍA:	Ing. Ochoa I., José.
FECHA:	Caracas, junio de 2019.



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE UNA LAGUNA ORNAMENTAL APROVECHANDO LAS AGUAS PLUVIALES EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo, ha evaluado su contenido con el
resultado: Diecisiete (17)

TUTOR:

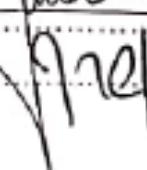
Nombre: JOSE OCHOA I.

Firma: 

JURADO EXAMINADOR:

Nombre: VINCENTO BONADIO P.

Nombre: Juan Carlos Martinez C.

Firma: 
Firma: 



REALIZADO POR:

Lozada N., Cipriano E.

PROFESOR GUÍA:

Ing. Ochoa I., José.

FECHA:

Caracas, junio de 2019.

DEDICATORIA

*Quiero dedicarle este trabajo,
a mi madre Themis Navarro,
y a mi hermana Victoria Lozada,
gracias por enseñarme y recordarme cada día,
que la vida no es una carrera de velocidad,
sino de resistencia.*

Esto es por y para ustedes...

CIPRIANO EMILIO LOZADA NAVARRO

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su constante apoyo y dedicación a lo largo de toda mi vida, tanto en mi crecimiento y formación personal como profesional, entregándome las bases necesarias para llegar a donde estoy y seguir siempre adelante.

Agradezco principalmente, a mi madre Themis Navarro, por todo el apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida, darme la fortaleza para seguir adelante, eres una luchadora, eres mi ancla.

Agradezco especialmente, a mi hermana Victoria Lozada, por su disposición para ayudarme siempre, más que mi hermana, eres mi mejor amiga, estoy muy orgulloso de ti.

A Joselyn Fernandes por darme el impulso y motivación final, por creer en mí, por aconsejarme y apoyarme con paciencia y comprensión en cada momento, y darme su cariño para llegar a la meta, gracias colega.

A Giorgio Balán, Alexander Dos Ramos y Javier Castillo, por el apoyo de una u otra forma, estar presentes y pendientes, y siempre querer lo mejor para mí, gracias hermanos.

A mi tutor, el Ingeniero José Ochoa Iturbe, por su gran disposición para ayudarme y orientarme en la elaboración de este trabajo, por compartir conmigo sus conocimientos, logrando un crecimiento profesional en mi vida.

A mis jurados, los Ingenieros Juan Carlos Martínez y Vincenzo Bonadio, por su ayuda y experiencia transmitida a lo largo de este trabajo.

A los profesores y trabajadores, entre ellos el Ingeniero José Divasson, que me facilitaron la información necesaria para concluir este trabajo con éxito.

A mi padrino, el Ingeniero Rafael Ontiveros, por enseñarme e introducirme en esta carrera.

A Dios por darme la oportunidad y la fortaleza para levantarme en los momentos más difíciles de mi camino.

Por último, a mi casa de estudio, la Universidad Católica Andrés Bello por ser mi Alma Mater, y a todo el personal que labora en ella, por tener siempre la mejor disposición y darme los conocimientos para lograr mi objetivo.

CIPRIANO EMILIO LOZADA NAVARRO

ÍNDICE DE CONTENIDO

SINOPSIS	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	18
1.3. ANTECEDENTES	18
1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES	19
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. BASES TEÓRICAS. DEFINICIONES BÁSICAS	20
2.1.1. HIDROLOGÍA APLICADA	20
2.1.1.1. TIPOS DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	21
2.1.2. CICLO HIDROLÓGICO.....	21
2.1.2.1. PRECIPITACIÓN.....	25
2.1.2.2. INFILTRACIÓN.....	26
2.1.2.3. PERCOLACIÓN.....	26
2.1.2.4. EVAPORACIÓN	26
2.1.2.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	26
2.1.2.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	27
2.1.2.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	27
2.1.2.8. ESCORRENTÍA O ESCURRIMIENTO	27
2.1.2.9. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (C).....	28
2.1.3. CICLO HIDROLÓGICO URBANO	29

2.1.4.	MÉTODO RACIONAL.....	31
2.1.5.	SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	32
2.1.5.1.	OBRAS DE CAPTACIÓN O TOMA.....	32
2.1.5.2.	OBRAS DE CONDUCCIÓN	33
2.1.5.3.	OBRAS DE TRATAMIENTO	33
2.1.5.4.	OBRAS DE AMACENAMIENTO	34
2.1.5.5.	OBRAS DE FILTRACIÓN	34
2.1.5.5.1.	REJILLAS DE PROTECCIÓN	34
2.1.5.5.2.	FILTROS CONVENCIONALES	34
2.1.5.5.3.	FILTROS ECOLÓGICOS	34
2.1.6.	LAGUNA.....	35
2.1.6.1.	VARIACIONES DE LAGUNAS	36
2.1.6.2.	CLASIFICACIÓN DE LAGUNAS	37
2.1.6.3.	LAGUNAS DE RETENCIÓN Y DE DETENCIÓN.....	37
2.1.6.3.1.	LAGUNAS DE RETENCIÓN.....	37
2.1.6.3.2.	LAGUNAS DE DETENCIÓN.....	39
2.1.6.4.	ORGANISMOS DE LAS LAGUNAS	40
2.1.6.5.	FLORA Y FAUNA	40
2.1.6.5.1.	PLANTAS ACUÁTICAS FLOTANTES	42
2.1.6.5.2.	PLANTAS ACUÁTICAS PARA ESTANQUES DE AGUAS PROFUNDAS.....	42
2.1.6.5.3.	PLANTAS ACUÁTICAS DE RIBERA O MARGEN.....	42
2.1.6.5.4.	PLANTAS ACUÁTICAS OXIGENADORAS	43
2.1.6.5.5.	PLANTAS PALUSTRES	44
2.1.6.6.	HUMEDALES ARTIFICIALES	44

2.1.7.	SOLUCIONES SUSTENTABLES DE DRENAJE	45
2.1.7.1.	MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO (BMP)	46
2.1.7.2.	DISEÑO URBANO SENSIBLE DEL CICLO DEL AGUA (WSUD)	46
2.1.7.3.	TÁCTICAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO (LID)	46
2.1.7.4.	INFRAESTRUCTURA VERDE	47
2.1.7.5.	TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE	47
2.1.7.6.	SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (SUDS).....	47
2.1.8.	FUNDAMENTOS DE UN PROYECTO DE SISTEMAS DE DRENAJES	49
2.1.9.	DIFERENCIAS CON EL DRENAJE CONVENCIONAL.....	51
2.1.10.	VENTAJAS DE UN DRENAJE SUSTENTABLE.....	52
2.1.10.1.	VENTAJAS HIDROLÓGICAS.....	52
2.1.10.2.	VENTAJAS PAISAJÍSTICAS	53
2.1.10.3.	VENTAJAS AMBIENTALES	53
2.1.10.4.	VENTAJAS SOCIALES Y URBANAS.....	53
2.1.10.5.	VENTAJAS ECONÓMICAS	53
2.1.11.	DESVENTAJAS DE UN DRENAJE SUSTENTABLE	54
2.2.	DESARROLLO INSOSTENIBLE Y PROGRESIVA DEMANDA MUNDIAL DE AGUA	54
2.3.	NACIONES UNIDAS Y SUS PLANES SUSTENTABLES.....	56
2.4.	EL AGUA Y LAS TRES DIMENSIONES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.....	59
2.4.1.	POBREZA	59
2.4.2.	DESARROLLO ECONÓMICO.....	59
2.4.3.	ECOSISTEMAS	60
2.5.	AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO. DESAFÍOS FUNDAMENTALES PARA EL DESARROLLO	61
2.5.1.	AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE	62

2.5.2.	URBANIZACIÓN	63
2.5.3.	ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA	64
2.5.4.	ENERGÍA	64
2.5.5.	INDUSTRIA	66
2.6.	EL AGUA A NIVEL MUNDIAL. PERSPECTIVAS REGIONALES.....	66
2.6.1.	EUROPA Y AMÉRICA DEL NORTE	67
2.6.2.	ASIA Y EL PACÍFICO	67
2.6.3.	LA REGIÓN ÁRABE.....	68
2.6.4.	ÁFRICA.....	68
2.6.5.	AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	69
2.7.	EFFECTOS DEL AGUA DE LLUVIA EN LAS CIUDADES.....	69
2.7.1.	PROBLEMAS DE CANTIDAD	70
2.7.2.	PROBLEMAS DE CALIDAD	70
2.7.3.	PROBLEMAS DE SERVICIO.....	71
2.8.	COMPARACIÓN ENTRE LA CAPTACIÓN DE RECURSOS HIDRÍCOS DE MANERA TRADICIONAL Y VARIACIONES SUSTENTABLES	71
2.9.	CAPTACIÓN Y USO DEL AGUA DE LLUVIA COMO SUSTITUTO DEL AGUA POTABLE.....	72
2.10.	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO	72
2.10.1.	UNIVERSIDAD SOSTENIBLE.....	74
2.10.2.	PROYECTOS SUSTENTABLES DENTRO DEL CAMPUS.....	74
2.11.	BASES LEGALES	75
2.11.1.	NORMATIVAS INTERNACIONALES	75
2.11.2.	NORMATIVA VENEZOLANA	77
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO.....		80
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	80

3.1.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	80
3.1.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	81
3.2.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	82
3.2.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	82
3.2.2.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	83
3.3.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS	83
3.3.1.	DE PROCESAMIENTO.....	83
3.3.2.	DE ANÁLISIS	84
3.4.	ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA	84
3.4.1.	FASE I. DIAGNÓSTICO	84
3.4.2.	FASE II. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	85
3.4.2.1.	INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.....	85
3.4.2.2.	DATOS PLUVIALES.....	86
3.4.2.3.	INFORMACIÓN DE SUELOS	86
3.4.2.4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	86
3.4.3.	FASE III. ESTUDIO HIDROLÓGICO	87
3.4.4.	FASE IV. DISEÑO.....	87
CAPÍTULO 4. DESARROLLO		88
4.1.	DISPONIBILIDAD Y USOS DE LA FUENTE PLUVIAL	88
4.2.	RECOLECCIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS.....	89
4.2.1.	CORRELACIÓN LINEAL.....	90
4.2.2.	MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA CORTA	93
4.2.3.	DISTRIBUCIÓN TIPO I O DISTRIBUCIÓN GUMBEL	94
4.2.4.	ANÁLISIS DE LLUVIAS MÁXIMAS.....	96
4.2.5.	MÉTODO RACIONAL. GASTOS MÁXIMOS.....	97

4.2.6. SISTEMA DE DRENAJE DE AGUAS DE LLUVIA.....	98
4.3. ESTUDIO DE SUELO	98
4.4. DISEÑO DE LA LAGUNA	100
4.4.1. CÁLCULO DE LA LAGUNA	102
4.4.2. ANÁLISIS RESULTADOS DE LA LAGUNA.....	105
4.5. ESTUDIO SUSTENTABLE	106
4.6. UBICACIÓN LAGUNA	107
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
5.1. CONCLUSIONES	109
5.2. RECOMENDACIONES.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidades estimadas de agua en la Tierra.	24
Tabla 2. Coeficientes de Escurrimiento.	29
Tabla 3. Comparación entre el sistema de drenaje convencional y el sistema alternativo SUDS.	51
Tabla 4. Calidad del agua según la superficie de contacto del agua pluvial.	88
Tabla 5. Registros de lluvia máxima.	90
Tabla 6. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Observatorio Cajigal para 1 hora.	91
Tabla 7. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Observatorio Cajigal para 3 horas.	91
Tabla 8. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Mamera para 1 hora.	92
Tabla 9. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Mamera para 3 horas.	92
Tabla 10. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Montalbán para 1 hora.	93
Tabla 11. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Montalbán para 3 horas.	93
Tabla 12. Factores de ajuste para los distintos tiempos.	94
Tabla 13. Valores de variable reducida de Gumbel para varios períodos de retorno.	95
Tabla 14. Gastos máximos para lluvias de 5 minutos de duración.	97
Tabla 15. Gastos máximos para lluvias de 10 minutos de duración.	98
Tabla 16. Conductividad hidráulica según el tipo de suelo.	100
Tabla 17. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$).	103
Tabla 18. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 0,36 \text{ mm/h}$).	103
Tabla 19. Diseño para 5 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$).	103
Tabla 20. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$) y ($A_e = 600 \text{ m}^2$).	104

Tabla 21. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$) y ($A_e = 150 \text{ m}^2$).	104
Tabla 22. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$) y ($C_s = 1,5$).	104
Tabla 23. Diseño para 10 minutos de duración y 100 años de período de retorno. ($f = 0,36 \text{ mm/h}$).	104
Tabla 24. Diseño para 5 minutos de duración y 100 años de período de retorno. ($f = 0,36 \text{ mm/h}$).	105
Tabla 25. Valores con los que se diseñará la laguna.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico.	22
Figura 2. Diagrama de bloques con representación del ciclo hidrológico.	23
Figura 3. Distribución del agua en sus estados.	25
Figura 4. Reparto de Infiltración y escorrentía en una zona natural sin urbanizar.	30
Figura 5. Reparto de Infiltración y escorrentía en una zona de baja urbanización.	30
Figura 6. Reparto de Infiltración y escorrentía en una zona altamente urbanizada.	30
Figura 7. Las tres variaciones de lagunas: Aerobia, Anaerobia y Facultativa.	36
Figura 8. Esquema de laguna de retención.	38
Figura 9. Laguna de infiltración tipo humedal.	39
Figura 10. Bosquejo de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS).	49
Figura 11. Estrés de desarrollo de las aguas subterráneas.	55
Figura 12. Estrés ambiental debido a alteraciones del régimen de caudal (1981-2010).	60
Figura 13. Porcentaje de personas con acceso a la electricidad en los países en desarrollo (2012).	65
Figura 14. Distribución mundial de la escasez de agua en las principales cuencas (2011).	67
Figura 15. Mapa ilustrativo de las diferentes zonas que conforman la Universidad Católica Andrés Bello. Fuente: Universidad Católica Andrés Bello.	73
Figura 16. Mapa de ubicación de las estaciones solicitadas.	86
Figura 17. Ubicación de la laguna.	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de láminas de lluvia obtenidas por factor de reducción para la estación Observatorio Cajigal.	115
Anexo 2. Tabla de láminas de lluvia obtenidas por factor de reducción para la estación Hacienda Mamera.	116
Anexo 3. Tabla de láminas de lluvia obtenidas por factor de reducción para la estación Hacienda Montalbán.	116
Anexo 4. Tabla de valores de Y_n y S_n para la Distribución de Gumbel.	117
Anexo 5. Análisis de lluvias máximas, estación Observatorio Cajigal.	119
Anexo 6. Análisis de lluvias máximas, estación La Rinconada.	120
Anexo 7. Análisis de lluvias máximas, estación Hacienda Mamera.	121
Anexo 8. Análisis de lluvias máximas, estación Hacienda Montalbán.	122
Anexo 9. Gráfica de Lámina de lluvia vs. Período de retorno. Estación Cajigal.	123
Anexo 10. Gráfica de Lámina de lluvia vs. Período de retorno. Estación La Rinconada.....	123
Anexo 11. Curvas IDF. Estación Observatorio Cajigal.	124
Anexo 12. Curvas IDF. Estación La Rinconada.	125
Anexo 13. Curvas IDF. Estación Hacienda Mamera.	126
Anexo 14. Curvas IDF. Estación Observatorio Cajigal, lluvias de 5 a 60 minutos.	127
Anexo 15. Factor de seguridad variable, dependiendo de la naturaleza de las aguas de lluvia, la existencia de tratamiento y la mantención (Cs). Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1.996). 128	
Anexo 16. Ubicación de la laguna Jardín central (Zoom).	128

SINOPSIS

El tema a desarrollarse en este Trabajo de Grado (TG) es el diseño de una laguna ornamental aprovechando las aguas pluviales, en el campus de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), específicamente en el jardín central, que está ubicado enfrente a la biblioteca de la universidad y al edificio de Aulas (módulos). Desarrollando una serie de actividades que permitan analizar el funcionamiento actual del sistema de drenaje de la universidad.

El siguiente TG tiene como propósito investigar sobre las lagunas de retención con uso adicional de laguna ornamental, que podría servir de esparcimiento visual a los estudiantes, dando un ambiente ecológico a la universidad, y al mismo tiempo, analizar la factibilidad de aprovechar esa agua pluvial para otros fines. La conceptualización de la laguna incluirá, su justificación e importancia, su propósito, sus métodos de trabajo tanto para el diseño como para la construcción, la toma muestras y análisis de estudios realizados anteriormente, para el manejo y divulgación de la información al momento de realizar los distintos cálculos requeridos.

En el desarrollo del TG se aplicarán los conocimientos adquiridos durante la carrera, específicamente en las áreas de hidrología, hidráulica y sanitaria; debido a que se analizarán desde el punto de vista cuantitativo, las láminas de lluvia, los volúmenes de agua, el tipo de suelos, el diseño de la laguna, entre otras cosas.

INTRODUCCIÓN

Las zonas urbanizadas alteran la permeabilidad y a su vez la topografía del suelo, generando como resultado el colapso de los sistemas de drenaje existentes; en este caso, al momento de las precipitaciones, el jardín central de la Universidad Católica Andrés Bello, debido al tipo de suelo, y a las escasas obras de drenaje, acarrearán como consecuencia la retención de agua pluvial (encharcamientos) en dicho jardín.

Dado a la existencia de estas alteraciones que se presentan, brota la necesidad de la implementación de sistemas de drenaje que ayuden a captar la escorrentía y sean amigables con el medio ambiente, como son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), siendo cada día más común la existencia de estos sistemas en la sociedad, por lo que cobra una mayor importancia. Conocer y utilizar estos métodos permiten mejorar el medio ambiente y contribuyen a optimizar la calidad de vida de las personas en estas ciudades sustentables.

La investigación que se muestra tuvo como propósito analizar el sistema de drenaje y diseñar una laguna ornamental aprovechando las aguas pluvias que precipitan sobre la universidad y estas sirvan de afluente para abastecer dicha laguna.

El trabajo se encuentra estructurado en cinco capítulos, referencias bibliográficas y anexos. Donde en el primer capítulo se muestra la descripción del problema, los objetivos del trabajo, y el alcance y las limitaciones de la investigación.

Consecutivamente, el segundo capítulo contiene el marco teórico, que sirve de referente para respaldar el estudio realizado. Mientras que la metodología a seguir en la investigación se encuentra en el tercer capítulo, donde se explica el tipo y diseño de la investigación, y el paso a paso de lo que se realizó para llegar al resultado final, que se llevó a cabo en cuatro fases.

Posteriormente en el cuarto capítulo se muestran los cálculos, y el análisis de los resultados obtenidos. Finalizando con el quinto capítulo donde están las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio. Se presentan las referencias que fundamentaron el trabajo y los anexos referidos al mismo.

CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las tendencias actuales promovidas por los retos de desarrollo sostenible del milenio señalados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) está el objetivo 6, lograr ciudades sustentables. Para ello es de gran importancia la gestión de las aguas que llegan a las urbes. De hecho, ya se estudia el reúso de aguas servidas como aporte al sistema de agua potable y, muy particularmente, el uso de las aguas pluviales que periódicamente caen sobre las ciudades. Estas son aguas que en su mayoría no son usadas y solo son captadas para desecharlas aguas abajo donde no produzcan daños a bienes y personas. Estos sistemas se denominan SUDS, sistemas urbanos de drenaje o de retención sostenible, las cuales permiten almacenar excesos de agua y, a su vez, permiten la infiltración al subsuelo, de donde podría extraerse posteriormente agua para su uso. Todo dentro de una concepción moderna de utilizar todas las aguas que de una u otra forma están en contacto con la ciudad, para no estar en la necesidad de buscar nuevas fuentes de suministro cada vez más lejanas y, por tanto, más costosas en construcción, operación y mantenimiento.

En el presente trabajo se quiere realizar un diseño de una laguna ornamental aprovechando las aguas pluviales que puedan llegar por gravedad a ella, en el campus de la Universidad Católica Andrés Bello, específicamente en el jardín que está enfrente a la biblioteca y a los módulos. El propósito de este trabajo de grado es investigar sobre las lagunas de retención con uso adicional de laguna ornamental, que podría servir de esparcimiento visual a los estudiantes, dando un ambiente ecológico a la Universidad, y al mismo tiempo, analizar la factibilidad de aprovechar esa agua pluvial para otros fines.

Para realizar la construcción de una laguna ornamental, primero se debe saber su definición y en este caso para que es utilizada, una laguna, simplemente es cualquier deposito natural o artificial de agua, generalmente dulce, menos extenso y profundo que un lago (Pérez y Gardey, 2009), por otro lado, ornamental significa que no tiene ninguna utilidad, función o valor, simplemente decora o adorna (The Free Dictionary, 2016), por lo que una laguna ornamental, seria, un estanque de retención o almacenamiento, generalmente con diques de tierra o concreto, usado para contener aguas pluviales o residuales mientras se produce la sedimentación y oxidación biológica (Lagunas Ornamentales, S.F.).

Una condición importante es que el lugar no se inunde habitualmente, y que contemos con agua con una calidad adecuada para el llenado de la laguna, en este caso, se va a aprovechar las aguas pluviales, para la creación y abastecer esta laguna.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una laguna ornamental aprovechando las aguas pluviales sobre el campus de la Universidad Católica Andrés Bello que puedan llegar por gravedad a ella.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Analizar los estudios apropiados del suelo, ya que, otra condición esencial de una laguna es que retenga agua, permita cierta infiltración de ser posible (se debe evaluar si el suelo cumple con esta condición), y tomar las medidas necesarias para cumplir con los lineamientos de los SUDS.
- Ejecutar estudios hidrológicos, para evaluar si la cantidad de agua pluvial dotará adecuadamente la laguna, y revisar que sucederá en época de sequía.
- Delimitar las áreas que efectivamente pudiesen aportar caudales por gravedad a la laguna y calcular dichos gastos.
- Diseñar una laguna ornamental para animar la sustentabilidad ambiental dentro de la Universidad Católica Andrés Bello.
- Definir una laguna ornamental para fomentar la recreación visual de los estudiantes dentro de la Universidad Católica Andrés Bello.

1.3. ANTECEDENTES

En el año 2015 se realizaron dos Trabajos de Grado, bajo la tutoría del profesor Joaquín Benítez, los cuales se titularon: “*Factibilidad del Aprovechamiento de Aguas Pluviales en la Universidad Católica Andrés Bello sede Montalbán*” (Garrido y Vásquez) y “*Factibilidad para el Desarrollo de Drenajes Sustentables en el campus de la Universidad Católica Andrés Bello*” (De Pinho y González), en la que se recomienda:

- Efectuar estudios detallados de topografía y de suelos, para analizar con mayor profundidad la infiltración en función del tipo de suelo y sus condiciones.
- Realizar mediciones en sitio para estimar de manera más adecuada el porcentaje de garantía de la fuente pluvial, ayudando y mejorando la data existente de las distintas variables hidrológicas.

- Profundizar investigaciones para considerar obras que permitan la retención y almacenamiento de aguas pluviales, en el futuro crecimiento de la infraestructura del campus universitario, por parte de la escuela de ingeniería civil de la mano con la dirección de sustentabilidad ambiental, bajo estudios sustentables que contribuyan con el mejoramiento del ciclo del agua dentro del campus universitario, reduciendo los valores de escorrentía.

1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES

En este punto se indicará con precisión cuales aspectos se conseguirá en la investigación, como a su vez, la frontera hasta donde llegan las aspiraciones de este trabajo, siempre por referencia a los objetivos.

- Lo principal es saber si el suelo es apto para la realización de la laguna ornamental, por lo que para este trabajo de grado se investigará sobre estudios de suelos anteriormente realizados, donde se analizará con mayor profundidad la infiltración en función del tipo de suelo y sus condiciones.
- Para este trabajo de grado se realizarán estudios más exhaustivos, para analizarse con más detalles, como lo son: disponibilidad del recurso (agua pluvial), estudios hidrológicos para crecientes máximas, optimización del sistema de drenaje de la universidad, entre otros. Independientemente de la factibilidad de la construcción efectiva de la laguna, el ejercicio a realizar permitirá avanzar en conceptos de drenaje sustentable de posible aplicación en el resto del país.
- Las lagunas ornamentales también abarcan otras áreas de trabajo ligadas a la proyección de sus tecnologías de base, como la del lagunado dinámico de depuración de aguas, aplicado en la sustentabilidad de sistemas acuáticos cerrados, como son las lagunas para usos recreativos o de ocio. Es otra de las aplicaciones resultante de la reutilización de aguas pluviales depuradas. Esto permite un ahorro en el consumo de agua e independiza esas aguas del suministro y vertido constante.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS. DEFINICIONES BÁSICAS

En el marco teórico se proporcionarán los conceptos básicos necesarios para que el lector se familiarice con los temas que se van a desarrollar a lo largo de este Trabajo de Grado. Dichos temas están distribuidos en tres grandes áreas principalmente como lo son: la sustentabilidad, la hidráulica y la hidrología.

2.1.1. HIDROLOGÍA APLICADA

Todo comienza con el concepto del ciclo hidrológico, así podremos entender la ciencia de la hidrología. Desde tiempos antiguos, muchos pensadores han especulado acerca de la circulación del agua, como es el caso del poeta Homero (alrededor del 1000 a.C.), los filósofos Tales de Mileto, Platón y Aristóteles en Grecia; Lucrecio, Séneca y Plinio en Roma, entre otros. Pero gran parte de esta especulación no tenía bases científicas, hasta que el filósofo griego Anaxágoras de Clazomene (500-428 a.C.) ideó una versión primitiva del ciclo hidrológico. Creía que el sol evaporaba el agua del mar hacia la atmosfera, desde donde caía como lluvia, y formaba las reservas subterráneas, las cuales alimentaban los caudales de los ríos.

Años después, el filósofo griego, Teofrasto (372-287 a.C.), realizó un avance en esta teoría, el cual describió en forma correcta el ciclo hidrológico en la atmosfera. Proporcionó una explicación lógica de la formación de la precipitación por medio de la condensación y del congelamiento. Posteriormente de estudiar los trabajos de Teofrasto, el arquitecto e ingeniero romano Marco Vitruvio, quien vivió en la época de Cristo, concibió la teoría que se acepta hoy en día, extendió la explicación de Teofrasto al afirmar que el agua subterránea se deriva principalmente de la lluvia y la nieve infiltradas a través de la superficie del suelo. Esta puede considerarse como la precursora de la versión moderna del ciclo hidrológico (Chow, Maidment y Mays. Hidrología Aplicada, 1994).

Hidrología es la ciencia que estudia el agua en la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas, y su relación con el ambiente, incluyendo a los seres vivientes (Us Federal Council for Science and Technology, 1962. US National Research Council, 1992). En resumen, la Hidrología tiene que ver con la circulación del agua y sus componentes en cada fase del Ciclo Hidrológico, con la lluvia, la evaporación, la infiltración, aguas subterráneas, escurrimiento, escorrentía y el transporte de sustancias disueltas o suspendidas en flujos de agua.

2.1.1.1. TIPOS DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

La ingeniería hidrológica se ocupa de tres aspectos esenciales del régimen de escorrentía en las cuencas: los volúmenes mensuales y anuales disponibles para su almacenamiento y utilización, los periodos de estiaje que limitan la utilización del agua y las crecidas o avenidas (Linsley, Kohler y Paulus. Hidrología para Ingenieros – segunda edición, página 183).

El Ingeniero Juan Carlos Martínez, en su guía de clases “*Apuntes de Hidrología Básica*” (2016), de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCAB nos dice que “*El estudio hidrológico a realizar dependerá del tipo de obra hidráulica a proyectar y construir pudiendo clasificarse a estas como obras de aprovechamiento y obras de protección. En los proyectos de aprovechamiento, donde, por ejemplo, se proponga la construcción de una toma directa o una presa de embalse, se requiere de estudios hidrológicos que ofrezcan información no solo del régimen y magnitud de la escorrentía a nivel diaria o mensual, sino que además requieren de información de crecidas a los efectos del diseño de las obras de alivio. En proyectos hidráulicos de protección se requiere información exclusiva sobre crecidas a los efectos de, por ejemplo, delimitar áreas inundables cuyo uso debe ser regulado de manera de evitar la pérdida de vidas y la afectación de obras de infraestructura*”.

2.1.2. CICLO HIDROLÓGICO

Es el concepto o principio fundamental en Hidrología. En la Tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrosfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba en la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrosfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el ciclo hidrológico.

El ciclo no tiene principio ni fin (Figura 1) y sus diversos procesos ocurren en forma (Chow, Maidment y Mays. Hidrología Aplicada, 1994). El agua se evapora de los océanos y de la superficie de la tierra para volverse parte de la atmósfera, es llevada sobre la superficie de la tierra circulando como vapor de agua, donde se condensa y luego precipita nuevamente como lluvia o nieve, es interceptada parcialmente por los árboles y cualquier otro tipo de vegetación, se convierte parcialmente en flujo superficial sobre el suelo, se infiltra parcialmente en los suelos, satisface la humedad del suelo, recarga acuíferos, descarga en cauces de ríos y quebradas como escorrentía superficial, y finalmente descarga a los océanos desde donde nuevamente se inicia el ciclo.

La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación o por la transpiración de las plantas. El agua infiltrada puede percolar

profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se traslada hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa. Esta inmensa máquina de agua, puesta en funcionamiento por la energía solar, conducida por la gravedad, continúa de manera permanente en presencia o ausencia de actividad humana.

El ciclo hidrológico se puede dividir en tres subsistemas:

- El subsistema de agua atmosférica contiene a los procesos de precipitación, evaporación, intercepción y transpiración.
- El subsistema de agua superficial contiene los procesos de escurrimiento superficial (overland flow), y las descargas del flujo subsuperficial y el flujo subterráneo que de manera integrada representan la escorrentía concentrada en cauces de ríos y quebradas.
- Al subsistema de agua subsuperficial pertenecen los procesos de infiltración, percolación, recarga de acuíferos, el flujo subsuperficial y el flujo subterráneo. El flujo subsuperficial ocurre en los estratos del suelo cercanos a la superficie del suelo a través del medio poroso no saturado mientras que el flujo subterráneo ocurre en estratos más profundos de suelo y en estratos de roca donde el flujo corresponde al de un medio poroso saturado.

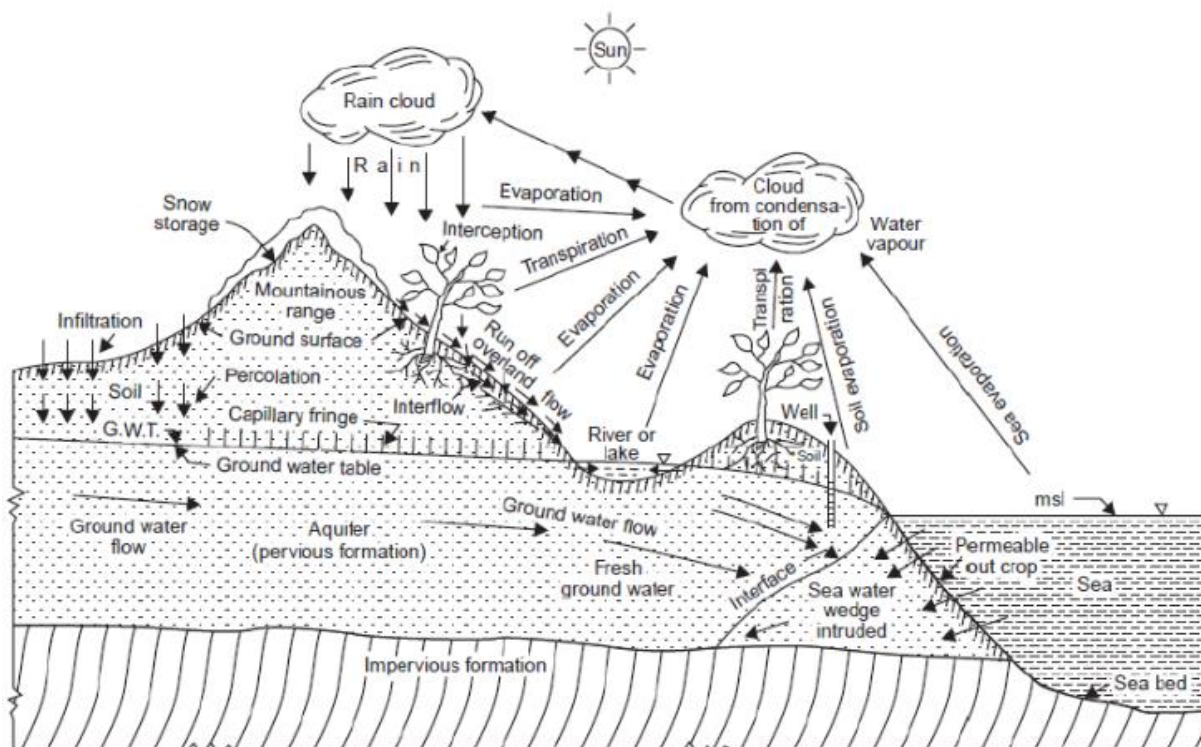


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico.

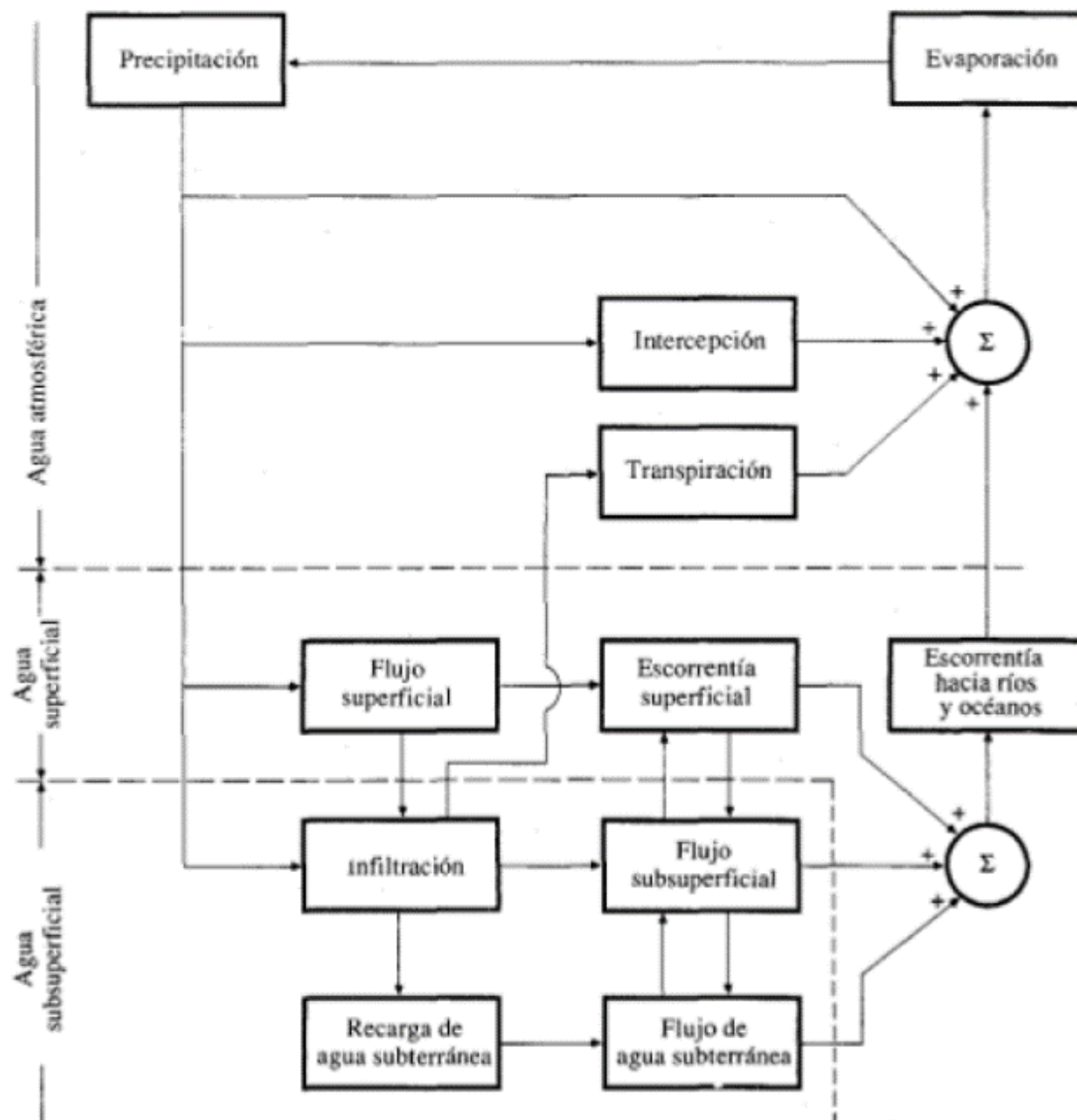


Figura 2. Diagrama de bloques con representación del ciclo hidrológico.

El cálculo de la cantidad total de agua en la Tierra y en los numerosos procesos del ciclo hidrológico ha sido tema de exploración científica desde la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo, la información cuantitativa es escasa, particularmente en los océanos, lo cual significa que las cantidades de agua en varios componentes del ciclo hidrológico global todavía no se conocen en forma precisa.

La cantidad de agua que hay en el planeta (Tabla 1) ocupa el 70% de la superficie terrestre, si se extendiera sobre toda la tierra formaría una capa de unos 3.000 metros de altura. La

disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1.386 millones de km^3 , sin embargo, alrededor del 97% de esta agua está en los mares y océanos y es salada, lo que la convierte en un elemento inutilizable para beber, para el desarrollo de la agricultura y para la mayor parte de las actividades humanas.

Ítem	Área ($10^6 km^2$)	Volumen (km^3)	Porcentaje de agua total	Porcentaje agua dulce
Océanos	361.3	1,338,000,000	96.5	
Agua subterránea				
Dulce	134.8	10,530,000	0.76	30.1
Salada	134.8	12,870,000	0.93	
Humedad del suelo	82.0	16,500	0.0012	0.05
Hielo polar	16.0	24,023,500	1.7	68.6
Hielo no polar y nieve	0.3	340,600	0.025	1.0
Lagos				
Dulces	1.2	91,000	0.007	0.26
Salinos	0.8	85,400	0.006	
Pantanos	2.7	11,470	0.0008	0.03
Ríos	148.8	2,120	0.0002	0.006
Agua biológica	510.0	1,120	0.0001	0.003
Agua atmosférica	510.0	12,900	0.001	0.04
Agua total	510.0	1,385,984,610	100	
Agua dulce	148.8	35,029,210	2.5	100

Tabla 1. Cantidades estimadas de agua en la Tierra.

Solo el 2,5% de toda el agua sobre la Tierra es dulce, es decir 35 millones de km^3 , de la cual, casi el 70% del agua dulce no está disponible para consumo humano debido a que está congelada en glaciares, nieve hielo y permafrost, mientras que el otro 30% del agua dulce es subterránea, del agua que técnicamente está disponible para el consumo humano, menos del 1% se encuentra en lagos, ríos, humedad en el suelo y aire, humedales, plantas, depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración (Clarke, R. y J. King, The Water Atlas, 2004).

Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas (Figura 3), lo cual dificulta o encarece su utilización efectiva. En sus diferentes estados físicos se presenta repartida en siete compartimentos: océanos, casquetes de hielo y glaciares de los polos, aguas subterráneas, lagos, ríos, mares y atmósfera.

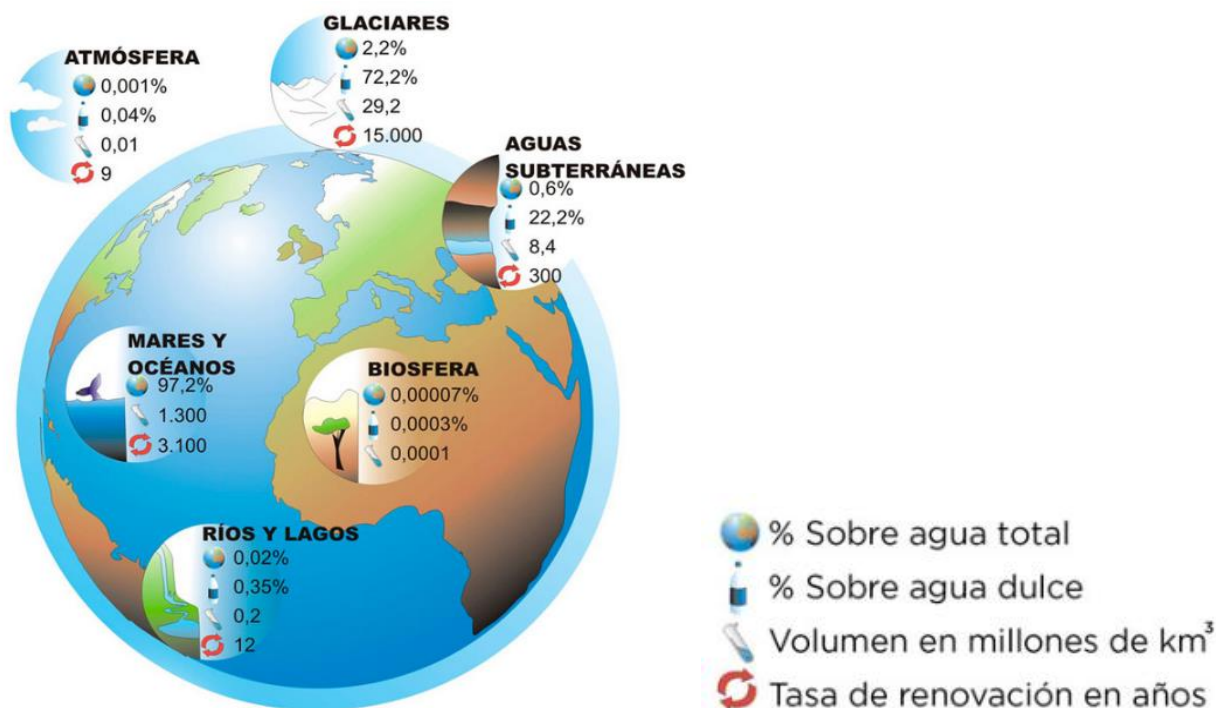


Figura 3. Distribución del agua en sus estados.

A continuación, se describirá brevemente algunos de los procesos básicos dentro del ciclo hidrológico cuyos términos serán mencionados constantemente dentro de la investigación.

2.1.2.1. PRECIPITACIÓN

Es un proceso que ocurre producto de la condensación de vapor de agua en la atmósfera, el cual cae sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo o nieve. La precipitación varía en el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales. La medición de la precipitación es el punto de partida de los estudios dirigidos al manejo y uso del agua.

La precipitación pluvial constituye una parte importante del ciclo hidrológico, ya que produce el agua renovable del planeta. Sin embargo, la precipitación pluvial varía regional y estacionalmente.

Existe una interrelación entre el patrón de precipitación pluvial medido por su coeficiente de variación y la latitud en diversas ciudades del mundo. El coeficiente de variación da una aproximación a la variabilidad de la precipitación pluvial en el año. Entre mayor es dicho coeficiente, mayor variabilidad habrá a lo largo del año. En general, las ciudades a mayores latitudes se caracterizan por tener una precipitación pluvial uniforme a lo largo del año, en tanto que las ciudades más cercanas al ecuador, tienen una precipitación pluvial acentuada en el verano.

2.1.2.2. INFILTRACIÓN

Es el proceso mediante el cual el agua de lluvia atraviesa la superficie del terreno hacia el suelo, según Chow, Maidment y Mays. Hidrología Aplicada, 1994. Este proceso depende principalmente de la capacidad que tiene el suelo de absorber el agua de lluvia, es decir, de su tasa de infiltración. Si existe espacio disponible en la superficie del suelo, la infiltración ocurrirá de manera continua, sin embargo, si el agua que llega a la superficie excede dicha capacidad, el agua comienza a estancarse o producir la escorrentía sobre el terreno.

“Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo”. (Chow, 1994).

2.1.2.3. PERCOLACIÓN

Es el proceso mediante el cual el agua una vez infiltrada desciende hacia estratos inferiores del suelo.

2.1.2.4. EVAPORACIÓN

Es el proceso mediante el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los sistemas de almacenamiento, conducciones y en el suelo (en las capas cercanas a la superficie), a vapor de agua o estado gaseoso y se este se transfiere a la atmósfera.

Los factores que principalmente intervienen en la evaporación son la temperatura, insolación, vientos, humedad del aire, entre otros. La evaporación se origina por el aumento de la energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercanas a la superficie de una masa de agua o la superficie de un suelo húmedo, producido por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor.

El intercambio de moléculas hacia la atmosfera ocurre en una capa delgada sobre la superficie de agua llamada zona de intercambio. La evaporación es igual a la cantidad de vapor que logra salir de la zona de intercambio.

2.1.2.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN

De manera conjunta los procesos de evaporación desde la superficie terrestre y la transpiración de la vegetación se conocen con el nombre de evapotranspiración. Es la cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas. Es determinada por los mismos factores que intervienen en la evaporación además de otro elemento como lo es el suministro de humedad a los suelos. La evapotranspiración alcanza

su valor máximo si el suministro de agua tanto a las plantas como a la superficie de suelo es ilimitado.

2.1.2.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Recibe el nombre de evapotranspiración potencial (ETP), a las máximas pérdidas por evapotranspiración que se encuentran limitadas por las condiciones meteorológicas de cada sitio. Es la combinación de la disipación de vapor de cuerpos de agua y suelo con la transpiración por parte de plantas, hacia la atmósfera. La evapotranspiración potencial es aproximadamente igual a la evaporación que ocurre desde un lago o embalse, y se define como la tasa de evapotranspiración desde una superficie extensa cubierta por pasto verde de altura uniforme entre 8 y 15 centímetros que crece en forma normal, cubre completamente el suelo con su sombra y no carece de agua.

2.1.2.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

Es la cantidad de agua, expresada en mm/día, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. La evapotranspiración real es inferior a la potencial y ocurre a medida que el suelo se va secando.

En sistemas de riego el término uso consuntivo corresponde a la suma de la evapotranspiración y el agua que las plantas retienen para su desarrollo. La cantidad de agua empleada utilizada por las plantas es comparativamente insignificante en comparación con la evapotranspiración por lo que evapotranspiración y uso consuntivo se usan como sinónimos.

2.1.2.8. ESCORRENTÍA O ESCURRIMIENTO

Se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie del suelo y que llega a una corriente, o cauce, para finalmente ser descargada hasta la salida de la cuenca o hasta un punto de interés en ella. Una vez que el agua como escurrimiento alcanza un cauce definido de río o quebrada se identifica como escorrentía la cual puede registrarse en estaciones hidrométricas.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre, una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada, sigue diversos caminos hasta alcanzar un cauce definido. Dichos caminos son tres:

- **Escurrimiento Superficial:** una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del suelo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y al mismo tiempo el agua comienza a escurrir sobre la superficie. Este proceso se llama escurrimiento superficial (Overland

Flow) y se produce mientras el agua no llegue a un cauce definido. Es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca.

- **Escorrimento Subsuperficial:** es la porción de la lluvia que se infiltra en el terreno y que fluye cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él, conocido también como inter flujo. Es el que fluye más lento y en general no se encuentra asociado a una tormenta particular a menos que la cuenca sea muy pequeña y con suelos muy permeables.
- **Escorrimento Subterráneo:** es el agua infiltrada que desciende por percolación, ocurre por debajo del nivel freático. Es el único que puede alimentar a los cauces de ríos y quebradas cuando no hay lluvias siempre que el nivel freático intercepte a los cauces; en consecuencia, se denomina a este tipo de aporte como escurrimiento base o flujo base.

La esorrentía es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo.

Horton definió al escurrimiento superficial como “...despreciando la intercepción por vegetación, el escurrimiento superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración. Si el suelo tiene capacidad de infiltración (f) que se expresa en (pulgadas/h), entonces cuando la intensidad de la lluvia (i) es menor a la infiltración ($i < f$), la lluvia es absorbida completamente y no existe escurrimiento superficial. Se puede decir entonces como una primera aproximación que si la intensidad de la lluvia es mayor a la infiltración ($i > f$) el escurrimiento superficial ocurrirá a una tasa $i-f$ ”.

2.1.2.9. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (C)

“El coeficiente de esorrentía indica la proporción de la lluvia total que participa directamente en el escurrimiento. El resto de la precipitación queda detenida en las depresiones o moja el suelo, o se infiltra, o se evapora”. (Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas de Lluvias, 2005).

El coeficiente C (Tabla 2) ajusta la relación entre el volumen precipitado por unidad de tiempo, es decir, C es una relación de escurrimiento – precipitación. El procedimiento recomendado para su selección consiste en calcular un promedio ponderado del mismo luego de dividir la cuenca en zonas homogéneas en cuanto a cobertura vegetal, tipo de suelo y pendientes. A continuación, se muestran algunos coeficientes recomendados:

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		>50%	50%- 20%	20%-8%	8%- 1%	<1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 2. Coeficientes de Escurrimiento.

Para superficies de asfalto y/o concreto se tomará como coeficiente de escurrimiento 0,95.

2.1.3. CICLO HIDROLÓGICO URBANO

Dentro de un área urbanizada no existe una cúpula vegetal de intercepción, sino tejados y suelos prácticamente impermeables, por lo que se produce menos infiltración y retención. El agua fluye rápidamente a través de canales y pavimentos, concentrándose en un corto periodo de tiempo en los sistemas de alcantarillado, produciendo mayores volúmenes de escorrentía. Según Chow (1994) generalmente estos cambios se deben a:

- Incremento de las áreas impermeables que reducen la cantidad de infiltración.
- Variación de la eficiencia hidráulica generando un incremento considerable en la velocidad del flujo y en la magnitud de los picos de crecientes. Según García (2011):

“Se estima como media que en una zona natural sin urbanizar el porcentaje de agua que se gestiona sin producir escorrentía, es de un 95%. En el caso de una zona urbanizada de zonas residenciales fuera de los núcleos de las ciudades, el valor de infiltración decrece hasta un 30%, con lo que se genera una escorrentía del 70%. Por último, en el caso de una zona urbana de alta densidad, como pueden ser las ciudades de cierta envergadura, prácticamente el valor de infiltración es despreciable y se genera un 95% de escorrentía superficial que es necesario drenar

y gestionar para poder obtener unas condiciones óptimas de habitabilidad”.
(Figura 4, Figura 5 y Figura 6)



Figura 4. Reparto de Infiltración y escorrentía en una zona natural sin urbanizar.



Figura 5. Reparto de Infiltración y escorrentía en una zona de baja urbanización.



Figura 6. Reparto de Infiltración y escorrentía en una zona altamente urbanizada.

2.1.4. MÉTODO RACIONAL

Este método que empezó a utilizarse alrededor de la mitad del siglo XIX, es probablemente el método más ampliamente utilizado hoy en día para la determinación del gasto máximo en cuencas pequeñas asociado a determinada lluvia de diseño. A pesar de que han surgido críticas válidas acerca de lo anticuado del método racional, se sigue utilizando debido a su simplicidad, normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural, para el cálculo de alcantarillas, galerías de aguas pluviales, estructuras de drenaje de pequeñas áreas, y en este caso lagunas ornamentales.

El método supone que toda la cuenca receptora tiene unas características topográficas, fisiográficas y geológicas similares, asimismo, implica una distribución uniforme de las lluvias en toda el área y en el tiempo. Debido a esto, cuenta con una serie de limitaciones y puede dar resultados exagerados cuando no se cumplen con las siguientes premisas (Franceschi, 1984):

- La lluvia es uniforme en el tiempo y en el espacio: intensidad constante sobre toda la superficie de la cuenca.
- Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación.
- El coeficiente de escurrimiento es constante durante toda la tormenta, lo cual es realmente válido en áreas impermeables.
- El efecto de almacenamiento temporal en depresiones y cualquier otro sitio es despreciable.

A todas estas limitaciones es recomendable aplicar este método bajo las siguientes recomendaciones:

- El área tributaria máxima es de 50 hectáreas, aun cuando debe señalarse que hasta hace pocos años se utilizaba para cuencas con superficies tributarias de hasta 500 hectáreas.
- La duración máxima de la lluvia es de 30 minutos.
- Cuencas con al menos un 80% de área urbanizada, equivalentes aproximadamente a un 50% de impermeabilidad.

El método racional viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q = C * I * A$$

Donde Q es el gasto máximo instantáneo expresado en litros por segundo (lps), C es el coeficiente de escurrimiento o escorrentía (adimensional), I es la intensidad de la precipitación

concentrada indicada en litros por segundo por hectáreas (*lps/ha*) para una duración igual al tiempo de concentración, y *A* es el área de la cuenca hidrográfica en hectáreas (*ha*).

Por tiempo de concentración (*tc*) se entiende como el tiempo que tarda una gota de agua en recorrer el trayecto desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de concentración. Para cuencas de cauces naturales se recomienda utilizar la siguiente ecuación donde *L* es la longitud del cauce principal en metros (*m*) y *h* el desnivel máximo en metros (*m*), en este caso el *tc* se expresa en minutos (min). (Bolinaga J., 1979)

$$tc = 0,0195 \left(\frac{L^3}{h} \right)^{0,385}$$

2.1.5. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Se le conoce como sistema de abastecimiento al conjunto de instalaciones, equipos y accesorios encargados de llevar el agua desde la fuente hasta los usuarios. Para lograr esto es necesario una serie de obras de ingeniería que dependen de: las características del terreno, disponibilidad de la fuente, y la población a suministrar (Bolinaga, Proyectos de la Ingeniería Hidráulica, 1999). A continuación, se procederá a explicar los componentes del caso puntual de un sistema de abastecimiento en el cual la fuente es un río con caudal intermitente, sin regulación, en un terreno montañoso.

Por lo general la información que se maneja de este tipo de ríos o quebradas es escasa. A medida que se hagan estudios sobre: caudales disponibles, características de suelos, el estado sanitario de la hoya, contenido normal de arenas, arrastre de sedimentos durante crecidas, velocidad del río en el sitio de captación, entre otros, favorecerán a un diseño más eficiente del sistema. (Arocha, 1979)

2.1.5.1. OBRAS DE CAPTACIÓN O TOMA

Son los mecanismos que permite capturar un gasto deseado directamente de la fuente hasta la línea de aducción. La obra por excelencia para estos casos es el Dique-Toma, pero si se trata de un río de montaña de poco caudal que no es permanente en el tiempo, entonces esta estructura se puede limitar a interceptar el flujo de la quebrada para garantizar que se pueda captar el caudal requerido. (Arocha, 1979). Estos dispositivos están expuestos a muchos elementos negativos que resultan imposibles de prever, es por eso que deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Nivel de entrada de las aguas debe quedar a la máxima altura posible para evitar ser alcanzada por los sedimentos.

- El área de captación debe protegerse contra el paso del material grueso.
- La velocidad de la corriente en las cercanías debe ser tal que no provoque excesiva sedimentación.
- Debe ofrecer seguridad al volcamiento y deslizamiento mediante anclajes firmes y seguros.

La abundancia de información existente sobre el sitio en estudio permitirá la generación de resultados más precisos en cuanto al diseño de la obra de captación, lo que nos indica conocer características de los ríos como el contenido normal de arenas, arrastre de sedimentos durante crecidas, velocidad del flujo de la corriente en el sitio de captación, son importantes para el diseño.

2.1.5.2. OBRAS DE CONDUCCIÓN

Las obras de conducción son las encargadas de transportar el gasto captado desde la obra de toma hasta otro componente del sistema que generalmente es una obra de tratamiento o almacenamiento. El elemento de conducción está constituido por una tubería (aunque pudiera ser un canal) que dependiendo de la toma y las condiciones de la topografía pudiera trabajar por bombeo o por gravedad. Es necesario un estudio detallado para comparar ambas alternativas, pero por lo general los sistemas a gravedad resultan más económicos al largo plazo. (Arocha, 1979)

2.1.5.3. OBRAS DE TRATAMIENTO

La calidad del agua de la fuente y el uso al que será destinado determinará el tipo de tratamiento, la clasificación de las calidades del agua en Venezuela es regida por el decreto presidencial 883, publicado en el año 1995, titulado: *Normas Para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*. En ella se definen los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua y se clasifican las aguas en 8 tipos en función al uso que se le va a dar.

Las obras de tratamiento también cumplen una función de protección al sistema de abastecimiento. Cuando las obras de conducción trabajan a gravedad y la fuente es superficial (ríos, quebradas, lagos, etc.), el arrastre de sedimentos finos se puede acumular en los componentes del sistema hasta llegar a obstruirlos en corto tiempo. Para evitar esto, un tipo de tratamiento efectivo consiste en colocar un desarenador. Un desarenador es un dispositivo “*que permite la retención del agua, de tal modo que partículas de arena puedan decantar como resultado de las fuerzas de gravedad y de otras fuerzas*” (Arocha, 1979). En caso de tener arenas finas o limos

arcillosos, no habrá que colocar un desarenador. Su diseño generalmente se basa en función del tamaño de la partícula, peso, forma, viscosidad del líquido y la temperatura del agua.

2.1.5.4. OBRAS DE AMACENAMIENTO

La función principal de estas obras es regular el flujo de agua de manera de lograr el equilibrio de horario entre la oferta y la demanda (Bolinaga, Proyectos de Ingeniería Hidráulica, 1999). Dicho de otra manera, para un sistema de recolección de aguas pluviales, la función es almacenar el agua cuando se puede captar la precipitación de manera que el usuario puede utilizarla cuando lo requiere.

2.1.5.5. OBRAS DE FILTRACIÓN

Las obras de filtración tienen como función mejorar la calidad del fluido entre otras cosas evitando el paso partículas no deseadas a través de las tuberías para impedir su obstrucción. En este punto se hará referencia de diferentes tipos de filtro que se puede emplear en este proyecto.

2.1.5.5.1. REJILLAS DE PROTECCIÓN

Este es el primer tipo de filtración utilizado en un sistema de drenajes, las rejillas se encargan de permitir el paso del agua mientras evitan la introducción de partículas o elementos de gran tamaño que al caer o ser arrastrados por el flujo de agua puedan obstruir el sistema de drenaje evitando que cumpla con su función de desalojar el agua. El inconveniente de este tipo de sistema es que permite el paso de partículas con dimensiones menores a la separación entre los barrotes por lo que se hace necesario un filtro de mayor eficiencia si el agua será transportada en tuberías diferentes a las de drenaje.

2.1.5.5.2. FILTROS CONVENCIONALES

Los filtros son unidades tipo tanque que contienen lechos porosos que se encarga de reducir el número de microorganismos, materia en suspensión y material coloidal presente en un flujo de agua que se hará pasar a través de él mejorando la calidad del mismo (Gil, Khan P., & Hernández, 2011) estos filtros generalmente implican procesos de coagulación, floculación, clarificación, filtración y desinfección. En principio la sustancia porosa del lecho filtrante puede ser cualquier material estable.

2.1.5.5.3. FILTROS ECOLÓGICOS

En el año 2006 el profesor Dr. Yuefeng Xie de la Universidad Estatal de Penn desarrolló un método que utiliza polvo de neumático en vez de arena, antracita y otros para filtrar agua, lo que

resulta en un medio ecológico de filtración, este método puede utilizarse en aguas de lluvia y en aguas servidas. (Henver, 2006)

Este sistema produce un rendimiento similar a los filtros tradicionales en lo que respecta a la turbidez, la eliminación de partículas suspendidas, entre otras. Sin embargo, permite una mayor velocidad de filtración y una mayor vida útil. Este método presenta una eficacia en la eliminación de partículas grandes ($>10\ \mu\text{m}$) y una mejora en las pérdidas de carga producidas en él. Este sistema cuenta con una notable ventaja sobre los otros, que es la significativa reducción del peso de los filtros ya que la densidad de la arena, grava o antracita es mayor que la del caucho. (U.S. Geological Survey, 2004)

2.1.6. LAGUNA

El termino proviene del latín “*Lacuna*”, que significa depósito natural de agua que tiene una menor dimensión que el lago y cuyas aguas suelen ser dulces, por esto, poseen una diversidad de especies animales y vegetales, ya que las mismas gozan de humedad para el desarrollo de una variedad biológica en sus alrededores, constituyendo biotopos muy frágiles por la vulnerabilidad a las sequías (Ecu Red). Otra definición dice que el término viene de la palabra “*Laguna*”, tomada del idioma italiano, y que originalmente se refería a las aguas circundantes de Venecia (Geo Enciclopedia). Son aguas poco profundas, de relativa calma en comparación con los ríos ya que no se encuentran en movimiento y en cambio están estancadas.

Las lagunas pueden formarse por distintos motivos. Uno de ellos es a partir de la acción de fuerzas tectónicas, las cuales crean depresiones mediante plegamientos de la corteza terrestre generando los levantamientos conocidos como domos, separados por depresiones en las que se crea una fosa que se llena de agua. Otra causa de la formación de una laguna puede ser la existencia de un volcán. Los volcanes pueden generar espacios propicios para que se acumule el agua al erupcionar, ya que el material que expulsan forma cráteres en el suelo, los mismos pueden ser de hasta unos 1,6 kilómetros de diámetro.

Otra vía para la formación de estos estancos es el desmoronamiento de la ribera de un río, o por el aislamiento de un brazo o meandro del mismo, el desborde de un determinado afluente o por ser un lugar propicio para su desembocadura. Al mismo tiempo, los glaciares, en su avance y retroceso forman cavidades que con el tiempo se llenan por el agua del deshielo creando lagunas.

No obstante, en algunas ocasiones las lagunas se forman por la acción del hombre, para dar origen a diversas actividades económicas, como es el caso de la necesidad de tener un reservorio de agua para cultivos, generar energía hidroeléctrica, de tratamiento de aguas servidas, entre otros.

2.1.6.1. VARIACIONES DE LAGUNAS

Las posibles variaciones en lagunas de tratamiento de aguas servidas se pueden clasificar de distintas maneras (Figura 7), una de las más habituales las clasifica según la participación del oxígeno disuelto en el sistema:

- **Lagunas Aerobias:** una laguna en que se espera (por diseño) que exista oxígeno disuelto en todo el sistema. Suelen medir de 1 a 1,3 metros de profundidad de tal forma que la luz solar pueda llegar hasta el fondo de la misma. De esta forma se facilitan que crezcan algas y que produzcan oxígeno para las bacterias aerobias.
- **Lagunas Anaerobias:** el oxígeno está ausente en toda la laguna, es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno. Suelen medir de 2,5 a 5 metros de profundidad. Estas lagunas suelen utilizarse para tratar residuos muy concentrados como los que eliminan en una industria alimenticia.

Dado que los gases que se forman durante la degradación anaerobia de la materia huelen mal, estas lagunas no se utilizan habitualmente, deben situarse lejos de cualquier población y/o disponer de algún sistema para eliminar los malos olores.

- **Lagunas Facultativas:** son lagunas donde el oxígeno disuelto solo participa en algunas partes, pero existen regiones sin oxígeno. Son las más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales municipales y de algunas industrias. Suelen medir de 1 a 2 metros de profundidad. Los fangos del fondo son anaerobios y la superficie (hasta unos 0,6 metros) es aerobia. A media profundidad la cantidad de oxígeno disuelto suele variar y entonces tendrá lugar una descomposición aerobia o anaerobia dependiendo de la cantidad de oxígeno disponible en cada momento.

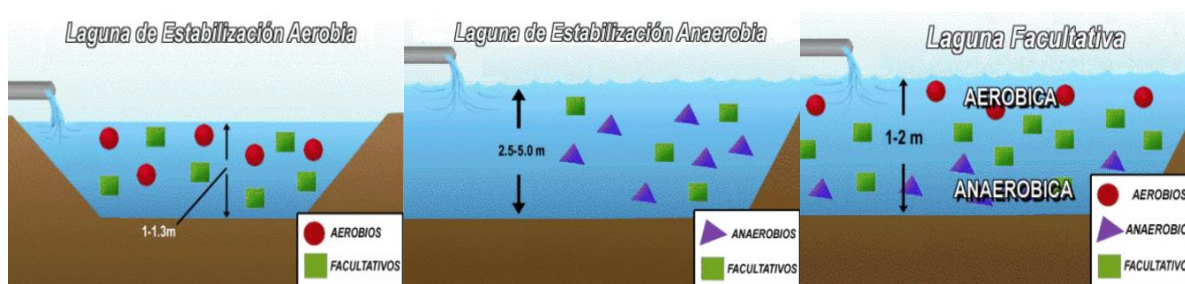


Figura 7. Las tres variaciones de lagunas: Aerobia, Anaerobia y Facultativa.

2.1.6.2. CLASIFICACIÓN DE LAGUNAS

Las lagunas pueden también clasificarse según el mecanismo que aporta oxígeno, el cual es necesario para la vida acuática y se realice la actividad bacteriana:

- **Lagunas Aireadas:** se aporta aire mediante equipos mecánicos o neumáticos para tener más cantidad de oxígeno disuelto, de este modo se puede añadir carga de residuos a la laguna o bien disminuir el tiempo de retención del agua residual.
- **Lagunas de Agitación Superficial:** la agitación promueve el contacto del agua con la atmósfera y transfiere así el oxígeno del aire.
- **Lagunas No Aireadas o Estáticas:** usualmente se basan en el aporte diurno de oxígeno desde fotosintetizadores, como algas, por ejemplo.

2.1.6.3. LAGUNAS DE RETENCIÓN Y DE DETENCIÓN

A fines de captación de volúmenes de aguas superficiales, se realizan estas lagunas, generalmente artificiales, aunque no se descarta el uso de zonas de depresión natural. Este tipo de lagunas (especialmente las de detención), usualmente se diseñan para saneamiento de aguas servidas o almacenamiento de aguas pluviales, con fines de disponibilidad para riego, u otras funciones. En el presente trabajo se presume su uso solo para fines de drenaje sustentable y aporte a la estética de la ciudad sustentable.

2.1.6.3.1. LAGUNAS DE RETENCIÓN

También llamadas en algunos sitios cuencas de retención. Son ideales donde exista superficie disponible. Las aguas pluviales son conducidas hacia una laguna artificial (o natural, de existir) y desde allí se descarga por un conducto ubicado en el fondo (tubería o cajón) que permite el paso del caudal que históricamente producía el área contribuyente drenada. Esto inclusive puede permitir la mejora en la calidad del agua al promover por un lado la sedimentación de sólidos y por otra, la introducción de plantas autóctonas que, ayudando a mejorar el paisaje, tomen ciertos nutrientes del agua (químicos disueltos) que hagan al agua aún más limpia.

El propósito es atenuar crecientes para eventos de 24 horas y periodo de retorno de 25 años y a la vez mejorar el hábitat para la fauna aviaria y acuática, convirtiéndose de hecho en unos humedales artificiales. Los diseños varían dependiendo de la topografía, precipitación de la zona, uso y tipo de suelo. En distintos casos, las lagunas reciben aguas pluviales ya canalizadas y que son desviadas a ellas. Allí, mediante pequeñas bermas semisumergidas se obliga al agua a circular a través de canales, atenuando el pico de la creciente. Además, poseen vegetación que absorbe

ciertos contaminantes, para posteriormente descargar las aguas al canal original aguas bajo, pero con una calidad mejorada. Las plantas sembradas corresponden a flora autóctona, desplazando las especies invasoras, y que constituyen, a la vez, refugio para la fauna local (Macrina, sin fecha). Esas lagunas reciben aguas de las zonas urbanizadas, calles, patios, etc. que les llegan a través de tuberías y cunetas o canales superficiales.

El fondo de las lagunas está diseñado de una forma tal que permite el acceso a equipos para remover el sedimento acumulado. Asimismo, contemplan estructuras de desvío para cuando el caudal excede los parámetros de diseño (Figura 8). En diferentes casos, además de su función de drenaje y limpieza de contaminantes, constituyen un área educativa para la comunidad al convertirse en parques de recreación y educación ambiental mediante vallas colocadas en varios sitios explicando su funcionamiento y utilidad.

Las lagunas de retención tienen, sin embargo, una condición adversa muy importante y que debe ser tomada en cuenta a la hora del diseño y es que no deben quedar aguas estancadas después de vaciada la laguna, ya que pueden convertirse en sitios propicios para la proliferación de insectos.

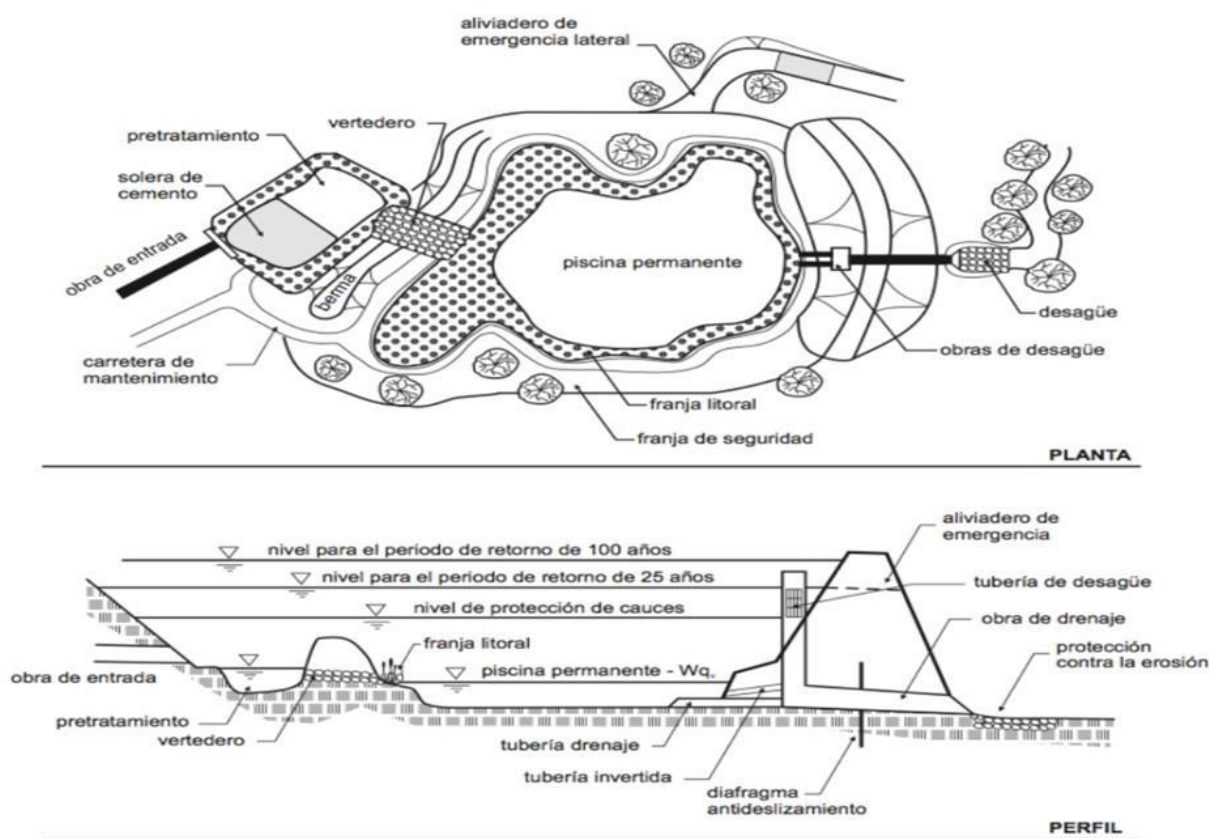


Figura 8. Esquema de laguna de retención.

2.1.6.3.2. LAGUNAS DE DETENCIÓN

También llamadas cuencas de detención. Contrarias a las anteriores, su objeto es almacenar las aguas, sin contar con una salida para caudales históricos, salvo cuando ocurren excesos a la capacidad de almacenaje mediante un vertedero. Al igual que las anteriores son diseñadas bajo parámetros similares, usualmente para el almacenaje de varias tormentas y no de una sola, como ocurre en las lagunas de retención. En realidad, son como pequeños embalses, muy usados en riego de zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, su propósito final, en el caso del drenaje sustentable, puede ser el ya mencionado de retención de aguas, estético- recreacional, como fuentes de infiltración mediante humedales artificiales (Figura 9) o como función conjunta de varios de estos fines.

Estas lagunas tienen que tener dimensiones muy específicas en cuanto a profundidad (entre 1 a 2 metros de profundidad), y área variable, pero de cierta extensión, ya que de lo contrario pueden convertirse en lagunas anaeróbicas con crecimiento de algas, y proliferación de zancudos y otros insectos perniciosos. Por tratarse de áreas de mayor extensión no suelen existir en zonas urbanas, a menos que existan terrenos baldíos municipales que lo permitan, o zonificaciones especiales. En algunos casos, y para evitar los inconvenientes señalados, poseen aireadores que propician la recirculación de las aguas y también incluyen la siembra de peces que contribuyen a la eliminación de las larvas de zancudos, etc. Estas lagunas guardan muchas semejanzas con las lagunas utilizadas en el tratamiento de aguas servidas, en cuanto a su dimensionamiento.

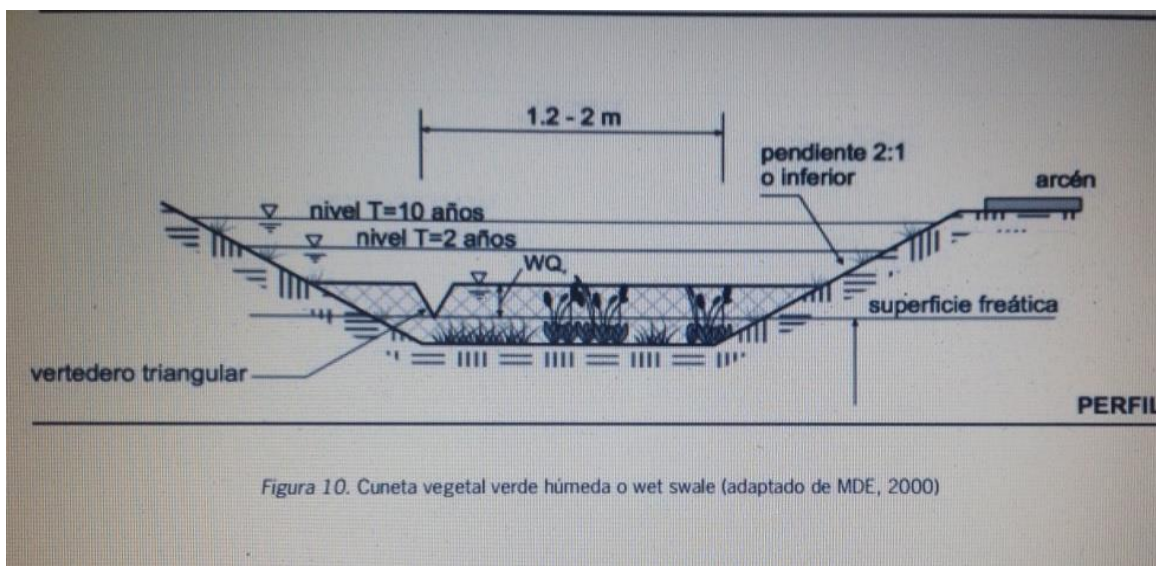


Figura 9. Laguna de infiltración tipo humedal.

2.1.6.4. ORGANISMOS DE LAS LAGUNAS

Las lagunas constituyen biotopos muy frágiles por la vulnerabilidad a las sequías y a las alteraciones en la salinidad y temperatura de las aguas, pero de una extraordinaria riqueza biológica. Muchas de ellas son estaciones de paso fundamentales para las aves migratorias, así como hábitat de endemismos vegetales y animales, fundamentalmente de anfibios, peces, reptiles y pequeños mamíferos.

Las condiciones físicas y químicas dominantes en los medios acuáticos determinan el tipo de organismos que lo habita. Se han propuesto varias clasificaciones ecológicas de los organismos acuáticos; la más aceptada hoy en día es la siguiente:

- **Plancton:** comprende los organismos que viven suspendidos en las aguas y que, por carecer de medios de locomoción o ser estos muy débiles, se mueven o se trasladan a merced de los movimientos de las masas de agua o de las corrientes. Generalmente son organismos pequeños, la mayoría microscópicos.
- **Necton:** son organismos capaces de nadar libremente y, por tanto, de trasladarse de un lugar a otro recorriendo a veces grandes distancias (migraciones). En las aguas dulces, los peces son los principales representantes de esta clase, aunque también encontramos algunas especies de anfibios y otros grupos.
- **Bentos:** comprende los organismos que viven en el fondo o fijos a él y por tanto dependen de éste para su existencia. La mayoría de los organismos que forman los bentos son invertebrados.
- **Neuston:** a este grupo pertenecen los organismos que nada o "caminan" sobre la superficie del agua. La mayoría son insectos.
- **Seston:** es un término adoptado recientemente y se aplica a la mezcla heterogénea de organismos vivientes y no vivientes que flotan sobre las aguas.
- **Perifiton:** organismos vegetales y animales que se adhieren a los tallos y hojas de plantas con raíces fijas en los fondos

2.1.6.5. FLORA Y FAUNA

Desde el principio de los tiempos las plantas y algas marinas son uno de los primeros pobladores del planeta, y actualmente, una de las esperanzas para el futuro de la humanidad.

En las lagunas encontramos gran diversidad de plantas acuáticas, también llamadas plantas hidrofílicas o higrófilas, son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos. Su

adaptación al medio acuático es variable, se pueden encontrar diferentes grupos de plantas, unas totalmente sumergidas, otras, las más numerosas, parcialmente sumergidas o con hojas flotantes. Se puede clasificar este tipo de vegetación en tres grandes grupos de plantas acuáticas: plantas de ribera o margen, plantas flotantes y plantas para aguas profundas. Entre las distintas plantas se destacan el Junco grande, Totora, Junco Chico, Apio del diablo, Repollito de agua, Pelo de Chanco, Saetas, Duraznillos de agua, Hierba del bicho.

Ya fuera de las áreas inundables aparecen las comunidades vegetales típicas de los pastizales pampeanos modificados por el hombre, con numerosas gramíneas que forman típicos pajonales; y muchas plantas con flores vistosas como las simpáticas Verbenas, y los exóticos Cardos.

Los Juncos forman las comunidades vegetales más importantes de la laguna. Entre ellos encuentran refugio y alimento muchos de los animales del lugar como los coipos, las gallinetas y distintas garzas. En las orillas y partes menos profundas podemos encontrar esta pintoresca hierba flotante que llega a ocupar vastas superficies en las áreas protegidas por los juncos y cuentan con otras plantas como el macío. Plantas flotantes: son aquellas que flotan en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua en lugar de arraigadas en macetas o en el fondo. Ejemplo de ellas son el Jacinto de agua, la Pita de agua y la lenteja de agua.

Dado que las lagunas se ubican en las regiones tropicales, resulta que la flora y fauna que los acompaña resulta abundante y diversificada. Basta acercarse a las orillas de una laguna para percatarse de la existencia de mosca, cangrejos, ninfas de caballitos del diablo, gusanos, caracoles, y mosquitos.

Aunque puede ser una residencia ocasional para algunas especies, para otras es un hábitat permanente que destaca por la variedad en clases de ejemplares; en el ecosistema lacustre podemos encontrar peces, insectos, anfibios, aves, etc. En espejos de agua habitan diversas especies, algunas de ellas de forma permanente, y otras de manera ocasional, según la época del año o la etapa de sus vidas. Se trata de un hábitat fundamental para muchas especies, las cuales lo eligen para vivir temporalmente (por ejemplo, para depositar sus huevos) o de manera permanente. Algunos animales que viven en estas lagunas son: salamandra acuática, tortuga pintada, flamencos, pez Koi, libélula, pato, y ranas.

Entre los vertebrados que más sobresalen están las serpientes acuáticas, tortugas, ranas e incluso cocodrilo. Sin embargo, son las aves más conspicuas de las especies que habitan las lagunas, como pelícano, garzas, pato, martines pescadores, flamenco, tilapia y claria.

La Laguna es igualmente hábitat de muchas especies de aves acuáticas como gallinetas, gallinuelas y el gavián caracolero.

2.1.6.5.1. PLANTAS ACUÁTICAS FLOTANTES

Son las plantas que se quedan en la superficie del agua, las especies de plantas acuáticas flotantes para estanques más habituales son:

- Pistia o lechuga de agua.
- Jacinto de agua.
- Hydrocharis morsus-ranae.
- Salvinia natans o helecho de agua.
- Stratoides aloides.

2.1.6.5.2. PLANTAS ACUÁTICAS PARA ESTANQUES DE AGUAS PROFUNDAS

Son las plantas que se encuentran en el fondo del estanque, a mayor profundidad, las especies de plantas para estanques que son de aguas profundas más habituales son:

- Nymphaea odorata alba blanca
- Nymphaea alba blanca
- Nymphaea gladstoniana
- Nymphaea chromatella
- Nymphaea gladstoniana amarilla
- Nymphaea carnea rosa
- Nymphaea rosea arey rosa
- Nymphaea laydekeri rosea roja
- Nymphaea atraction roja
- Nymphaea stellata roja
- Nymphaea vill. benetti amarilla

Asimismo, como en este tipo de agua es más fácil que haya más biodiversidad, estas también son plantas para estanques de peces y anfibios.

2.1.6.5.3. PLANTAS ACUÁTICAS DE RIBERA O MARGEN

Son plantas para decorar y dar más vida a los estanques. En esta zona se pueden plantar tanto plantas acuáticas, procurando que su raíz quede en el agua, pero en el borde de esta, o bien

plantas que no sean estrictamente de agua, pero si crezcan bien si están cerca de ella, pudiendo colocarlas a medio metro de la orilla. Las plantas acuáticas de ribera o margen más habituales son:

- *Achorus calamus*
- *Calas*
- *Caltha palustris*
- *Cyperus papyrus*
- *Cyperus alternifolius*
- *Equisetum arvense*
- *Glyceria variegata*
- *Iris pseudoachorus*
- *Iris sibirica*
- *Juncos glauca*
- *Juncus maritimus*
- *Juncos inflexus*
- *Juncus acutus*
- *Mentha acuática*
- *Misolis palustris*
- *Pontederia lanceolata*
- *Pontederia cordata*
- *Schoenoplectus lacustris*
- *Scirpus cespitosus*
- *Scirpus lacustris*
- *Thalia dealbata*
- *Tipha latifolia*
- *Tipha*
- *Tipha minima*
- *Veronica vegabunda*

2.1.6.5.4. PLANTAS ACUÁTICAS OXIGENADORAS

Aparte de la clasificación anterior de los tres grupos principales, hay otras formas de clasificar a los distintos tipos de plantas acuáticas para estanques, pues por ejemplo se puede hablar

de plantas oxigenadoras y oxigenantes que son las que ayudan a renovar el oxígeno en el agua. Las plantas oxigenantes para estanques más habituales son:

- *Ceratophyllum demersum*
- *Elodea crispus*
- *Elodea canadense*
- *Myriophyllum aquaticum*
- *Myriophyllum verticillatum*
- *Vallisneria normal*
- *Vallisneria gigantea*
- *Vallisneria tortifolia*

2.1.6.5.5. PLANTAS PALUSTRES

Aparte de las plantas para estanques oxigenadoras y de la clasificación anterior, hay otros tipos o formas de clasificar a las plantas de agua. Para terminar, se hablará de las plantas palustres, ideales para estanques en los que se quiera que haya basta biodiversidad.

Se trata de plantas que tienen las hojas verticales, siguiendo al tallo, y que sobresalen del agua o del borde u orilla. Son ideales para zonas de agua poca profunda o para márgenes o riberas, ya que es donde prosperan mejor. Además, sus raíces ayudan a regular el agua del estanque, proporcionando oxígeno, nutrientes y filtrando las impurezas.

También son interesantes de colocar en un estanque de esparcimiento, porque atraen animales, ya que sirven de refugio a distintas especies de libélulas, mariposas y otros insectos, ranas y otros anfibios y a aves. Las plantas palustres para los estanques más habituales son:

- *Juncos*
- *Iris*
- *Cyperus*
- *Equisetum*

2.1.6.6. HUMEDALES ARTIFICIALES

Son elementos artificiales, de escasa profundidad y con una elevada densidad de vegetación emergente, propia de pantanos y zonas húmedas. Esta alta cantidad de vegetación hace que los niveles de bioeliminación de contaminantes sean más que notables.

Además de la gran efectividad en el control de la calidad del agua, también son de utilidad en el control del volumen de escorrentía. Un punto a tener en cuenta en el diseño de estos elementos es la importancia de asegurar siempre un flujo base, especialmente en períodos de sequía, ya que es imprescindible para mantener con vida la flora y la fauna que habitan en el humedal.

Una de las ventajas más significativas de estas técnicas es que aporta un gran potencial ecológico, estético, educacional y recreativo al lugar en el que son emplazadas.

2.1.7. SOLUCIONES SUSTENTABLES DE DRENAJE

La sustentabilidad se define como la propiedad que tiene un sistema de mantenerse estable en el tiempo, es decir, la capacidad de soporte que tiene un determinado ambiente para absorber los impactos humanos y sostener indefinidamente todas las formas de vida. Representa una relación equilibrada entre las necesidades humanas, el tamaño limitado y capacidad finita de los recursos naturales (Duque, 2014).

Es importante acotar que el término de sustentabilidad es sinónimo de sostenibilidad, es decir, tienen el mismo significado. Se aclara este punto, porque en muchas fuentes bibliográficas hacen uso, dependiendo del autor, de uno de los dos términos. En 1987 se emplearon por primera vez los términos de Sustentabilidad y Desarrollo Sustentable dándole difusión mundial a través del informe “Nuestro Futuro Común” planteado por las Naciones Unidas en la World Commission on Environment and Development. (Crosara, 2015).

Otras conferencias y eventos realizados han involucrado temas ambientales globales incorporando como meta principal el desarrollo sustentable, abordando la construcción de una economía ecológica que defina las vías hacia un futuro sustentable, con más empleos, energías limpias y seguridad (Benítez, 2015).

En los últimos años muchas de las instituciones de algunos de los países más avanzados del mundo reconocen la importancia y beneficio de hacer frente a los problemas asociados a la gestión de las aguas pluviales en el medio urbano desde una perspectiva diferente a la convencional, teniendo hacia un desarrollo sostenible y en concordancia con el medio ambiente (Perales, 2008).

Este cambio que se quiere implementar desde hace años atrás y que actualmente sigue en vigencia, es un proceso que dependerá principalmente de la sensibilización del hombre en el entorno en donde habita. Esta nueva modalidad de vida busca garantizar el bienestar de la

población, dentro de un contexto de equidad social progreso científico-tecnológico y una nueva ética en las relaciones del hombre con la naturaleza. (Gabaldón, 2011).

Los nuevos conceptos de este enfoque buscan soluciones factibles para recuperar los patrones de flujo similares a los anteriores a la urbanización, con el fin de minimizar los impactos sobre el ciclo urbano del agua y rescatar sus funciones naturales. A continuación, se presentan algunos de estos nuevos conceptos, con poca diferencia, que son referencias frecuentes en control de inundaciones urbanas.

2.1.7.1. MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO (BMP)

Concepto desarrollado a partir de la década de 1970, trabajando en el control de generación de escorrentía, en cuanto a los aspectos de cantidad y calidad. En Brasil, se formalizó un concepto similar basado en la introducción de técnicas compensatorias para conocer los efectos de urbanización sobre los patrones de flujo y ciclo urbano del agua.

2.1.7.2. DISEÑO URBANO SENSIBLE DEL CICLO DEL AGUA (WSUD)

El departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Australia define el Diseño Urbano Sensible del ciclo del Agua (WSUD), por sus siglas en inglés, como *“una filosofía que pretende mitigar los impactos ambientales, en particular sobre la cantidad y calidad del agua y en la recepción en cursos fluviales, asociados habitualmente con la urbanización. El WSUD incorpora medidas de manejo holístico que tienen en cuenta la planificación y el diseño urbano, el uso social y ambiental del paisaje urbano y la gestión integrada de las aguas pluviales con su transporte mediante la reducción de los picos de caudal, la protección de los sistemas naturales y de la calidad del agua, y la reutilización de las aguas pluviales para la conservación del paisaje”*.

2.1.7.3. TÁCTICAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO (LID)

Según la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), las Tácticas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID), por sus siglas en inglés, son *“estrategias de diseño que tienen el objetivo de mantener o reproducir el régimen hidrológico equivalente al natural. Es decir, técnicas que contemplan las funciones hidrológicas de recarga del agua subterránea, la infiltración y almacenamiento, así como el control del volumen y la frecuencia de las descargas a través de la retención de las superficies impermeables y el alargamiento de las trayectorias del flujo y el tiempo de escorrentía”* (Coffman, 2000).

2.1.7.4. INFRAESTRUCTURA VERDE

El término Infraestructura Verde es relativamente nuevo y se le pueden dar varias acepciones. Pero la que aquí nos interesa es la determinada por la EPA, que propone el siguiente significado: *“Sistemas y prácticas que emplean o imitan procesos naturales para infiltrar, evapotranspirar, o reutilizar el agua pluvial donde se genera”*. La infraestructura verde puede ser usada en una amplia gama de espacios a diferente escala en lugar de los elementos de drenaje convencional, para favorecer los principios del Desarrollo de Bajo Impacto (LID).

2.1.7.5. TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

En la publicación del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX): *“Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano”* (Puertas Agudo J., Suárez López J. Anta Álvarez J.; 2008) se definen las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS) como: *“Procedimientos destinados a que el sistema global de saneamiento mejore su eficacia en la recogida, transporte y depuración de las aguas pluviales”*.

2.1.7.6. SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (SUDS)

Aunque los términos expuestos anteriormente, no son exactamente lo mismo, unos hacen más hincapié en la calidad del agua, otros en la gestión, otros en las medidas a tomar, más sin embargo, se puede observar claramente que la filosofía de lo que llamaremos a partir de ahora Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) es la misma: *“Intentar ajustar el drenaje a los procedimientos naturales para evitar cualquier posible impacto negativo que las aguas de escorrentía urbana pudiera producir en el medio”*.

Los sistemas urbanos de drenaje sustentable son una alternativa y/o complemento al tratamiento convencional de las aguas pluviales en las ciudades, el cual se ha visto afectado en los últimos años debido al crecimiento poblacional que ha generado una gran expansión, produciendo un aumento considerable de las superficies impermeables y por ende problemas asociados a la escorrentía superficial. Dicho crecimiento no es sostenible y sobrepasa cualquier previsión, cualquier diseño y cualquier planteamiento de servicios urbanos. Por tanto, los sistemas de drenaje urbano actuales necesitan de la aplicación de técnicas nuevas que ayuden a solucionar los problemas existentes. En este sentido, el drenaje sostenible pretende tratar de forma natural el agua de lluvia y aprovecharla en lo posible, sin convertirla en agua residual, con el objetivo de completar la labor realizada por los sistemas de drenaje convencionales. (Rodríguez, 2008)

En el Reino Unido, la asociación CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) dedica una rama de estudio, Susdrain, al fomento y divulgación del drenaje sostenible. Esta organización define los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, como *“aquellos sistemas de drenaje que contribuyen al desarrollo sostenible y a la mejora del diseño urbano, equilibrando los diferentes intereses que influyen en el desarrollo de la comunidad. Enfocan la gestión del agua superficial considerando la cantidad de agua (inundaciones), la calidad (contaminación) y el uso público que se le puede dar a esa agua superficial”*.

“Se entenderá por sistema de drenaje urbano un conjunto de acciones, materiales o no, destinadas a evitar, en la medida de lo posible, que las aguas pluviales causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana... Dentro del término aguas pluviales quedan comprendidas no solamente las originadas de las precipitaciones que caen directamente sobre las áreas urbanizadas que conforman la población, sino también aquellas que se precipiten sobre otras áreas, pero que discurran a través de la ciudad, bien sea por cauces naturales, conductos artificiales o simplemente a lo largo de su superficie” (Bolinaga, 1979).

Los SUDS son aquellos elementos participantes en el drenaje de las ciudades que, además de reducir el caudal producido por la lluvia, disminuyen los contaminantes arrastrados por la escorrentía. Al igual que los sistemas de drenaje convencional, su principal función es la de evitar el riesgo de inundaciones, pero además tiene otras funciones, como es impedir la contaminación de las aguas, minimizar costes económicos en la gestión de pluviales y mejorar el paisaje urbano (SuD Sostenible, 2016).

Muchos de los SUDS son infraestructuras verdes (Figura 8), que se caracterizan por el empleo de la vegetación como elemento de control y regulación del agua pluvial. Pueden ser diseñadas para atenuar el caudal de agua antes de que se incorpore a corrientes, ríos u otros cursos de agua. Proporcionan espacios para el almacenamiento de agua en entornos naturales donde esta puede ser infiltrada a través del suelo, evaporada desde la superficie desde la lámina del agua o evapotranspirada por la vegetación. Estas infraestructuras tienen varias ventajas, como la mejora estética de los barrios donde se implantan o la reducción de ondas de calor dentro de las urbes.

De igual manera que pasa con el drenaje tradicional, han de diseñarse acorde a unos criterios hidrológicos para su correcto funcionamiento. A través de una selección e implantación de técnicas de drenaje urbano sostenible incluyendo los cálculos hidrológicos e hidráulicos propios del diseño

de una red de drenaje, y además el estudio e integración de otros factores muy importantes, relacionados con el urbanismo, el paisajismo, o la ecología ya que estos sistemas se componen de elementos de muy diferente naturaleza y han de combinarse perfectamente en el medio donde se implementan. Por tanto, en la ejecución de estos sistemas no son sólo partícipes proyectistas, técnicos y personal de la administración, sino que también los son los ciudadanos.



Figura 10. Bosquejo de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS).

Las nuevas subdivisiones urbanas deben tener en cuenta el reto de desarrollo de las zonas urbanas sin cambiar los patrones hidrológicos naturales, considerando en su diseño almacenamiento y medidas de infiltración. Por otra parte, a estas nuevas tendencias se suman las preocupaciones de control de calidad del agua, así como el mejoramiento de las aguas de lluvia como un recurso para ser explotado en un enfoque integrado para la gestión sostenible dentro del medio urbano.

Los conceptos mencionados anteriormente, buscan agregar valor a los espacios urbanos, con múltiples funciones, combinando el control de inundaciones medidas con las intervenciones del paisaje urbano; convirtiéndolos en una opción interesante desde el punto de vista de la revitalización de las áreas degradadas, así como la optimización de los recursos disponibles e inversiones públicas.

2.1.8. FUNDAMENTOS DE UN PROYECTO DE SISTEMAS DE DRENAJES

Es importante mencionar los principios o fundamentos básicos que gobiernan un proyecto de sistemas de drenajes, entre los cuales se encuentran:

- **Servicio público:** el sistema de drenaje urbano es un servicio público, y en consecuencia debe ser planificado en beneficio de la colectividad.
- **Planificación urbana integral:** el sistema de drenaje urbano es parte de un complejo mayor, el sistema urbano integral y, en consecuencia, su planificación debe ser coordinada e integrada con la planificación urbana.
- **Planificación del aprovechamiento de los recursos hidráulicos:** el sistema de drenaje urbano es también parte del sistema de manejo de recursos hidráulicos y, en consecuencia, su planificación debe encajar dentro de la planificación del aprovechamiento de dichos recursos. Particularmente, es importante la coordinación entre el drenaje urbano y el control de inundaciones, en su nivel más amplio. El logro de los objetivos de un sistema de drenaje urbano debe alcanzarse con la visión restringida a una ciudad, localidad o problema específico, sino dentro del contexto regional e hidrográfico.
- **Condiciones sanitarias:** en ningún caso un sistema de drenaje urbano puede ocasionar un empeoramiento de las condiciones sanitarias de la población, sino que por el contrario debe mejorarlas.
- **Ecología:** contribuir al mantenimiento ecológico y ambiental de las ciudades y cuencas hidrográficas adyacentes, tienen especial significado en el proyecto de un sistema de drenaje (Bolinaga J., 1979).

El urbanista debe tomar en cuenta cada uno de los principios descritos anteriormente, para realizar un esquema preliminar de organización, en el cual se contemple el aspecto de drenaje. Luego junto con el ingeniero hidráulico evalúan la información necesaria para la ejecución del sistema. Dicha información considerará los siguientes puntos:

- **Estudios del drenaje natural del terreno y de sus alrededores:** antes de la planificación de un proyecto de drenaje urbano se debe determinar cómo es el drenaje natural del terreno mediante la información topográfica (cartas aerofotogrametrías, levantamiento en una escala adecuada del terreno) y visitas de campo para diseñar en base a él, ya que de este modo, se idéntican aquellos cauces naturales que atraviesan el terreno o que pasan cerca de él, que serán los receptores finales del sistema de drenajes de la urbanización en proyecto.

- **Estudios hidrológicos necesarios:** determinación de la lluvia de diseño del proyecto, al igual que estudios de creciente de cauces que afecten al proyecto en desarrollo (Palacios, 2011).

2.1.9. DIFERENCIAS CON EL DRENAJE CONVENCIONAL

Las nuevas subdivisiones urbanas deben tener en cuenta el reto de desarrollo de las zonas urbanas sin cambiar los patrones hidrológicos naturales, considerando en su diseño almacenamiento y medidas de infiltración. Por otra parte, a estas nuevas tendencias se suman las preocupaciones de control de calidad del agua, así como el mejoramiento de las aguas de lluvia como un recurso para ser explotado en un enfoque integrado para gestión sostenible dentro del medio urbano.

Visualmente son muy fáciles de encontrar las diferencias entre el drenaje sostenible y el convencional, pero las diferencias esenciales no son las de tipo estético (Tabla 3). A continuación, se presenta un cuadro comparativo que señala las diferencias entre un sistema convencional y uno sustentable de acuerdo a distintos parámetros.

	SISTEMA CONVENCIONAL COLECTORES	SISTEMA ALTERNATIVO SUDS
Coste de construcción	Pueden ser equivalentes, aunque los usos indirectos de los SUDS reducen su coste real	
Costes de operación y mantenimiento	Establecido	No establecido: falta experiencia
Control de inundaciones en la propia cuenca	Sí	Sí
Control de inundaciones aguas abajo	No	Sí
Reutilización	No	Sí
Recarga / Infiltración	No	Sí
Eliminación de contaminantes	Baja	Alta
Beneficios en servicios al ciudadano	No	Sí
Beneficios educacionales	No	Sí
Vida útil	Establecida	No establecida: falta experiencia
Requerimientos de espacio	Insignificantes	Dependiendo del sistema, pueden ser importantes
Criterios de diseño	Establecidos	No establecidos: falta experiencia

Tabla 3. Comparación entre el sistema de drenaje convencional y el sistema alternativo SUDS.

Analizando el cuadro anterior se evidencia que las diferencias más esenciales no son las de tipo estético. A continuación, se desarrollan de manera más detallada los puntos anteriormente expuestos.

- La visión que se tiene del agua de escorrentía. Mientras que en el drenaje convencional esta se considera como un inconveniente a eliminar, en los sistemas de drenaje sostenible pasa a ser un recurso con varias utilidades (recargar un acuífero, dar valor paisajístico a una zona, entre otras).
- El drenaje sostenible sirve para encargarse no sólo del gasto de escorrentía, sino también la carga contaminante que arrastra, mientras que el convencional no se ocupa de esto.
- Usa varios medios para la gestión del caudal, aparte de la evacuación, se emplea la infiltración, la evapotranspiración, mientras que el drenaje convencional se limita a transportar el agua de escorrentía fuera del lugar de origen.
- En general, los sistemas de drenaje sostenible requieren de una inversión inferior a las necesarias en el drenaje convencional.
- Algunas de las técnicas incluidas en los sistemas de drenaje urbano sostenible ofrecen una mejora paisajística en el lugar donde se emplazan, lo que nunca ocurre con el drenaje convencional.

2.1.10. VENTAJAS DE UN DRENAJE SUSTENTABLE

Según Rodríguez (2008), existen tres ventajas principales en un sistema de drenaje sustentable: control y manejo del agua pluvial, mejora de su calidad y servicio a la sociedad. Estas tres ventajas generales se pueden expresar en múltiples y variadas ventajas particulares. Sin embargo, se realiza una tipología más desarrollada de las ventajas, agrupándolas de la siguiente manera (Abellán, 2013).

2.1.10.1. VENTAJAS HIDROLÓGICAS

- Prevención frente a inundaciones.
- Mantenimiento o restauración del flujo natural en corrientes urbanas.
- Menor interferencia en los regímenes naturales de las masas de aguas receptoras, tanto en calidad como en cantidad.
- Recarga de acuíferos subterráneos, restituyendo el flujo subterráneo hacia los cursos naturales mediante infiltración.

2.1.10.2. VENTAJAS PAISAJÍSTICAS

- Creación de entornos naturales (como humedales, por ejemplo) de valor paisajístico.
- Mejora de la calidad estética de una zona urbana, aumentando el valor de las zonas residenciales donde se implanta.

2.1.10.3. VENTAJAS AMBIENTALES

- Mejora de la calidad de las aguas de escorrentía.
- Reducción de la cantidad de contaminantes que llegan al medio receptor.
- Reducción del efecto “isla de calor” en las ciudades, contrarrestando el aumento de temperatura.
- Al prevenir las inundaciones y permitir el drenaje eficiente de agua de lluvia, ayuda a hacer frente a los efectos del cambio climático.
- Protección de las corrientes urbanas de vertidos accidentales y pérdidas de tuberías, por un lado, es bueno ya que evita encharcamientos, pero a su vez recarga los acuíferos.

2.1.10.4. VENTAJAS SOCIALES Y URBANAS

- Permite el desarrollo urbano en espacios con el sistema de alcantarillado colapsado.
- Soluciona la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida al rápido crecimiento urbano de una zona, evitando la necesidad de desdoblamiento de la red.
- Embellecen la construcción urbana.

2.1.10.5. VENTAJAS ECONÓMICAS

- Son considerados como sistemas de drenaje de aguas pluviales de bajo coste, por requerir de una menor inversión en su construcción comparada con otros métodos convencionales.
- Disminuyen las pérdidas económicas por daños provocados por inundaciones.
- Al pasar a ser el agua de precipitación un recurso disponible e incluirse en la gestión de recursos hídricos, disminuye el gasto en la captación y otras obras hidráulicas.
- Incremento del valor añadido de las urbanizaciones, debido a la mejora del paisaje del entorno y de la dotación de zonas recreacionales adicionales.
- Reducen los costos de funcionamiento de las depuradoras al disminuir la cantidad de agua a tratar que llega a las mismas, la cantidad de energía invertida en el tratamiento y al no alterarse frecuentemente el patrón de contaminantes para el que la depuradora ha sido diseñada.

2.1.11. DESVENTAJAS DE UN DRENAJE SUSTENTABLE

A pesar de la gran cantidad de ventajas que proponen estos sistemas, existen pocas experiencias prácticas en su implantación, lo que arrastra una serie de inconvenientes, como son:

- Algunas de las mejoras necesitan ser probadas a lo largo de periodos por largos tiempos.
- La falta de práctica por parte de los diseñadores limita su aplicación.
- Puede generar desconfianza frente al drenaje convencional por ser algo relativamente nuevo.
- La inexperiencia en el sector de la construcción en su adecuada ejecución.
- La necesidad de un mantenimiento específico diferente del usado en técnicas de drenaje convencional.
- La aparición de algunas malas experiencias debidas a la falta de conocimiento y te experiencia.
- La falta de manuales específicos para diferentes zonas climáticas con diferentes patrones pluviométricos.
- La escasez de modelos prácticos de desarrollo de estas técnicas.
- Al ser métodos nuevos necesitan de monitorización y análisis de los mismos a largo plazo, lo que puede aumentar los costes.
- No hay indicadores de rendimiento adecuados a largo plazo.

Todos estos inconvenientes llevan poco tiempo desarrollándose, por lo que se afirma que, con el tiempo y futuras investigaciones, podrían ser escasas o casi nulas las desventajas que podría proporcionar esta nueva alternativa de drenaje. (Abellán, 2013)

2.2. DESARROLLO INSOSTENIBLE Y PROGRESIVA DEMANDA MUNDIAL DE AGUA

La población mundial actual de 7.600 millones de personas alcanzará los 8.600 millones para el año 2030. Además, llegará a 9.800 millones para 2050 y a 11.200 millones para 2100, según estimaciones de un nuevo informe de Naciones Unidas. El informe indica que esta tendencia al alza continuará a un ritmo de aproximadamente 83 millones de personas más cada año, pese a una disminución constante de los niveles de fertilidad (United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), 2017). En el último siglo, se ha logrado un avance notorio en la civilización, fruto de muchos componentes como la revolución industrial, el control, prevención y erradicación de varias enfermedades, así como también de las mejoras en los sistemas de

saneamiento de aguas, lo cual ha permitido un incremento exponencial de la población (Ochoa, 2017).

El crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor, que a su vez *“pone en peligro la supervivencia de la vida en el planeta, al ir agotando sus recursos naturales no renovables, y modificando los que en principio son renovables de una forma tal que se hacen inaprovechables”* explica el Ingeniero José Ochoa Iturbe en su trabajo presentado ante la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.

En la actualidad, ese desarrollo va perturbando los ciclos naturales cada vez más, ocasionando cambios drásticos, destrozando los equilibrios existentes en la naturaleza y haciendo evidentemente no sustentable el futuro de la vida misma en la tierra. El cambio climático exacerbará los riesgos asociados con variaciones en la distribución y disponibilidad de los recursos hídricos. Este proceso de consumo es exponencial aún más en las ciudades, donde la solicitud de todo tipo de recursos y de servicios concentra de tal manera estas demandas que su efecto es aún más dañino para el ambiente.

Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual (2030 Water Resources Group (WRG 2030), 2009). La cuestión es que hay agua suficiente como para satisfacer las necesidades crecientes del mundo, pero no, si no cambiamos radicalmente el modo en que se usa, se maneja y se comparte el agua. La crisis hídrica mundial es una crisis de gobernanza (WWAP, 2006), mucho más que de recursos disponibles.

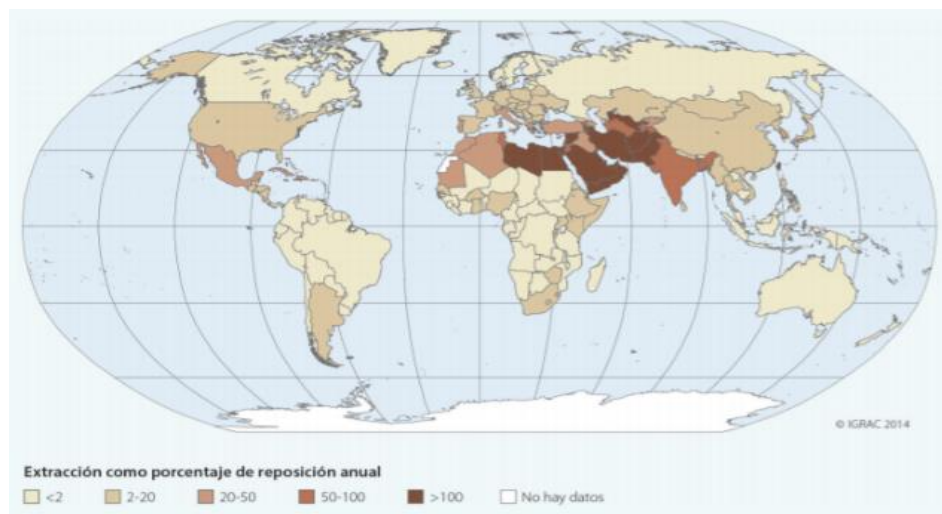


Figura 11. Estrés de desarrollo de las aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas (Figura 9) abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego (FAO, 2010). A nivel mundial, 2.500 millones de personas dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua (UNESCO, 2012).

Se estima que el 20% de los acuíferos mundiales está siendo sobreexplotados (Gleeson et al., 2012), lo que va a tener graves consecuencias, como el hundimiento del suelo y la intrusión de agua salada (USGS, 2013).

Las pérdidas económicas debidas a los peligros relacionados con el agua han aumentado considerablemente en la última década. Desde 1992, las inundaciones, sequías y tormentas han afectado a 4.200 millones de personas (el 95% de todas las personas afectadas por todos los desastres) y han ocasionado 1,3 billones de dólares estadounidenses de daños (el 63% de todos los daños) (UNISDR, 2012).

A nivel regional, se informa de que el límite global de sostenibilidad ecológica de agua disponible para su extracción ha sido superado por una tercera parte aproximadamente de la población, y aumentará hasta aproximadamente la mitad hacia el año 2030 (WWAP, 2012).

2.3. NACIONES UNIDAS Y SUS PLANES SUSTENTABLES.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) nació oficialmente el 24 de octubre de 1945, después de que la mayoría de los 51 Estados Miembros signatarios del documento fundacional de la Organización, la “*Carta de las Naciones Unidas*”, la ratificaran. En la actualidad, 193 Estados son miembros de las Naciones Unidas, que están representados en el órgano deliberante, la Asamblea General.

Debido a las facultades que le confiere la Carta y su singular carácter internacional, las Naciones Unidas pueden tomar medidas sobre los problemas que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, como la paz y la seguridad, el cambio climático, el desarrollo sostenible, los derechos humanos, el desarme, el terrorismo, las emergencias humanitarias y de salud, la igualdad de género, la gobernanza, la producción de alimentos y muchos más.

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades.

Dentro de las tendencias actuales promovidas por los retos del milenio señalados por las Naciones Unidas está el objetivo 6: “*Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*”, que se refiere a lograr ciudades sustentables. Para ello es de gran importancia la gestión de las aguas que llegan a las ciudades, el cual precisa a repensar la manera de gestionar los recursos hídricos, principalmente en cuanto a sus explotación y distribución, la mejora de servicios de agua potable a poblaciones. A su vez, obliga a buscarle un uso a las aguas que de alguna forma ya están en la ciudad (aguas servidas, aguas subterráneas y las periódicas aguas pluviales).

La Asamblea general, aprobó el 21 de diciembre de 2016 el “*Decenio Internacional para la Acción: Agua para el Desarrollo Sostenible (2018-2028)*”, poniendo en relieve que el agua es fundamental para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza y el hambre, que el agua, la energía, la seguridad alimentaria y la nutrición están relacionadas y que el agua es indispensable para el desarrollo, la salud y el bienestar humano, y es un elemento vital para lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio y otros importantes objetivos en materia social, ambiental y económica.

El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. Hay suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño. Sin embargo, actualmente el reparto del agua no es el adecuado y para el año 2050 se espera que al menos un 25% de la población mundial viva en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce. Actualmente, ya hay más de 2.000 millones de personas que viven en países con demasiado estrés por déficit hídrico (Julio Márquez, 2017).

La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición. Esa escasez de recursos hídricos, junto con la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado repercuten en la seguridad alimentaria, los medios de subsistencia y la oportunidad de educación para las familias pobres en todo el mundo.

El acceso a agua apta para el consumo y el acceso al saneamiento, así como la gestión racional de los ecosistemas de agua dulce son esenciales para la salud humana, la sostenibilidad del medio ambiente y la prosperidad económica.

En 2015, 6.600 millones de personas (más del 90% de la población mundial) utilizaban fuentes mejoradas de agua potable y 4.900 millones (más de dos tercios de la población mundial) usaban instalaciones de saneamiento mejoradas. En ambos casos, las personas privadas de esos accesos vivían principalmente en zonas rurales. Para lograr unos servicios de saneamientos básicos

universales, así como el fin de la práctica insalubre de la defecación al aire libre será necesario agilizar en gran medida el avance de las metas de este Objetivo en las zonas rurales.

La gestión eficaz del agua y el saneamiento depende de la participación de diversos actores interesados, entre los que se cuentan las comunidades locales. Una encuesta realizada en 2016-2017 determinó que más del 80% de los 74 países que respondieron tenían procedimientos definidos con claridad para lograr la participación de los usuarios de los servicios y las comunidades en la gestión del agua y el saneamiento.

El 10 de mayo de 2017, el Secretario General, en cooperación con el sistema de las Naciones Unidas, presentó el informe sobre los *“Progresos en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”*. En el cual se presenta un panorama general de la situación actual relativa a los Objetivos, sobre la base de los últimos datos disponibles para los indicadores incluidos en el marco de indicadores mundial. Algunas de las metas para el Objetivo 6 fueron:

- *“De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos”.*
- *“De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad”.*
- *“De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”.*
- *“De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua”.*
- *“De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda”.*
- *“De aquí a 2030, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos”.*

- *“De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización”.*
- *“Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento”.*

2.4. EL AGUA Y LAS TRES DIMENSIONES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

2.4.1. POBREZA

Cerca de 1.200 millones de personas viven en áreas donde el agua escasea físicamente (UN-Water y FAO, 2007). El acceso limitado al agua por parte de los pobres puede ser fruto no solo de presiones económicas, sino también de presiones sociopolíticas y ambientales, de gobernanza y capacidades humanas débiles, y de una falta de infraestructuras (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007).

Aunque los enfoques de gestión integrada de los recursos hídricos se guían por una preocupación equilibrada por la eficiencia económica, la sostenibilidad ambiental y la igualdad social, en la práctica, al objetivo de la igualdad social se le da menos prioridad a la hora de tomar decisiones relacionadas con la asignación de agua (WGF, 2012). Grupos comparativamente sin poder tienden a quedar excluidos del acceso al agua.

El crecimiento no inclusivo, junto con la asignación inapropiada de recursos hídricos y servicios y una demanda creciente de agua corren el riesgo de hacer que las sociedades sean más inestables y propensas a tensiones y conflictos.

2.4.2. DESARROLLO ECONÓMICO

Las inversiones en infraestructuras hídricas son fundamentales para liberar todo el potencial de crecimiento económico en las etapas iniciales del desarrollo económico de un país. Una vez que los beneficios marginales del desarrollo posterior decrecen, en énfasis debe desplazarse paulatinamente hacia la construcción de capacidades humanas e institucionales para mejorar la eficiencia hídrica y la sostenibilidad y garantizar los beneficios del desarrollo económico y social.

El suministro de agua (cantidad y calidad) allí donde el usuario lo necesite debe ser fiable y predecible para apoyar las inversiones sostenibles desde el punto de vista financiero en las

actividades económicas. Ello requiere infraestructuras tanto materiales como inmateriales que se financien, exploten y mantengan de forma fiable.

Las infraestructuras para reducir el riesgo de escasez de agua y gestionar los desastres relacionados con los recursos hídricos pueden hacer que los esfuerzos de un país para desarrollarse resulten más sostenibles reduciendo su vulnerabilidad y/o aumentando la resiliencia de las economías ante acontecimientos extremos. Para evitar resolver un problema empeorando otro, es esencial entender cómo están vinculadas entre sí a través del agua distintas áreas de la economía (WWAP, 2012).

2.4.3. ECOSISTEMAS

Los ecosistemas saludables proporcionan unos servicios hídricos que poseen un valor enorme para la sociedad gracias al control de inundaciones, el reabastecimiento de las aguas del subsuelo, la estabilización de las orillas de los ríos y la protección contra la erosión, la purificación del agua, la conservación de la biodiversidad, así como el transporte, el entretenimiento y el turismo (MEA, 2005).

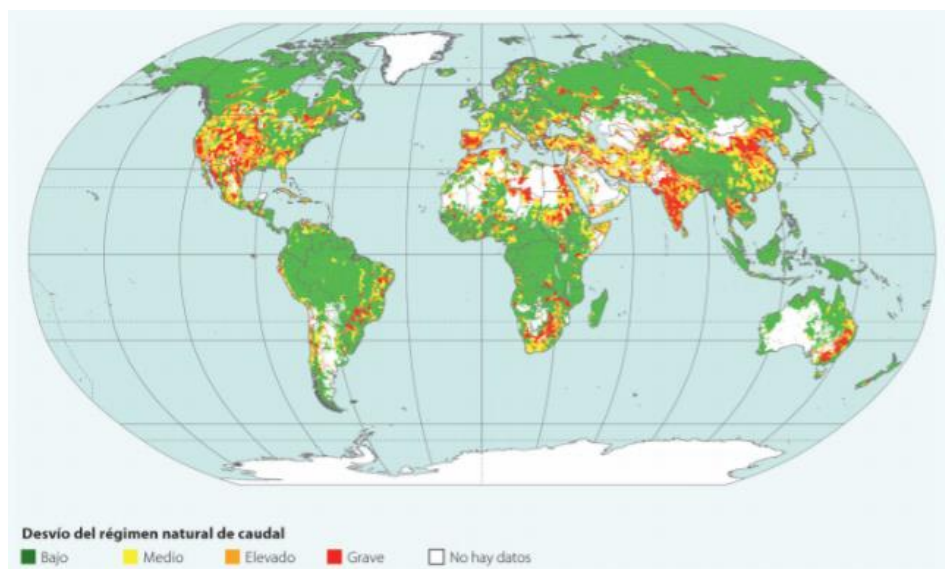


Figura 12. Estrés ambiental debido a alteraciones del régimen de caudal (1981-2010).

Se ha producido una disminución del 30% en el estado de salud de la biodiversidad desde 1970 (WWF, 2012). Los malos enfoques en la gestión de los recursos hídricos pueden haber sido el motor de este declive (Figura 10).

Los ecosistemas de todo el mundo, y en particular los humedales, están en declive en cuanto a los servicios que prestan. Entre 1997 y 2011 se perdieron entre 4,3 y 20,2 billones de dólares estadounidenses al año en servicios del ecosistema debido a cambios de uso del suelo (Constanza

et al., 2014). El cambio climático tiene un impacto significativo en los ecosistemas. Se espera que los efectos en los humedales y en los múltiples servicios que prestan a los ecosistemas sean graves.

La evaluación de los ecosistemas ha demostrado que los beneficios superan con creces los costes de las inversiones relacionadas con el agua en la conservación del ecosistema. El valor económico de los servicios del ecosistema en 2011 se estimó a nivel mundial en 124,8 billones de dólares estadounidenses. El producto interior bruto mundial se estimó en 75,2 billones de dólares estadounidenses ese mismo año (Constanza et al., 2014).

2.5. AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO. DESAFÍOS FUNDAMENTALES PARA EL DESARROLLO

Existe una vía que a futuro será de obligatorio uso, como es la reutilización, la alternativa más sostenible para combatir esta amenaza. A priori, parece lógico que el agua que aprovechamos y termina en el alcantarillado, pueda volver a utilizarse y no acabar desaprovechándose. El problema viene del estigma social que ha habido históricamente respecto a la reutilización, desde que en Londres en el siglo XVII muriese más de la quinta parte de la población de la ciudad, a causa de la peste bubónica derivada de la contaminación del agua del río Támesis.

Pero hoy en día es impensable que pueda repetirse. *“A través de la realización de proyectos I+D+I, como es el caso de Life Wire, podemos demostrar y difundir la viabilidad técnica, económica y ambiental de los sistemas de regeneración y reutilización de agua. Es necesario concienciar y capacitar a las generaciones actuales y futuras, respecto a reutilización: hacer públicos los resultados e intercambiar internacionalmente experiencias previas de éxito para romper las barreras de la aceptación de la reutilización de agua”*, explica Xavier Bernat, director técnico del Centro Tecnológico del Agua (Cetaqua).

De hecho, ya se estudia el reúso de aguas servidas como aporte al sistema de agua potable y, muy particularmente, el uso de las aguas pluviales que periódicamente caen sobre las urbes. Estas son aguas que en su mayoría no son usadas y solo son captadas para desecharlas aguas abajo donde no produzcan daños a bienes y personas.

La escasez de agua afecta a más de 40% de la población mundial y este porcentaje podrá aumentar. Más del 80% de las aguas residuales resultantes de la actividad humana se vierte en los ríos o en el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación.

Hoy, muchos de los cultivos del planeta se abonan con aguas residuales o purines poco o nada tratados, de manera que los microorganismos que contienen esas aguas contaminan los

vegetales, las frutas y las verduras que consumimos, explica Josep Peñuelas, doctor en Ecología e investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), quien remarca que debemos cambiar la forma de abonar los cultivos y mejorar los sistemas de tratamiento de las aguas para evitar que, en todo el mundo, mil niños mueran cada día debido a enfermedades diarreicas asociadas a la falta de higiene.

“El agua potable, el saneamiento y la higiene en el hogar no deben ser un privilegio de quienes son ricos o viven en centros urbanos”, manifiesta el Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, director general de la Organización Mundial de la Salud. *“Se trata de servicios fundamentales para la salud, y todos los países tienen la responsabilidad de garantizar que todo el mundo pueda acceder a ellos”.*

2.5.1. AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE

El acceso a agua, saneamiento e higiene es un derecho humano, a su vez es una prioridad del desarrollo mundial y, ha sido durante mucho tiempo el foco de políticas y objetivos de desarrollo internacional (UNCESCR, 2003; UNGA, 2010). Sin embargo, miles de millones de personas siguen enfrentándose a diario a enormes dificultades para acceder a los servicios más elementales, a menudo limita el acceso de las personas a la tierra, al agua y sus servicios relacionados. Dicha exclusión tiene efectos sociales y económicos a largo plazo.

El acceso inadecuado al agua, saneamiento e higiene es una de las muchas privaciones que todavía sufren los grupos de población más pobres y marginados del mundo. En las dos últimas décadas se han hecho unos progresos impresionantes, con 2.300 millones de personas que han logrado acceder a mejores fuentes de agua potable y 1.900 millones a mejores servicios de saneamiento (WHO y UNICEF, 2014). De las personas que han logrado tener acceso a agua potable, 1.600 millones disfrutan ahora de unos niveles de servicio superiores (suministro de agua corriente).

Todavía queda mucho por hacer, 748 millones de personas no disfrutan de una buena fuente de agua potable y 2.500 millones no gozan de buenas instalaciones de saneamiento como retretes y letrinas (WHO y UNICEF, 2014). Se estima que aproximadamente 1.800 millones de personas en todo el mundo utilizan una fuente de agua potable que está contaminada con bacterias fecales (Bain et al., 2014).

En muchos países se ha aumentado el saneamiento construyendo redes de alcantarillado, pero sin prestare la debida atención al tratamiento y eliminación de las aguas residuales. Incluso

en los países con unas rentas medio-altas, las aguas residuales de aproximadamente el 75% de los hogares con conexión a la red de alcantarillado pueden no recibir el tratamiento adecuado (Baum et al., 2013).

Se estima que los beneficios de lograr el acceso universal al saneamiento son mayores que los costes, con una proporción de 5,5 a 1, mientras que para el acceso universal al agua potable la proporción estimada es de 2 a 1. En las regiones en desarrollo, el rendimiento de la inversión en servicios hídricos y saneamiento se ha estimado entre 5 y 28 por cada dólar invertido (WHO, 2012).

Se considera que el 6% de las personas dependían principalmente del agua embotellada en 2010 (WHO y UNICEF, 2012). Existen dudas acerca de la sostenibilidad ambiental del aumento de envases de agua y de lo asequible que sería esta tendencia.

2.5.2. URBANIZACIÓN

En 2014, 3.900 millones de personas, el 54% de la población mundial, vivía en ciudades, y en 2.050 lo harán las dos terceras partes de la población mundial (UNDESA, 2014) (6.300 millones: World Water Assessment Program (WWAP), 2012).

Se prevé que en 2050 la demanda mundial de agua haya aumentado un 55%, debido principalmente a demandas relacionadas con la creciente urbanización en los países en desarrollo (OECD, 2012). Las ciudades tendrán que ir más lejos o perforar más hondo para encontrar agua, o tendrán que depender de soluciones innovadoras o de tecnologías avanzadas para satisfacer sus necesidades hídricas.

Entre 1990 y 2012, en valor absoluto, el número de habitantes de las áreas urbanas sin acceso a fuentes seguras de agua potable aumentó de 111 millones a 149 millones. Aunque el acceso al saneamiento por lo general es más alto en las áreas urbanas que en las rurales, debido a la rápida urbanización, el número de habitantes de las áreas urbanas sin acceso a buenos servicios de saneamiento aumentó un 40%, pasando de 541 millones a 754 millones entre 1990 y 2012 millones (WHO y UNICEF, 2014). El aumento del número de personas sin acceso al agua y el saneamiento en las áreas urbanas está directamente relacionado con el rápido crecimiento de los barrios marginales en el mundo en desarrollo.

La mayoría de las ciudades no tienen o no asignan los recursos necesarios para la gestión de las aguas residuales. Se estima que el 90% de las aguas residuales de las ciudades de los países en desarrollo se vierte directamente sin tratar en los ríos, los lagos o el mar (UNEP, 2010). Las

emisiones de metano y óxido nitroso relacionadas con las aguas residuales podrían aumentar un 50% y un 25% respectivamente entre 1990 y 2020 (UNEP, 2010).

Un estudio sugiere que un dólar de inversión en infraestructuras hídricas y alcantarillado aumenta la producción privada (producto interior bruto) a largo plazo en 6,35 dólares y produce 2,62 dólares más de ganancias en otras industrias.

2.5.3. ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA

El sector agrícola representa aproximadamente el 70% de todas las extracciones de agua dulce a nivel mundial, y más del 90% en la mayoría de los países menos desarrollados del mundo (WWAP, 2014). En 2050, la agricultura tendrá que producir un 60% más de alimentos a nivel mundial, y un 100% más en los países en desarrollo (Alexandratos y Bruinsma, 2012). Las tasas de crecimiento actuales de la demanda agrícola de recursos de agua dulce son insostenibles.

El uso ineficiente del agua para la producción de cultivos agota los acuíferos, reduce el caudal de los ríos, degrada los hábitats de la vida silvestre y ha provocado la salinización del 20% de la superficie mundial de tierras de regadío (FAO, 2011). En la mayoría de los casos, el aumento de la productividad del agua (es decir, producir más cosechas o valor por volumen de agua empleado) es la vía más importante para la gestión de la demanda de agua en la agricultura. Esto es posible gracias a la combinación de un mejor control del agua, una mejor ordenación de tierras y mejores prácticas agrícolas.

La inversión en infraestructuras hidráulicas por sí solas no son suficientes para mejorar la productividad agrícola. Con el aumento de la agricultura intensiva, la contaminación del agua de fuentes puntuales y no puntuales puede empeorar.

2.5.4. ENERGÍA

Más de 1.300 millones de personas carecen de acceso a la electricidad (Figura 11), y aproximadamente 2.600 millones utilizan combustibles sólidos (principalmente biomásas) para cocinar (IEA, 2012). Se estima que 400 millones dependen del carbón para cocinar y calentarse, lo que ocasiona la contaminación del aire y tiene consecuencias potencialmente graves para la salud cuando se utiliza en las cocinas tradicionales.

Las mismas personas que carecen de acceso a buenos servicios hídricos y al saneamiento es probable que tampoco tenga acceso a la electricidad y que dependan de los combustibles sólidos para cocinar (WWAP, 2014). Las mujeres y los niños representan una parte desproporcionadamente grande los más desprotegidos.

La energía es necesaria para la captación, el tratamiento y el suministro de agua. Se estima que la electricidad representa entre el 5 y el 30% de los costes operativos totales de los servicios hídricos y de aguas residuales (World Bank, 2012).

Casi todas las formas de energía requieren agua como parte de su proceso de producción de energía representa el 15% del total mundial (WWAP, 2014) y se espera que aumente un 20% hasta 2035 (IEA, 2012). Durante la última década, el aumento de intensidad de las sequías, las oleadas de calor, la escasez de agua local interrumpió la producción de electricidad con graves consecuencias económicas. Al mismo tiempo, las limitaciones la disponibilidad de energía limitaron el suministro de servicios hídricos.

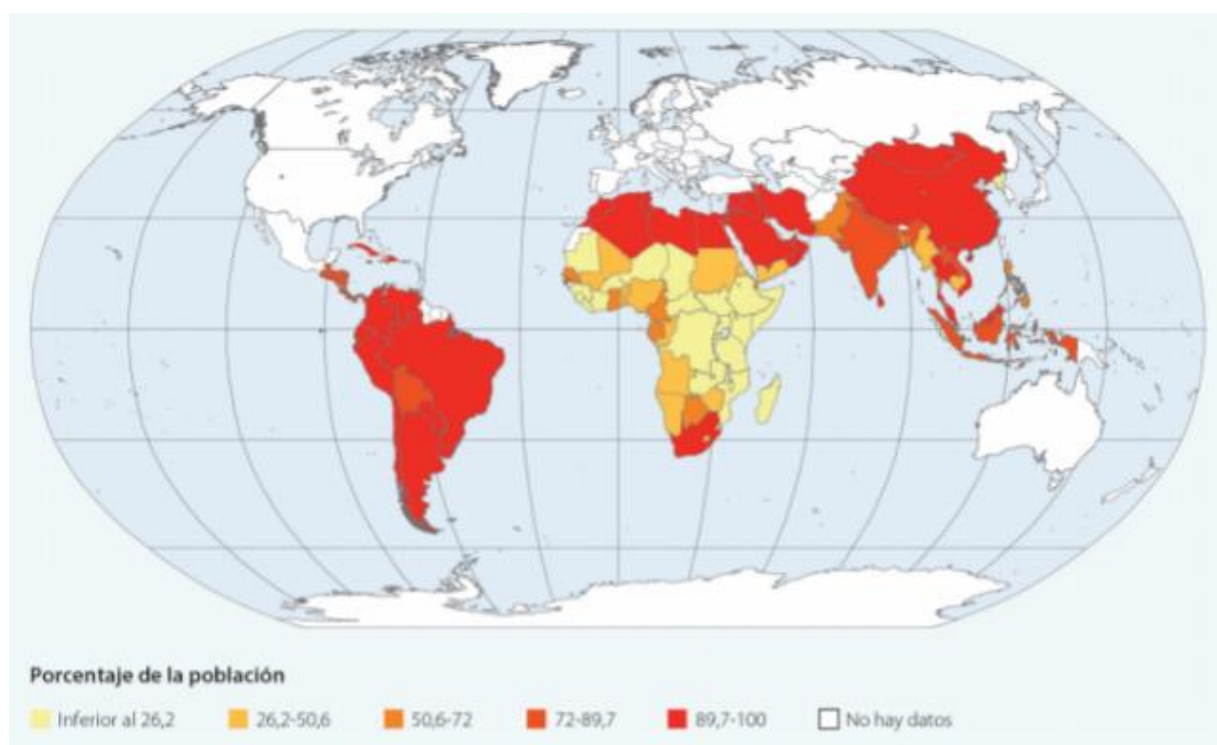


Figura 13. Porcentaje de personas con acceso a la electricidad en los países en desarrollo (2012).

La generación de energía térmica y la energía hidroeléctrica representan el 80% y el 15% respectivamente de la producción mundial de electricidad, y por lo general requieren grandes cantidades de agua. A nivel mundial, se prevé que la demanda de energía aumentará un tercio hasta 2035, mientras se espera que la demanda de electricidad aumente un 70%. Dado que el 90% de la energía térmica requiere un gran consumo de agua, el 70% del aumento se traduce en un aumento del 20% de las extracciones totales de agua dulce (IEA, 2012). Maximizar la eficiencia del uso del agua en las plantas eléctricas será un factor decisivo para lograr un futuro sostenible para el agua.

2.5.5. INDUSTRIA

La demanda mundial de agua para la producción industrial se prevé que aumente un 400% entre el año 2000 y 200, mucho más que en cualquier otro sector (OECD, 2012). La mayor parte de este aumento se producirá en las economías emergentes y en los países en desarrollo.

Las grandes corporaciones, multinacionales o mundiales, han hecho progresos considerables en la evaluación y reducción del uso del agua y de sus cadenas de suministro. Las pequeñas y medianas empresas (pymes) se enfrentan a problemas de agua parecidos a menor escala, pero tienen menos medios y menos capacidad para resolverlos.

La prioridad de la industria consiste en potenciar al máximo la producción, y no la eficiencia y conservación del agua. La inversión en tecnología para el tratamiento del agua o en procesos de enfriado eficientes puede tener plazos de recuperación más largos que los rendimientos inmediatos de la inversión alternativa a corto plazo en la producción. Por otra parte, los bajos (o inexistentes) precios del agua no fomentan la inversión en eficiencia hídrica.

2.6. EL AGUA A NIVEL MUNDIAL. PERSPECTIVAS REGIONALES

La problemática del agua surge como el mayor conflicto geopolítico del siglo XXI ya que se espera que en el año 2025, la demanda de este elemento tan necesario para la vida humana será un 56% superior que el suministro. El inconveniente no es la falta de agua dulce potable, sino, más bien, la mala gestión y distribución de los recursos hídricos y sus métodos.

Casi la mitad del agua de los sistemas de suministro de agua potable de los países en desarrollo se pierde por filtraciones, conexiones ilícitas y vandalismo. A medida que la población crece y aumentan los ingresos se necesita más agua, que se transforma en un elemento esencial para el desarrollo.

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) centraron sus esfuerzos en los países en desarrollo y, no se incluían objetivos específicos para la gestión sostenible de los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas), ni para la calidad y contaminación del agua, el tratamiento de las aguas residuales o para mantener las funciones de los ecosistemas, mientras que los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), después de 2015 apuntarán a un ámbito mundial. Esto es especialmente importante en el contexto de los servicios hídricos, ya que el agua potable y las infraestructuras de aguas residuales de los países desarrollados se han deteriorado en las últimas décadas (ASCE, 2011), y en los países ricos aún hay grupos de población vulnerables que carecen de acceso a agua (Figura 12), saneamiento e higiene (Government of Canada, 2014).

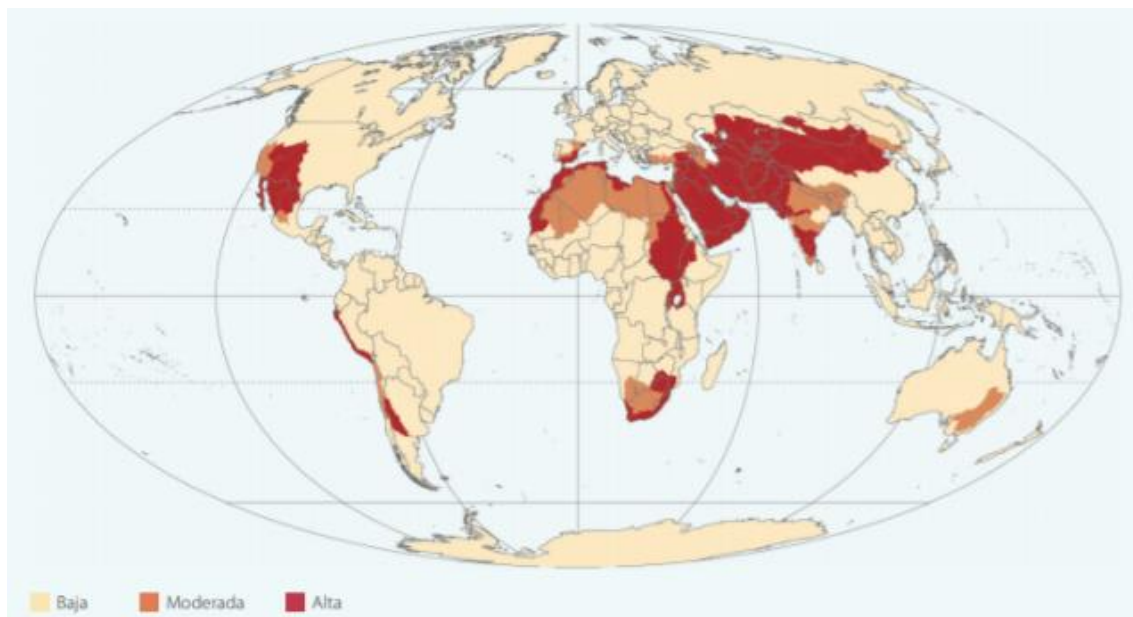


Figura 14. Distribución mundial de la escasez de agua en las principales cuencas (2011)

2.6.1. EUROPA Y AMÉRICA DEL NORTE

Los principales retos consisten en aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, reducir los residuos, influir en los modelos de consumo y elegir las tecnologías apropiadas. La hoja de ruta de la UE para una Europa eficiente en cuanto a recursos requiere que para 2020 la extracción de agua se mantenga por debajo del 20% de los recursos hídricos renovables disponibles. Existen roces entre los sectores de uso del agua en muchas cuencas de la región (UNECE, 2011).

Se reconoce que el aprovechamiento de las aguas residuales tiene un potencial considerable en muchos Estados miembros de la UE, pero se ve limitado por la falta de normativas y por las preocupaciones acerca de su seguridad y sus posibles efectos en la venta de cosechas. La reforma de la Política Agrícola Común (PAC) para el periodo posterior a 2013 puede alterar de forma significativa el uso del agua en la agricultura en la UE (ECA, 2014).

2.6.2. ASIA Y EL PACÍFICO

El número de personas que utilizan buenas instalaciones de agua potable en esta región tan poblada aumentó un 19% en el Sur de Asia entre 1990 y 2012, pero casi 1.700 millones de personas en dicha región (más de la mitad de las cuales viven en áreas rurales) aún no tenían acceso a un buen saneamiento en 2012 (WHO y UNICEF, 2014). Esta es una de las regiones del mundo más propensas a los desastres. La exposición de personas y bienes a los peligros hidrometeorológicos ha ido en aumento en las últimas décadas. La urbanización hace que personas y bienes cada vez

más valiosos desde el punto de vista económico se ubiquen en áreas más peligrosas, como llanuras aluviales (UNESCA/UNISDR, 2012).

Se estima que el riego con aguas subterráneas contribuye a la economía asiática con entre 10.000 y 12.0000 millones de dólares estadounidenses. Si se incluyen también las ganancias procedentes de la venta de aguas subterráneas para el riego, dicha estima aumenta hasta 25.000 – 30.000 millones de dólares estadounidenses (Shah et al., 2003). Bangladesh, China, India, Nepal y Pakistán juntos representan casi la mitad del uso total de aguas subterráneas a escala mundial (IGRAC, 2010).

Si los recursos de aguas subterráneas siguen explotándose más allá de los límites sostenibles, la producción agrícola de la región, que es la principal fuente de ingresos para la mayoría de la población, se verá amenazada.

2.6.3. LA REGIÓN ÁRABE

La escasez de agua en sitúa en primera línea de los retos relacionados con el agua que impiden el progreso hacia el desarrollo sostenible en la región árabe. En la Península Arábiga, la extracción de agua dulce como porcentaje interno de los recursos hídricos renovables se estimó en un 505% en 2011 (FAO AQUASTAT).

El crecimiento demográfico y las presiones socioeconómicas crecientes han reducido la disponibilidad de recursos de agua dulce en esta región. Casi el 75% de la población árabe vive por debajo del nivel de escasez de agua de 1.000 m³/habitante/año, y casi la mitad viven en condiciones de extrema escasez de agua, con 500 m³/habitante/año.

Del total de la población árabe, que se calculaba en unos 355 millones de habitantes en 2011, el 17% aproximadamente (60 millones) no tiene acceso a fuentes seguras de agua potable. Sin embargo, esto no significa que los consumidores tengan acceso regular o fiable al suministro de agua, ni que la calidad del agua suministrada sea segura para beber (UNESCWA, 2013). Los conflictos regionales pueden exacerbar aún más la sostenibilidad del suministro de agua y de los servicios de saneamiento.

2.6.4. ÁFRICA

En la actualidad solo se está desarrollando el 5% de los recursos hídricos potenciales de África, y el almacenamiento medio per cápita son 200 m³, comparados con los 6.000 m³ de América del Norte. Se utiliza menos del 10% del potencial hidroeléctrico para generar electricidad

(Sperling y Bahri, 2014), mientras que solo el 57% de la población tiene acceso a los modernos servicios energéticos (principalmente electricidad).

Por término medio, cerca del 36% de la población total no tenía acceso a buenas fuentes de agua y el 70% aún no tenía acceso a un buen saneamiento en 2012 (WHO y UNICEF, 2014). La columna vertebral de muchas economías africanas es la agricultura, que depende en gran medida de unos patrones de precipitaciones muy variables e impredecibles. Solo el 5% de las tierras cultivadas de África son de regadío.

2.6.5. AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En la última década, en América Latina y el Caribe hemos asistido a una significativa reducción de la pobreza, un elevado crecimiento económico y una mayor estabilidad macroeconómica, así como a la aparición de una clase media (UNECLAC, 2013). Sin embargo, más de 160 millones de personas (aproximadamente el 28% de su población) siguen viviendo en la pobreza.

Los niveles de abastecimiento de agua y saneamiento alcanzados en la región pueden compararse favorablemente con los de otros países en desarrollo (WHO y UNICEF, 2014; Jouravlev, 2004; Sato et al., 2013). Sin embargo, estas estimaciones de carácter general tienden a exagerar los niveles reales de acceso a los servicios, y especialmente las graves deficiencias en la calidad del servicio que afectan desproporionalmente a las áreas rurales y a los pobres (Jouravlev, 2011).

Dada la relativa abundancia de agua en la región, la primera prioridad consiste en mejorar y consolidar la gobernanza del agua, con un cambio de paradigma hacia la integración sostenible de la gestión de los recursos hídricos y su uso en el desarrollo socioeconómico y la reducción de la pobreza.

La base de la mayoría de las economías de la región sigue siendo la exportación de recursos naturales, para cuya producción se utilizan grandes cantidades de agua. Las actividades económicas, y la población tienden a concentrarse en las áreas secas y subhúmedas. Esto conlleva aumentar la competencia en cuanto a cantidad, pero más recientemente también en cuanto a calidad y oportunidad de uso de los escasos recursos hídricos.

2.7. EFECTOS DEL AGUA DE LLUVIA EN LAS CIUDADES

El agua de lluvia proporciona tanto beneficios como inconvenientes dentro de las ciudades. Si bien es cierto permite eliminar los contaminantes del aire, refrescar el ambiente, limpiar tejados

y pavimentos, dar vida a la vegetación y animales, permite la recarga de embalses o acuíferos para el suministro de agua a la población en general, etc., sin embargo, la carencia o el exceso de ésta causan problemas.

Durante el proceso de escurriendo hasta el sitio de disposición, el agua de lluvia puede presentar inconvenientes motivados por tres factores fundamentales: cantidad de agua, calidad de agua y servicio del sistema.

2.7.1. PROBLEMAS DE CANTIDAD

La expansión urbanística durante los últimos años ha provocado que los sistemas de drenaje que forman parte del sistema de saneamiento de las ciudades se vean desbordados en tiempos de lluvias, debido principalmente a que no existe un balance de superficies permeables que contribuyan a que el sistema actual no se vea limitado.

“Habitualmente, uno de los factores más estudiados en el incremento de la frecuencia y magnitud del caudal de las escorrentías urbanas, las cuales son responsables de generar inundaciones. Los motivos fundamentales por los que se producen las inundaciones son dos. Por un lado, el aumento de la proporción de área impermeable tras la asignación de nuevos usos del suelo, produce un aumento en la proporción de aguas pluviales que escurren. Mientras que, por el otro lado, los elementos típicos de la urbanización, como colectores y/o calles, modifican el patrón de drenaje y conducen mejor el agua, reduciendo los tiempos de concentración, concentrando los flujos, y aumentando su velocidad” (García, 2011).

2.7.2. PROBLEMAS DE CALIDAD

Cuando el agua de lluvia transita a través de los sistemas de drenaje y de saneamiento convencional, suelen arrastrar gran cantidad de sedimentos y partículas contaminantes e incluso mezclarse con las aguas negras.

“La escorrentía urbana ha sido identificada como una de las principales causas de degradación de las aguas receptoras debido a que ésta contiene una gran variedad de contaminantes, influenciando la calidad de los cuerpos receptores (ríos, acuíferos, humedales)” (Trujillo & Quiroz, L.D, 2013).

La contaminación de la atmósfera y de las superficies de las cuencas urbanas se debe principalmente a las actividades cotidianas desarrolladas por el hombre, las cuales al no estar debidamente controladas generan gran cantidad de contaminantes que al estar en contacto con las aguas pluviales disminuyen la calidad de las mismas.

2.7.3. PROBLEMAS DE SERVICIO

Las inundaciones o acumulaciones superficiales de agua en calles o aceras, derivan inconvenientes en los usuarios en términos de comodidad y seguridad, al igual que contribuyen con el deterioro de la zona disminuyendo su funcionalidad.

Aunado a lo descrito anteriormente el agua pluvial en las ciudades puede sufrir pérdida de valor sin haber sido utilizada, ya que, a pesar de ofrecer una calidad adecuada para multitud de usos, se utiliza únicamente como medio de dilución de aguas residuales, incrementando el volumen de agua a depurar y por tanto las dimensiones de las instalaciones (Rodríguez, 2008).

“Otro problema más, asociado al rápido drenaje del agua de lluvia fuera de las ciudades, es la pérdida de la capacidad natural del terreno para suavizar la temperatura ambiente. Este efecto de concentración de calor en los centros urbanos, conocido con el nombre de “isla de calor”, es debido a la continua impermeabilización de las ciudades y afecta directamente a la comodidad de sus habitantes” (García, 2011).

Este trabajo de investigación se enfocará básicamente en los problemas asociados a cantidad y servicio de las aguas, dejando a un lado los problemas de calidad: y en base a estos proporcionar nuevas alternativas de drenaje que garanticen bienestar social, ambiental y económico.

2.8. COMPARACIÓN ENTRE LA CAPTACIÓN DE RECURSOS HIDRÍCOS DE MANERA TRADICIONAL Y VARIACIONES SUSTENTABLES

Los métodos convencionales de captación obtienen el agua que abastece los sistemas de distribución de agua potable, conocidos como acueductos, captándola a través de represas ubicadas en los cauces de los ríos, de extracciones hechas en pozos subterráneos o de tomas realizadas en un manantial o naciente, es decir, en las zonas que se considera que existe suficiente agua y que la calidad de la misma sea apta para el consumo humano con proceso de potabilización mínimos *“Para seleccionar la fuente de abastecimiento deben considerarse los requerimientos de la población, la disponibilidad y la calidad de agua durante todo el año, así como todos los costos involucrados en el sistema, tanto de inversión como de operación y mantenimiento”*. (Barrios Napurí, Torres Ruiz, Lampoglia, & Agüero Pittman, 2009)

Cuando se plantea la captación de agua obtenida desde una quebrada o riachuelo para abastecer una población, una industria o un sistema de riego puede que el sistema de agua empleada sea sustentable, para determinar si lo es se deben considerar varios factores entre los que se puede tomar en cuenta cual es recorrido de cada gota desde la toma hasta el sitio de consumo. También

será sustentable todo recurso que antes del nuevo uso, estaban condenadas a la contaminación o el desecho si seguían su cauce o aquellas fuentes que, aunque ya están contaminadas pueden recibir algún tratamiento con el fin de reutilizarse por ejemplo la reutilización, previo tratamiento, de las aguas residuales provenientes de las poblaciones.

2.9. CAPTACIÓN Y USO DEL AGUA DE LLUVIA COMO SUSTITUTO DEL AGUA POTABLE

Las fuentes pluviales se definen como el escurrimiento superficial del agua que proviene de las precipitaciones, la captación y el almacenamiento de esta fuente se producen para el bienestar socioeconómico y ambiental de los usuarios. Los usos de esta fuente dependerán de la calidad del agua recolectada y podrán ser: de consumo humano, uso productivo y/o conservación ambiental. (Herrera Monroy, 2010)

La captación y uso del agua de lluvia puede ser considerada como una solución viable para sustituir el consumo de agua potable producido por algunas actividades cotidianas que requieren agua pero que no se requieran su potabilización, por esta razón sería acertado recolectar, almacenar y utilizar el agua proveniente de las precipitaciones ocurridas en el sitio en el que es requerido.

2.10. UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

La Universidad Católica Andrés Bello, fundada en Caracas, Venezuela en el año 1953, es una de las 231 instituciones de educación superior (The Jesuit Curia in Rome, 2008) que se encuentran bajo la supervisión de la Compañía de Jesús y es una de las tres casas de estudio establecidas por ellos en Venezuela. Esta universidad cuenta con sedes en Coro, Guayana, Los Teques y en Caracas está ubicada en Montalbán y en La Castellana. El campus en estudio se localiza al Oeste de la ciudad de Caracas, ubicada al final de la Av. Teherán, Montalbán. Parroquia La Vega, Municipio Libertador, cuenta con un área superficial impermeable de $20.202,23 \text{ m}^2$ y permeables $8.901,77 \text{ m}^2$ (González Castillo & De Pinho Di Maio, 2015) lo que genera un área superficial total de 29.104 m^2 , en cuanto a la población que interactúa en el campus, la institución cuenta con 13.484 alumnos y una plantilla de trabajadores conformados por 15.355 individuos (Sanchis & Zubillaga, 2005).

En junio de 2011 las autoridades de la universidad desarrollaron un programa denominado UCAB 20-20, cuyo eslogan es *Excelencia y Compromiso* “Se trata de una iniciativa para desarrollar en la UCAB un sistema de gestión estratégica. Esto es, desarrollar un plan de trabajo hasta el 2020 y definir los mecanismos para llegar allí...”, este plan cuenta diferentes

ramificaciones en 10 áreas de importancia, las cuales son: Excelencia académica, Profundización de la Extensión, Desarrollo Tecnológico, Comunicación mercadeo y promoción, Calidad de gestión, Internacionalización, Desarrollo del talento, Identidad, Expansión y un eje dedicado a la Sustentabilidad que se encuentra representado por la Dirección de Sustentabilidad Ambiental que tiene como misión *“Desarrollar una universidad sustentable, que contribuye con el proceso de transformación hacia una sociedad responsable ambientalmente, constituyéndose como un referente nacional e internacional en lo que se refiere a la incorporación de contenidos verdes.”* (Universidad Católica Andrés Bello, 2011)

La UCAB, sede Caracas, representará el lugar de estudio del trabajo de investigación. A continuación, se muestra de manera ilustrativa las distintas zonas que lo conforman:

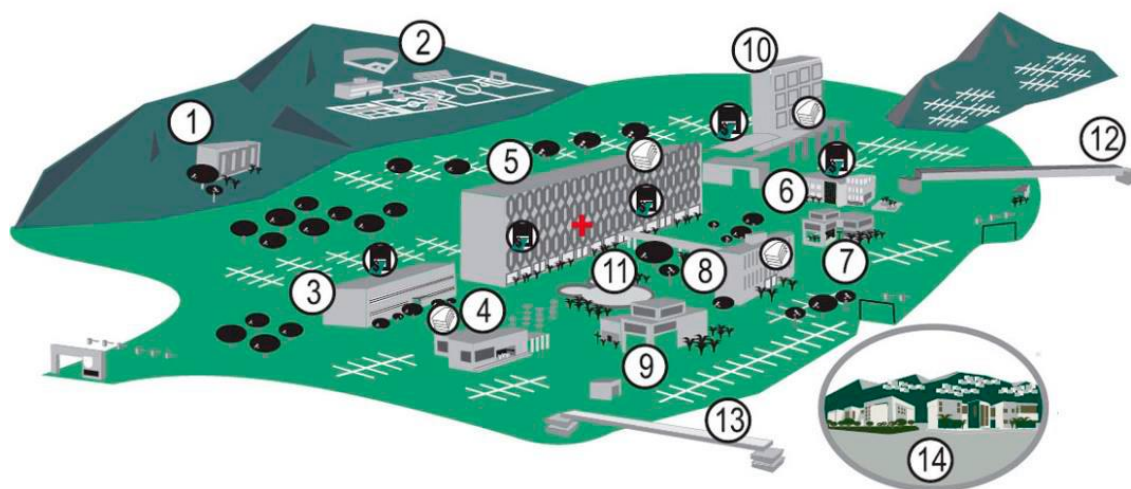


Figura 15. Mapa ilustrativo de las diferentes zonas que conforman la Universidad Católica Andrés Bello. Fuente: Universidad Católica Andrés Bello.

1. Residencia de los Padres	8. Biblioteca
2. Canchas / Cafetín	9. Centro Loyola / Aula Magna
3. Edif. Laboratorios	10. Edif. Cincuentenario / Feria
4. Casa del Estudiante / Solarium	11. Plaza del Estudiante
5. Edif. De Aulas / Cafetín La Católica	12. Pasarela Metro Antúmano
6. Edif. Postgrado	13. Pasarela Parque Social
7. Edif. Servicios Generales	14. Parque Social

La realización de este trabajo de investigación se llevará a cabo en las siguientes zonas nombradas, 5, 8, 9, y 11, ya que el agua de lluvia se va a captar en los techos del Edif. De Aulas, Biblioteca y Centro Loyola, y el diseño de la laguna va a realizarse en la Plaza del Estudiante.

2.10.1. UNIVERSIDAD SOSTENIBLE

Se denomina universidad sostenible o sustentable a aquella institución que desarrolla una gestión responsable desde las dimensiones social, económica, ecológica, culturas y política dentro del campus universitario a través de esfuerzos colectivos que permitan una adecuada gestión en la formación académica, la producción del saber y participación del desarrollo humano sustentable. (López, 2012)

La Universidad Católica Andrés Bello está en vía de ser considerada una universidad sostenible ambientalmente, ya que dentro de sus programas presenta una política de sustentabilidad ambiental que hace referencia a:

- El diseño, promoción y reforzamiento de contenidos curriculares y líneas de investigación enfocados en la sustentabilidad ambiental.
- Propiciar y reforzar líneas de investigación enfocadas en la sustentabilidad ambiental.
- La promoción y gestión de un ámbito universitario sustentable ambientalmente (Campus verde).
- El fomento y manejo responsable de los residuos sólidos, de la energía, del agua y de las emisiones.
- Implementar planes de manejo adecuado de vegetación y confort en edificaciones y otros espacios del campus.

Además, Plan UCAB 20-20, tiene como misión convertir a la UCAB en un modelo de universidad sustentable que contribuya con el proceso de transformación hacia una sociedad responsable ambientalmente, constituyéndose como un referente nacional e internacional en lo que se refiere a la incorporación de contenidos verdes en sus labores de docencia, investigación, extensión y gestión, mediante la definición de un sistema de gestión ambiental y contando con la participación de toda la comunidad universitaria y de otros actores de la sociedad con quienes deben contribuirse profundas alianzas para la operación.

2.10.2. PROYECTOS SUSTENTABLES DENTRO DEL CAMPUS

En el año 2013, con el Trabajo de Grado realizado por los estudiantes Rubén Acuña y Carlos Estévez titulado “Factibilidad, diseño e instalación de un Techo verde en el Edificio de Postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello” se planteó un proyecto sustentable dentro del Campus, cuyo objetivo es formular una propuesta viable para la instalación y diseño de techos verdes, analizando los parámetros estructurales y arquitectónicos de la edificación que permitan evaluar

la posibilidad de su ejecución, así mismo estudiar los beneficios de sus instalación y estructurar planes de mantenimiento y recursos necesarios para el mismo. Este proyecto buscar conseguir la disminución del consumo de energía eléctrica minimizando la temperatura en la edificación.

Posteriormente, en el año 2015, las estudiantes Katherine De Pinho y Williana González, realizan un Trabajo de Grado titulado “*Factibilidad para el Desarrollo de Drenajes Sustentables en el Campus de la Universidad Católica Andrés Bello*”, el cual consistió fundamentalmente en el análisis del sistema actual de drenaje que presenta nuestra casa de estudio, la Universidad Católica Andrés Bello, para posteriormente estudiar la factibilidad de implementar técnicas de drenaje sustentable que minimicen los impactos producidos por la generación de volúmenes mediante la instalación de elementos que contribuyan con la infiltración y la conviertan en un lugar más sustentable ambientalmente.

Por último, en el mismo año (2015), se realizó un Trabajo de Grado titulado “*Factibilidad del Aprovechamiento de Aguas Pluviales en la Universidad Católica Andrés Bello sede Montalbán*” presentado por los estudiantes Diana Garrido y Daniel Vásquez, en la que se determinó la factibilidad de reducir el consumo de agua potable producido en la UCAB, mediante la concepción de un sistema que dependa de la capacidad pluviométrica de la zona.

Dentro de este trabajo de investigación se establece nuevamente una propuesta sustentable enfocada principalmente en la gestión de las aguas pluviales, a través del desarrollo de drenajes sustentables con técnicas que respondan a los problemas generados por las mismas.

2.11. BASES LEGALES

Para la realización de un proyecto de sistemas de drenaje urbanos, se deben tener en cuenta algunas normas, por lo que en este punto se realiza una revisión de esas normativas y referencias legales internacionales y nacionales existentes. Estos requerimientos legales, en la mayoría de los casos, utilizan recomendaciones que, si bien no son de obligado cumplimiento, es conveniente seguirlas para una mayor seguridad en el desarrollo y funcionamiento de los sistemas diseñados.

2.11.1. NORMATIVAS INTERNACIONALES

Actualmente existen países avanzados en la materia de drenajes sostenibles como Estados Unidos, Reino Unido o Australia que cuentan con un organismo de referencia: la EPA (Environmental Protection Agency o Agencia de Protección Ambiental) estadounidense, el CALTRANS californiano o el CIRIA británico; los cuales se encargan de administrar y

proporcionar todo el material necesario referente a la gestión de los recursos hídricos, además de velar por el cumplimiento de lo establecido en las diferentes normativas de ámbito estatal.

Es de destacar que estos países cuentan con una normativa muy concisa en materia de drenaje sostenible, un organismo encargado de hacer que se aplique la misma, unos criterios estandarizados para todo el territorio y mejoras en la gestión de aguas pluviales, en conjunto con una concienciación clara de todos los agentes implicados en cada proyecto.

- **Reino Unido: Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS):** En el Reino Unido la asociación CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) dedica una rama de estudio, Susdrain, al fomento y divulgación del drenaje sostenible. Esta organización enfoca la gestión del agua superficial considerando la cantidad de agua (inundaciones), la calidad (contaminación) y el uso público que se le puede dar a esa agua superficial; tomando en cuenta para el desarrollo de sus proyectos a legislación y normativa europea, en la cual se establecen dos directivas que implican la protección y mejora de la calidad de agua, y el control de inundaciones. (SUSDRAIN, 2012)
- **USA, Canadá: Best Management Practice (BMP):** La agencia de Medio Ambiente de Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency), más adelante conocida como EPA, publicó en 1993 una guía para el desarrollo de BMP (drenajes sustentables) titulada: “Guidance Manual for Developing Best Management Practices (BMP).” (Documento N° EPA-883-B-93-004). En el primer capítulo de esta guía se explica que las Mejores Prácticas de Gestión son básicamente prácticas para la prevención de la contaminación, ya que tradicionalmente, estas prácticas se habían enfocado como unas adecuadas medidas de limpieza y técnicas rigurosas para evitar el contacto entre los contaminantes y el agua que podría producirse como consecuencia de escapes, vertidos, o la incorrecta disposición de basuras. (Iagua, 2013)
- **España: Técnicas de drenaje Urbano Sostenible (TDUS):** El centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) propone algunos factores que se deben considerar en la planificación y selección de las técnicas de drenaje, esto basándose en diferentes normativas españolas que desarrollan información para los sistemas urbanos convencionales, pero que igualmente deben ser consideradas en el diseño de los sistemas que incluyan técnicas sustentables.

2.11.2. NORMATIVA VENEZOLANA

El siguiente marco jurídico corresponde a la base en la que debe respaldarse y dirigirse un estudio de aprovechamiento hídrico, tomando en cuenta los aspectos relacionados a la conservación, fomento y utilización de las aguas y otras riquezas, las políticas nacionales y la legislación en materia de ambiente, agua y ordenación del territorio, el régimen general de los servicios públicos domiciliarios, entre otras.

Las normativas venezolanas no están vinculadas directamente a los drenajes sustentables, puesto que estas nuevas prácticas no han tomado auge suficiente en el país, no obstante, deben considerarse al momento de utilizar estas nuevas técnicas para el mejoramiento de drenajes convencionales o para su diseño y construcción.

A modo de referencia se citan algunas leyes venezolanas asociadas a lo expuesto anteriormente:

- **Ley Orgánica de Administración Central. Decreto N° 369:** en el capítulo II titulado “Del número, Denominación y Competencias de cada Ministerio” específicamente en el Artículo 50 se expone diseño e implementación de las políticas educativas ambientales, administración y gestión en cuencas hidrográficas; la conservación, defensa, manejo, restauración, aprovechamiento, uso racional y sostenible de los recursos naturales y de la biodiversidad, el ejercicio de la autoridad nacional de las aguas, la generación y actualización de la cartografía y del catastro nacional, mantenimiento y saneamiento de las obras de aprovechamiento de los recursos hídricos la normativa técnica ambiental; la elaboración de estudios y proyectos ambientales; así como las demás competencias que le atribuyan las leyes. (Ley Orgánica de la Administración Central, 1999)
- **Ley de Aguas 2007. Gaceta Oficial N° 38.595:** Constituye las disposiciones para la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado. En su Artículo 10 establece la conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas para garantizar su protección, uso y recuperación, respetando el ciclo hidrológico. Seguidamente desarrolla normativas que incluyen: control y manejo de los cuerpos de agua, prevención y control de los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes, manejo de aguas y conservación de cuencas, entre otras. Todo ellos para garantizar la adecuada gestión integral de las aguas.

- **Ley Penal del Ambiente 2012. Gaceta Oficial N° 39.913:** establece las sanciones penales por los delitos que deterioren, contaminen o envenenen o causen daños a los recursos naturales. De igual manera, determina las medidas de restitución y de reparación, así como las disposiciones de carácter procesal derivadas de la especificidad de los asuntos ambientales.
- **Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio. Gaceta Oficial N° 5.820:** elaborado en el año 2006, tiene por objetivo establecer las disposiciones que regirán el proceso general para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio, en relación con las realidades ecológicas y los principios, criterios, objetivos estratégicos del desarrollo sustentable, que incluya la participación ciudadana y sirvan de base para la planificación del desarrollo endógeno, económico y social de la Nación.
- **Decreto 883 (1995). Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos:** El presente Decreto establece las normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente. Propone acciones de conservación y mejoramiento para la reducción o prevención de la generación de efluentes, así como establece la fijación de parámetros de vertidos y la ejecución de planes de calidad para cada cuerpo de agua, conforme a un orden de prioridades según la importancia de la problemática en las distintas cuencas del país.
- **Normas Sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. Gaceta Oficial N° 35.946:** establece los procedimientos conforme a los cuales se realizará la evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente. Los estudios de impacto ambiental, quedan sujetos a control por parte del Estado, es decir, aquellas actividades que contaminen, deterioren o produzcan alteraciones nocivas en el ambiente.
- **Reglamento Sobre Guardería Ambiental (1991). Gaceta Oficial N° 34.678:** Documento que establece las normas para la prevención, vigilancia, examen, control, fiscalización, sanción y represión de las acciones u omisiones que directa o indirectamente sean susceptibles de degradar el ambiente y los recursos naturales renovables. La

adecuación y coordinación de las actividades de guardería ambiental corresponderá al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

- **Ley de Zonas Especiales de Desarrollo Sustentable (2001) (ZEDES):** tiene como objetivo regular la creación, funcionamiento y supresión de las ZEDES, con el fin de elaborar los planes del Estado en cuanto al uso óptimo de los recursos naturales, ejecución de obras de infraestructura, otorgamiento de inventivos, dotación de tierra, asistencia técnica y crediticia, y captación para la organización social.

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo es importante dentro de un trabajo de investigación, ya que ayuda a determinar y dar respuesta a las interrogantes que producen el problema bajo estudio.

La metodología de una investigación es definida según Hurtado (2010) como el procedimiento para alcanzar un objetivo. Los procedimientos del método a su vez utilizan una serie de técnicas, sea de recolección o de análisis de datos, para poder desarrollarlo. Las técnicas cuando se refieren al análisis de datos numéricos se consideran técnicas cuantitativas.

A su vez, Morles (2011) describe el método como la descripción de las técnicas y procedimientos de observación, recolección y análisis de dato, como también los instrumentos necesarios para dicha descripción.

Por lo tanto, se desarrollan los objetivos específicos que están planteados, y permite definir los métodos necesarios para identificar las posibles soluciones a través de hechos y relaciones que establecen los resultados para que tengan el grado máximo de exactitud y confiabilidad. Todo por medio de técnicas, instrumentos y procedimientos metodológicos para cumplir la actividad planificada. La metodología constituye la médula del plan; hace referencia a la descripción de las unidades de análisis o de investigación, a las técnicas de recolección de datos, los instrumentos, los procesamientos y las técnicas de análisis (Arias, 2006).

En este trabajo de investigación, el principal enfoque de este marco metodológico es describir la metodología de investigación y de análisis para el diseño de una laguna aprovechando las aguas pluviales.

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente Trabajo de Grado es una investigación de naturaleza cuantitativa, ya que se establecen relaciones de variables que permitan el diseño de un sistema de drenaje urbano sostenible.

También por su alcance, se puede considerar como proyectiva porque consiste en la elaboración de una propuesta dirigida a resolver una determinada situación, que en este caso es la captación, conducción y descarga de aguas pluviales en el sitio seleccionado.

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Existen diferentes criterios para la clasificación de los trabajos de investigación y el concepto del tipo de investigación dependerá de las características de los resultados que se deseen lograr y el nivel de investigación indica el grado de profundidad con el que se realiza el estudio de

un objeto o fenómeno. El presente trabajo hará uso de técnicas de análisis de datos cuantitativos para la fase de análisis de datos y diseño de la laguna. Adicionalmente, el presente trabajo puede ser clasificado según su nivel de profundidad de las siguientes maneras.

La investigación propuesta se puede definir como descriptiva la cual consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, procesos y personas. Este tipo de investigación explica el fenómeno que está estudiando, es decir, describe la situación actual y orienta el proceso de la investigación; lo que a los efectos de esta investigación es pertinente (Bautista, 2007). Tiene como objetivo la caracterización de un evento de estudio dentro de un contexto en particular, para establecer una estructura y comportamiento que permita realizar proyecciones y recomendaciones.

Al mismo tiempo, la investigación también es analítica, ya que se encarga de estudiar un suceso y comprenderlo en términos de sus aspectos menos evidentes, se realizará el análisis de los procesos que causan el diseño de una laguna aprovechando las aguas pluviales.

Es oportuno mencionar, que además es una investigación proyectiva o mejor conocida como proyecto factible. Esta investigación intenta proponer soluciones a una situación determinada. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, mas no necesariamente ejecutar la propuesta. En esta categoría entran los proyectos factibles y todas las que conllevan el diseño o creación de algo. El término proyectivo está referido a proyecto en cuanto a propuesta; dentro de sus métodos esta la perspectiva implicar ir en la planificación de la propuesta desde el presente el futuro. El producto final es un conjunto de lineamientos generales para el control de la información que permita el diseño de una laguna aprovechando las aguas pluviales dentro del campus de la UCAB.

3.1.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En el 2011, Arias indica que *“el diseño de la investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder el problema planteado”*.

El diseño de la investigación puede ser clasificada según el tipo de datos que serán recogidos para llevar a cabo el estudio y puede ser definido del tipo de campo, ya que los datos fueron recolectados directamente de la realidad en donde ocurren los hechos y además haciendo uso de sus propios instrumentos.

La investigación es combinada: documental y de campo. Es la etapa en la que el estudiante muestra lo que aplico para recoger la información, la cual debe estar estrechamente vinculada con

los objetivos planteados. Es la estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere para la investigación.

- **Documental:** según Bautista (2007), el diseño documentar o bibliográfico se refiere a la utilización de datos secundarios, es decir, aquellos que han sido obtenidos por otros y nos llegan elaborados o procesados de acuerdo con los fines de quienes inicialmente los elaboran y manejan, por lo cual decimos que es un diseño bibliográfico. En este contexto los actores se dirigieron a las diferentes instituciones universitarias y afines, entre otros, con la finalidad de recolectar la información necesaria para alcanzar la meta propuesta.
- **De campo:** la investigación de campo se presenta recogiendo los datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variables algunas, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. A través del diseño de investigación de campo, las autoras se dirigieron al área en objeto de estudio donde aplicaron las diferentes técnicas e instrumentos de recolección de información, según Bautista (2007).
- **De Análisis:** otro método de estudio que se utilizó en este trabajo fue el análisis, debido a que el procedimiento que se usó para la investigación fue la identificación de cada una de las partes que caracterizan a la realidad de la comunidad de la UCAB, en el tema de drenaje de aguas pluviales, de este modo se establecieron relaciones de causa y efecto entre los elementos que componen a la investigación.

3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

3.2.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Analizando lo descrito por Sabino (1992) y Arias (2011) un instrumento de recolección de datos corresponde a todos aquellos recursos que se utilizan para acercarse a los eventos, extraer de ellos la información y almacenarla. Estos recursos poseen un aspecto de forma y uno de contenido.

Hurtado (2000), señala que “...la información puede ser obtenida a través de la revisión bibliográfica, asesorías, o entrevistas, o por medio de la observación directa de situaciones”.

En el presente trabajo la recolección de información y de datos se realizó utilizando varias técnicas y herramientas.

- **Análisis documental y de contenido:** registrada en diferentes medios impreso y digital, ya que la investigación se trata de un evento en el pasado. La búsqueda de información fue realizada en documentos de diferentes organizaciones públicas y privadas. En esta

investigación se destacan dos tipos de fuentes de información, fuentes primarias, aquellas que se obtienen de forma directa de quienes la generan, siendo la base de análisis de la investigación; al igual que fuentes secundarias, siendo cualquier documento que recoge información generada por otros en un periodo de tiempo pasado (Fernández, 2015).

- **Observación:** la visualización o captación mediante el sentido de la vista en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos (Arias, 2006). La observación que se utilizó es la participante, la cual es una técnica de recolección de datos que permitirá determinar la situación actual del área a investigar y el nivel de necesidad de solucionar un determinado problema, ya que capta la realidad social y cultural mediante la inclusión del investigador al objeto de estudio.

3.2.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El mismo autor, lo define como los medios que se emplean para recoger y almacenar la información requerida para el logro de los objetivos planteados. Tomando en cuenta las necesidades de la investigación se utilizó la documentación bibliográfica.

La documentación bibliográfica manejada fue recopilada de varias organizaciones de índole ambiental e hidráulico, al igual que de la institución meteorológica correspondiente al área de estudio, así mismo se incorporó como instrumento la visita al campo. Todo ello para identificar el estado actual del sistema de drenaje de la Universidad, sus causas y consecuencias, para posteriormente establecer un diagnóstico que permita, en base a indicadores, realizar el diseño adecuado de la laguna.

3.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

3.3.1. DE PROCESAMIENTO

En esta fase del proceso investigativo se realizaron las operaciones de registros, codificación, tabulación y graficación de los resultados, a los que posteriormente se les aplicó las técnicas de análisis. Estas técnicas de procesamiento se pueden describir como:

- **Registro:** señala que es la investigación del número de veces que ocurre un fenómeno. (Arias, 2006)
- **Codificación:** es el procedimiento técnico mediante el cual los datos son transformados en símbolos generalmente numéricos, que posteriormente son categorizados.

- **Tabulación:** consiste en el recuento de la información, a fin de determinar el número de casos concurrentes en dos o más categorías, lo que se denomina tabulación cruzada.
- **Graficación:** es el proceso de graficar los datos mediante la elaboración de procesos estadísticos computacionales, utilizando el diagrama circular, cuyas piezas representan divisiones porcentuales de la cantidad total en relación a las personas encuestadas.

3.3.2. DE ANÁLISIS

- **Cualitativo:** en el 2010, Sabino señala que es *“lo que procedemos a hacer con la información de tipo verbal que, de un modo general, se ha escogido mediante fichas de uno u otro tipo”*. Para realizar este tipo de análisis *“es precioso tomar cada uno de los grupos formados para analizarlos”*. Se efectúa cotejando los datos que refieren a un mismo aspecto y tratando de evaluar la fiabilidad de cada información.
- **Cuantitativo:** el mismo autor, menciona que *“... se efectúa con toda la información numérica resultante de la investigación...”*, se presenta como un conjunto de cuadros, tablas y medidas, a las cuales se les han calculado un porcentaje.

3.4. ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA

El estudio para la elaboración de una propuesta de diseño de una laguna ornamental aprovechando las aguas pluviales en la UCAB, se llevó a cabo en cuatro fases, las cuales se detallan a continuación.

3.4.1. FASE I. DIAGNÓSTICO

En esta fase se procedió a realizar una visita de campo a las instalaciones de la Universidad Católica Andrés Bello, a los efectos de observar las obras de drenaje de aguas pluviales existente, además de entrevistar a personas especialistas en el tema con finalidad de conocer sus experiencias durante la ocurrencia de lluvias y muy especialmente cuando estas son extremas por su duración o por su magnitud.

Se pueden destacar los siguientes datos u observaciones recolectadas en sitio:

- Existencia de aportes externos al área de estudio.
- Tipos de suelos.
- Tipos de vegetación.
- Posibilidad de que terreno en la actualidad puede ser utilizado para la laguna.
- Obras de drenaje de aguas pluviales existentes.
- Sectores sujetos a inundaciones frecuentes.

- Otros datos relevantes de la zona, producto de conversaciones con personas en la institución.

La zona de estudio comprende un área de 17.500 m^2 entre el techo de los edificios de Aulas, y todo el jardín central de la universidad incluyendo la plaza Central coloquialmente llamada Plaza Mickey. El edificio donde se recolectará las aguas pluviales a través del techo, está ubicado en frente del jardín central, y este a su vez se ubica en frente de la Biblioteca Centro Cultural Padre Carlos Guillermo Plaza.

3.4.2. FASE II. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Esta fase consiste en recolectar información sobre la topografía de la zona estudiada, información de lluvias y suelos, así como también la revisión bibliográfica y análisis de los sistemas de drenaje de la universidad.

3.4.2.1. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

La primera parte de esta fase del trabajo fue la recopilación de la información necesaria para poder realizar el diseño de la laguna aprovechando las aguas pluviales, para esto, se comenzó por recolectar la información cartográfica y topográfica existente de la Universidad Católica Andrés Bello. Gracias a la oficina de servicios generales de la UCAB dirigida por el Ing. Vincenzo Bonadio, la cual facilitó los planos del campus universitario en escala 1:750. Adicionalmente se realizó la recopilación de imágenes satelitales del área a través de Google Earth, con el fin de obtener imágenes actualizadas. Todo esto para así determinar el lugar y área donde va a diseñarse la laguna. Se pudo extraer la siguiente información:

- Delimitación del área de estudio.
- Delimitación de sectores.
- Identificación de obras de drenaje reflejados en los mapas como son canales, cuentas y alcantarillas.

Adicionalmente, se solicitó toda la información sobre los drenajes y tuberías de la UCAB, obteniendo todos los diámetros, longitudes, áreas, planos de los drenajes y tuberías a utilizar, alturas y profundidad de las tuberías, área de captación del agua de lluvia. Todo esto proporcionado por el Ing. Vincenzo Bonadio, gracias a la oficina de servicios generales.

3.4.2.2. DATOS PLUVIALES

Simultáneamente se procedió a determinar la lámina de lluvia media diaria que se precipita en la zona de estudio (Campus de la UCAB). La información pluviométrica empleada fue solicitada al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) del que se obtuvieron los datos registrados en las estaciones cercanas a la zona de estudio (Figura 14), Hacienda Mamera, Hacienda Montalbán y La Rinconada, adicionalmente se obtuvo la información del Observatorio Cajigal, ubicada en la Parroquia 23 de enero y que es la más antigua de la ciudad de Caracas.

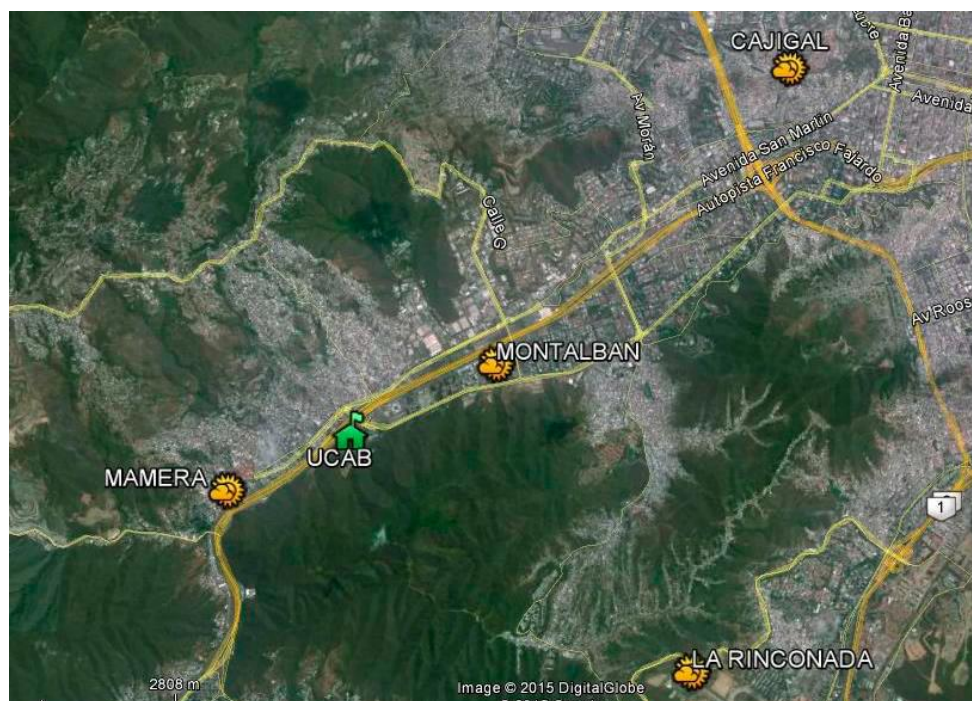


Figura 16. Mapa de ubicación de las estaciones solicitadas.

3.4.2.3. INFORMACIÓN DE SUELOS

Seguido a esto, se pasó a solicitar la información o datos del suelo de la UCAB, los cuales fueron suministrados por el departamento de suelos de la escuela de Ingeniería Civil de la UCAB, gracias al Ing. Hugo Pérez Ayala, y a su vez por la oficina de servicios generales, otorgando los estudios de suelos realizados recientemente para la construcción de la Biblioteca nueva.

3.4.2.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En lo concerniente a la información bibliográfica requerida, se requirieron textos, artículos y tesis especializados en las áreas de hidráulica, hidrología y sustentabilidad, además de haber contado con las normas de las áreas mencionadas para respaldar los diseños o conclusiones

obtenidas. Se debe tener presente que la información utilizada se originó tanto nacional como internacionalmente.

Se realizaron una serie de visitas a la institución que tenían como objetivo el reconocimiento de las áreas a estudiar: mediciones de los sitios de importancia para la investigación, realización de un estudio topográfico que tenía como fin determinar las diferencias de cotas entre puntos que se consideraron de sumo interés, respaldo fotográfico para respaldar la apariencia de suelos y vegetación de las zonas a ser estudiadas. Estas visitas estuvieron acompañadas de entrevistas a las personas involucradas con la operación de los servicios de la UCAB. Estas observaciones en campo son de suma importancia ya que el trabajo se encuentra sustentado en información plenamente teórica, con las excepciones que se presentaron previamente en el texto.

3.4.3. FASE III. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para la elaboración del estudio hidrológico se realizaron las siguientes actividades:

- Correlación de las estaciones para la obtención de datos completos de las estaciones.
- Método de lluvias cortas para la obtención de datos faltantes y completar la información de las estaciones.
- Ampliación de la distribución de Gumbel para la obtención de lluvias máximas e intensidades de lluvias para los distintos períodos de retorno.
- Análisis de lluvias extremas para la obtención de las curvas de profundidad e Intensidad – Duración – Frecuencia.
- Uso de la ecuación del Método Racional para la estimación del caudal máximo para el diseño de la laguna.
- Aplicación de la metodología del Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile (MINVU) para el uso en lagunas de infiltración y el cálculo del volumen de almacenamiento.

3.4.4. FASE IV. DISEÑO

El diseño consiste en formular una propuesta de ingeniería para darle una solución a la problemática del escurrimiento de aguas de lluvia para la Universidad Católica Andrés Bello a través de la implementación de un tipo de sistema de drenaje sostenible como es la construcción de la laguna, cuyo objetivo es resolver los problemas detectados en la fase de diagnóstico.

Este diseño consta de la ubicación y la determinación de las dimensiones de la obra de drenaje propuesta.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO

Este capítulo presentará los cálculos y resultados obtenidos, a su vez el análisis de los mismos con el fin de llegar a las propuestas de perfectibilidad y factibilidad, consiguiendo el diseño más óptimo para realizar la laguna.

4.1. DISPONIBILIDAD Y USOS DE LA FUENTE PLUVIAL

A continuación, se procederá a definir la fuente pluvial, determinar los posibles usos que se le pueden dar, dependiendo de su calidad y ubicación, además de determinar las necesidades de agua y finalmente se relacionaran todas estas variables en una tabla resumen.

Una fuente de agua se define en función de las siguientes variables: cantidad, calidad y ubicación. Para la metodología empleada es necesario agrupar dichas variables de la siguiente manera:

- **CANTIDAD DE AGUA**

La cantidad de agua se determinará a partir de la Lluvia diaria y el Método Racional. Este método será aplicado sin ninguna modificación. El coeficiente de escorrentía, el cual está definido en función de la pendiente y características del terreno, en este caso que es un techo se habrá de buscar los distintos coeficientes, el cual se puede interpretar, para superficies impermeables $c = 0,95$, que la escorrentía es el 95% de la precipitación. Se expresará de forma volumétrica para su posterior análisis.

- **CALIDAD Y UBICACIÓN DEL AGUA**

La calidad del agua está relacionada directamente con el sitio donde sea captada (Tabla 4), en este caso, el agua pluvial a utilizar será captada en techos.

TIPO	SUPERFICIE	TECHOS
1	Destinadas al uso doméstico	Sub Tipo 1a
2	Destinadas al uso pecuario	Sub Tipo 2B

Tabla 4. Calidad del agua según la superficie de contacto del agua pluvial.

Este punto busca englobar todos los temas mencionados anteriormente en el marco metodológico. Se organizará la información para apreciar con mayor facilidad la factibilidad de implementar el sistema de recolección de las aguas pluviales.

Al emplear el sistema de recolección en techos, la factibilidad de captación es muy buena, el nivel de tratamiento es alto, por lo que el punto de recolección es el óptimo para la captación del agua de lluvia. Por ende, se colocarán específicamente en el techo de los edificios de Aulas, en

todas las superficies de recolección el empleo del recurso recolectado es utilizado para abastecer la laguna en el campus, por este motivo el agua que pueda captarse siempre podrá ser aprovechada.

Cuando se trate de un sistema ubicado en un techo, la principal función del sistema será drenar el agua para una lluvia máxima de 10 minutos de duración, y para un período de retorno (Tr) de 5 años como lo establece la norma sanitaria 4.044. La misma norma establece la metodología para determinar las dimensiones de las obras de captación, conducción y almacenamiento. Adicionalmente se debe colocar un filtro que funcione como tratamiento y proteja a las obras de la acumulación de sedimentos.

- **USOS DEL AGUA CAPTADA**

El criterio para determinar los usos se basará en: la calidad de la fuente y la factibilidad de potabilización del agua captada. La posibilidad del uso del agua captada en las diferentes superficies, permeables e impermeables, existentes en la Universidad Católica Andrés Bello serán definida principalmente por el aporte que produce el volumen de agua captado al volumen total consumido en cada zona, que para efecto de este estudio se identificará como Grado de Abastecimiento.

En este caso, de que el agua provenga de una superficie impermeable como lo es el techo, las probabilidades de potabilización del recurso recuperado son de las más altas y por tanto sería la opción más viable por lo que el recurso podría mezclarse con el proveniente del acueducto y actuar como respaldo. Como el empleo del agua captada es para ser utilizado en la laguna, por ser un sistema de aguas grises, no se requiere potabilización, es decir que la calidad del agua obtenida no es apta para el consumo humano.

4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS

En la recolección de información de datos hidrológicos se decidió localizar las estaciones meteorológicas más cercas a la Universidad Católica Andrés Bello, encontrando: Hacienda Mamera, Hacienda Montalbán, La Rinconada y Observatorio Cajigal. Se decidió trabajar con la estación meteorológica Observatorio Cajigal ya que es la que presentaba la mayor cantidad de registros de lluvia máxima (Tabla 5), además de ser datos recientes y con mayor consistencia, características que las demás estaciones no proporcionaban. Las otras tres estaciones restantes (Hacienda Mamera, Hacienda Montalbán y La Rinconada), aparte de tener menor año de registros, presentan una gran cantidad de inconsistencias de datos especialmente en meses de época de lluvia, tal como se puede ver en la siguiente tabla:

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	NÚMERO DE MESES REGISTRADOS CON LÁMINA DIARIA	TIEMPO DE REGISTRO (AÑOS)
Hacienda Mamera	129	13
Hacienda Montalbán	86	8
La Rinconada	205	18
Observatorio Cajigal	464	40

Tabla 5. Registros de lluvia máxima.

Primeramente, se le solicitó al Sr. Eduardo Arteaga Chopite el cual trabaja en el Instituto Nacional de meteorología e Hidrología (INAMEH) ubicado en Hoyo de la Puerta en Baruta, quien suministró datos de lluvias máximas para distintos tiempos (5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 60 minutos, 180 minutos, 360 minutos, 540 minutos, 720 minutos y 1.440 minutos) de distintas estaciones meteorológicas de la ciudad de Caracas. A su vez, el Ingeniero José Divasson facilitó datos del clima de Caracas de distintas estaciones, tales como, datos mensuales de insolación, datos mensuales de radiación, datos mensuales de temperatura, datos mensuales de humedad, datos mensuales de nubosidad, y así sucesivamente, entre los cuales se encontraba datos mensuales de precipitación (mm).

Cabe destacar que para la estación meteorológica Observatorio Cajigal, los datos mensuales de precipitación son los correspondientes al período de 1980-2004, mientras que para los datos de lluvias máximas se contó con datos entre el periodo de 1938-1977. Para la realización del presente trabajo se consideraron únicamente los registros de los datos de lluvia máxima.

4.2.1. CORRELACIÓN LINEAL

Una vez decidida la estación meteorológica a trabajar se procedió a la búsqueda más exhaustiva de datos correspondientes a la misma. Se trabajó con datos de lluvias máximas anuales, ya que el objetivo del trabajo no está enfocado en la producción de agua dentro del recinto universitario para posteriores propuestas de drenaje sustentables, sino en el diseño de drenajes, en este caso en la construcción de la laguna.

En el caso de la estación pluviométrica seleccionada (Cajigal), solo se contaba con datos para lluvias de duración de una hora (1h) en adelante, presentando un inconveniente ya que el tiempo de concentración de las cuencas que necesitamos para el diseño de la laguna es de períodos menores de tiempo (5 minutos, 10 minutos y 15 minutos). Por lo que se pasó a realizar una

correlación lineal para ver si podía utilizar otra estación que cuente con los datos necesarios para esos tiempos seleccionados.

La estación de La Rinconada si cuenta con registros de lluvias a partir de 5 minutos de duración en adelante, por lo que se realizó la correlación entre las distintas estaciones, se tomaron en cuenta los datos de la lámina de lluvia máxima para los años en común entre cada estación, arrojando los resultados en las siguientes tablas.

DATOS	AÑO	ESTACIONES	
		RINCONADA	CAJIGAL
1	1966	41	32
2	1967	29	47
3	1968	35	33
4	1969	39	27
5	1970	23	50
6	1971	34	34
7	1972	38	76
8	1973	40	31
9	1974	25	54
10	1975	37	32
11	1976	55	33
12	1977	25	41
CORRELACIÓN		-0,366	

Tabla 6. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Observatorio Cajigal para 1 hora.

DATOS	AÑO	ESTACIONES	
		RINCONADA	CAJIGAL
1	1966	42	42
2	1967	33	48
3	1968	48	39
4	1969	43	39
5	1970	26	54
6	1971	48	45
7	1972	54	85
8	1973	49	34
9	1974	26	57
10	1975	61	49
11	1976	62	35
12	1977	35	41
CORRELACIÓN		-0,082	

Tabla 7. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Observatorio Cajigal para 3 horas.

DATOS	AÑO	ESTACIONES	
		RINCONADA	MAMERA
1	1968	35	37
2	1969	39	24
3	1970	23	25
4	1971	34	34
5	1972	38	32
6	1973	40	30
7	1974	25	33
8	1975	37	44
9	1976	55	45
10	1977	25	20
11	1978	23	29
12	1979	44	22
13	1980	28	47
CORRELACIÓN		0,279	

Tabla 8. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Mamera para 1 hora.

DATOS	AÑO	ESTACIONES	
		RINCONADA	MAMERA
1	1968	48	42
2	1969	43	25
3	1970	26	26
4	1971	48	38
5	1972	54	48
6	1973	49	30
7	1974	26	42
8	1975	61	44
9	1976	62	54
10	1977	35	30
11	1978	31	45
12	1979	50	27
13	1980	31	92
CORRELACIÓN		-0,050	

Tabla 9. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Mamera para 3 horas.

DATOS	AÑO	ESTACIONES	
		RINCONADA	MONTALBÁN
1	1977	25	36
2	1978	23	70
3	1979	44	34
4	1980	28	34
5	1981	29	40
6	1982	29	20
7	1983	22	28
CORRELACIÓN		-0,247	

Tabla 10. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Montalbán para 1 hora.

DATOS	AÑO	ESTACIONES	
		RINCONADA	MONTALBÁN
1	1977	35	61
2	1978	31	72
3	1979	50	34
4	1980	31	55
5	1981	65	47
6	1982	32	26
7	1983	23	29
CORRELACIÓN		-0,022	

Tabla 11. Análisis de correlación lineal entre estaciones La Rinconada y Hacienda Montalbán para 3 horas.

Se debe acotar que todos los coeficiente de correlación resultaron super bajos, sin embargo, en general para duraciones de lámina de lluvia máxima de un tiempo mayor (60 minutos en adelante), suele haber una relación en los datos, obteniendo resultados similares al momento de una correlación, pero si se habla de tiempos menores (5 minutos, 10 minutos, 15 minutos), la variación entre los datos lámina de lluvia entre las estaciones cercanas va a ser más significativa, por lo que los valores van a ser diferentes y no se puede hacer la correlación entre las estaciones.

4.2.2. MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA CORTA

Una vez conocido los resultados de la correlación para las distintas estaciones, al detectar que no se podían tomar los datos de la estación La Rinconada para tiempos menores de duración (5 minutos, 10 minutos, 15 minutos), debido a que no existía correlación alguna entre los datos pluviales de las distintas estaciones.

Se pasó a utilizar otro método para poder obtener la lámina máxima de lluvia para un tiempo de duración menor para la estación Cajigal, por lo que se consultó al Ing. Civil Juan Carlos Martínez, el cual realizó la observación de utilizar la información que se posee de la estación Observatorio Cajigal y a través de un factor de ajuste, transformarla para tiempos de duración menor.

El Ing. Martínez, recomendó utilizar un método que aparece en la revista hidráulica “El Agua”, ejemplar #47 (2011) del Ingeniero Humberto Cartaya, donde se concluye que las lluvias extremas cortas son similares en todo el mundo, y sus magnitudes pueden estimarse de la reducción de la de una hora (60 minutos), el cual consiste en realizar una distribución de lluvias cortas, utilizando una fórmula empírica que nos arroja un factor de reducción en función al tiempo de la duración de lluvia que queremos alcanzar, y este a su vez será multiplicado por los datos de lluvias máximas para 60 minutos, logrando hallar los datos pluviales para tiempos menores, como se demuestra a continuación.

$$f(t) = 0,14 * t^{0,49}$$

Tiempo (min)	f
5	0,30805
10	0,43264
15	0,52773
30	0,74117

Tabla 12. Factores de ajuste para los distintos tiempos.

Seguido a obtener el factor de ajuste para tiempos de lluvia corta (5 minutos, 10 minutos, 15 minutos y 30 minutos, se pasó a encontrar los datos de lluvia máxima (resaltados en amarillo) a través del cálculo de los datos de lluvias máximas para 60 minutos, por el factor de ajuste en cada caso, para los datos faltantes de las siguientes estaciones: Observatorio Cajigal (Anexo 1), Hacienda Mamera (Anexo 2), Hacienda Montalbán (Anexo 3).

Debemos recordar que para la estación La Rinconada, se cuenta con los datos completos.

4.2.3. DISTRIBUCIÓN TIPO I O DISTRIBUCIÓN GUMBEL

Consecutivamente a calcular todos los datos para los distintos tiempos de un día en minutos (5, 10, 15, 30, 60, 180, 360, 540, 720 y 1.440), se debe aplicar la Distribución de Gumbel para de esa manera hallar las distintas láminas para determinados períodos de retorno (2,33 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años), posteriormente poder calcular las intensidades de lluvia para dichos periodos de retorno.

La Distribución de Gumbel viene dada por la siguiente ecuación:

$$p = e^{-e^{-y}}$$

Siendo “ p ” la probabilidad de no ocurrencia de un evento, “ e ” la base de los logaritmos neperianos e “ y ” la variable reducida de Gumbel la cual es función del periodo de retorno. Al tomar logaritmos neperianos en la ecuación anterior se obtiene:

$$y = -\ln(-\ln p)$$

Que es lo mismo que:

$$y = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right)\right)$$

La ecuación anterior permite calcular el valor de la variable reducida de Gumbel (y) en función del periodo de retorno considerado.

Tr (años)	y	Tr (años)	y
1,58	0,000	20	2,970
2	0,367	25	3,199
2,33	0,579	50	3,902
5	1,500	100	4,600
10	2,250	200	5,296
15	2,674	500	6,214

Tabla 13. Valores de variable reducida de Gumbel para varios períodos de retorno.

Para calcular el evento correspondiente a un determinado periodo de retorno Gumbel utiliza la ecuación general de extremos propuesta por Chow (1951):

$$X_T = x + K_T * S$$

Donde x y S corresponden a la media y a la desviación estándar de la serie de registros históricos disponibles. La media es el valor esperado x de alguna función de una variable aleatoria, mientras que la desviación estándar es una medida de la variabilidad y tiene las mismas dimensiones que la media. A medida que aumenta la desviación estándar, aumenta la dispersión de la información. Se pueden expresar como:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{(n - 1)}}$$

A su vez, K_T es el factor de frecuencia el cual se calcula como:

$$K_T = \frac{(y - Y_n)}{S_n}$$

Siendo Y_n y S_n , valores que dependen de la longitud de registros históricos disponibles. Esos valores se leen en tablas en función de la cantidad de registros disponibles, como la que se muestra (Anexo 4), del libro Drenaje Urbano (1979) del profesor J.J. Bolinaga y colaboradores. El cálculo de valores Y_n y S_n se muestra en detalle en el libro de Kite (página 99 y siguientes).

4.2.4. ANÁLISIS DE LLUVIAS MÁXIMAS

Para realizar el estudio de lluvias máximas se estudiaron las cuatro estaciones anteriormente mencionadas, Observatorio Cajigal (Anexo 5), La Rinconada (Anexo 6), Hacienda Mamera (Anexo 7), y Hacienda Montalbán (Anexo 8), de los datos pluviales suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidráulica (INAMEH) se recopilieron los registros históricos a los cuales se les aplicó el método de Gumbel.

Elaborando el correspondiente análisis de Profundidad e Intensidad – Duración – Frecuencia, en las cuales se puede prestar atención los datos de láminas de lluvia máximas para cada año anteriormente hallados para diferentes duraciones en minutos (5, 10, 15, 30, 60, 180, 360, 720 y 1.440). Posteriormente se puede observar el número de registro, la media $\bar{x}$, desviación estándar S , el valor Y_n y S_n , para cada duración de tiempo de la lluvia. Por último, se muestra las láminas de lluvia (mm) y las intensidades (mm/h) para cada período de retorno en años (2.33, 5, 10, 25, 50, 100). Cabe destacar que la y va a depender de cada período de retorno, mientras que la K_T va a variar para cada período de retorno y a su vez dependerá del número de registro ya que es en función del valor Y_n y S_n .

En los Anexos 5, 7 y 8, los valores más claros (gris) son los datos hallados por el método del factor de ajuste.

En el Anexo 8, para la estación Hacienda Montalbán, se puede observar que solo está el cálculo para láminas de lluvia (mm) e intensidades (mm/h) de 30 minutos de duración de lluvia, ya que es el único tiempo que cuenta con al menos 10 años de registros, las otras duraciones de lluvia, los datos son menores a 10 años por lo que no tiene el valor Y_n y S_n , lo cual no permite calcular dichas láminas de lluvia (mm) e intensidades (mm/h).

Para culminar con esta etapa se pasó a graficar los resultados obtenidos en las tablas en papel de probabilidad extrema, obteniendo las distintas rectas para distintos tiempos (5 minutos,

10 minutos y 15 minutos), en las cuales se graficó láminas de lluvia (mm) vs. Período de retorno (años), para la estación Observatorio Cajigal y La Rinconada (anexo 9 y 10) respectivamente.

Los resultados del análisis de frecuencia de lluvia se representan mediante las figuras en los anexos, que contienen curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de las siguientes estaciones, Observatorio Cajigal (Anexo 11), La Rinconada (Anexo 12), Hacienda Mamera (Anexo 13). Adicionalmente para ver mejor los resultados obtenidos, como se va utilizar la estación Observatorio Cajigal para el diseño de la laguna, se realizó la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para lluvias de a 5 a 60 minutos de duración (Anexo 14).

Cabe destacar que de la estación Hacienda Montalbán, como no se tienen los datos completos, no se realizó la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), ya que para el valor de Y_n y S_n en la tabla, se necesita un mínimo de 10 registros, y solo cuenta con 8 registros.

4.2.5. MÉTODO RACIONAL. GASTOS MÁXIMOS

Utilizando el Método Racional, se procedió a calcular el gasto máximo (Q) en metros cúbicos sobre segundos (m^3/s), para distintas intensidades (mm/h) de lluvias (5 y 10 minutos de duración) y para los distintos períodos de retorno, de la estación Observatorio Cajigal (Tabla 14 y 15). Se trabajó con un coeficiente de escurrimiento para el techo de $c = 0,95$, lo que quiere decir que la escorrentía es el 95% de la precipitación. El área a utilizar es el techo del edificio de Aulas, que posee un área de $4.300 m^2$ que sería $A = 0,43 ha$.

Cabe destacar que se realizó las dos tablas (distintas duraciones de lluvia y períodos de retorno), pero la duración establecida para este proyecto es de 10 minutos y un período de retorno de 5 años, tal como se muestra resaltado en la tabla 15.

Debido a que el resultado expresado en m^3/s , da un valor pequeño, el gasto máximo será expresado en *lps*. El gasto máximo se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$Q = C * i * A$$

Tr (años)	I (mm/h)	A (ha)	C	Q (m3/s)	Q (lps)
2,33	136,3	0,43	0,95	0,1546	154,62
5	169,0	0,43	0,95	0,1918	191,80
10	195,7	0,43	0,95	0,2221	222,09
25	229,4	0,43	0,95	0,2604	260,35
50	254,5	0,43	0,95	0,2887	288,74
100	279,3	0,43	0,95	0,3169	316,91

Tabla 14. Gastos máximos para lluvias de 5 minutos de duración.

Tr (años)	I (mm/h)	A (ha)	C	Q (m ³ /s)	Q (lps)
2,33	95,7	0,43	0,95	0,1086	108,58
5	118,7	0,43	0,95	0,1347	134,69
10	137,4	0,43	0,95	0,1560	155,95
25	161,1	0,43	0,95	0,1828	182,82
50	178,7	0,43	0,95	0,2028	202,76
100	196,1	0,43	0,95	0,2225	222,54

Tabla 15. Gastos máximos para lluvias de 10 minutos de duración.

4.2.6. SISTEMA DE DRENAJE DE AGUAS DE LLUVIA

Se precisa disponer de información relativa a los drenajes primarios existentes en la zona de estudio (UCAB), para ello se realizó varias visitas de campo con el propósito de identificar las estructuras de drenaje de aguas de lluvia existentes dentro de la universidad, y se conversó con profesionales expertos en el tema. Se analizó la zona por sectores para los efectos de descripción y ubicación en el plano cartográfico.

El edificio de aulas cuenta con bajantes para el agua pluvial en sus techos, el cual transporta dicha agua, bajando a través de la tubería hasta ser descargada en un colector debajo del edificio de Aulas, y este a su vez descarga el agua pluvial por tuberías hacia la parte posterior del edificio (estacionamiento de profesores).

Se propone que una vez llegue el agua pluvial a la tanquilla, esta sea transportada por gravedad, a través de una tubería subterránea hasta abastecer la laguna; cabe destacar que, por las cotas de las tuberías, estas tienen que darle la vuelta (bordear) el edificio de Aulas, hasta llegar a la laguna, a su vez deben poseer una pendiente necesaria, para que el agua que abastece la laguna no se regrese, y de esa forma evitar que la tanquilla se inunde, lo que causaría que se desborde el agua. El llenado de la laguna va a ser por gravedad a través de una tubería subterránea, que va a llegar al fondo de esta, a una profundidad que varía entre 1,50 – 2,00 metros aproximadamente.

Se debe acotar, que la captación de agua pluvial en el edificio de Aulas, es muy lejos de la ubicación de la laguna, al momento de establecer la tubería que abastecerá con una pendiente la laguna, la distancia va a ser larga. Por lo que se propone que, para abastecer la laguna se debe tomar en cuenta, captar el agua pluvial de otros edificios más cercanos, como lo son el Centro Loyola y la antigua biblioteca (actualmente centro de investigaciones).

4.3. ESTUDIO DE SUELO

En el 2007, se realizó un estudio del subsuelo y fundaciones en la Universidad Católica Andrés Bello, para la construcción de una nueva estructura como lo es la Biblioteca Centro

Cultural Padre Carlos Guillermo Plaza. El estudio fue realizado por ingenieros consultores en geotecnia a través de la empresa Geotécnica de Venezuela, C.A. (Ingeniero Frederick Meyer González e Ingeniero Jaime Graterol Monserratte).

Al momento de analizar el estudio de suelo para la biblioteca nueva, se efectuó una visita de inspección al sitio pudiéndose definir algunas condiciones geotécnicas:

- La parcela en estudio presenta topografía regular en toda su superficie, con cotas variables entre 919,5 y 921,0 en una extensión de 130 metros.
- Se conoce que el subsuelo de la parcela en estudio está formado por sedimentos aluvionales-coluviales constituidos en su mayoría por arenas medias a finas-medias a gruesas limosas a muy limosas con variable contenido de grava intercalados con estratos de limos o arcillas de baja plasticidad con alto contenido de arena.

Al realizar los estudios y exploración del subsuelo, se ejecutaron perforaciones a profundidades aproximadas de 20 metros. Recuperando las muestras y posteriormente analizándolas. De los resultados presentados por los ingenieros especialistas en suelos, se deduce que el subsuelo de la parcela en estudio está formado por varios estratos.

Para efecto de esta investigación, por la profundidad de la laguna, vamos a trabajar solo con el estrato superficial, donde se detectó un espesor variable entre 1,0 y 2,0 metros de suelo de relleno, que se comporta como un limo de baja plasticidad con variable contenido de arena y resistencia promedio al SPT de $N_p = 36 \text{ gol/pie}$. Subyacente a los suelos de rellenos superficiales y hasta las máximas profundidades exploradas, se detectó una sucesión de sedimentos aluvionales-coluviales.

El nivel freático se detectó entre 13 y 11,8 metros de profundidad en distintas perforaciones, mediante registros efectuados por período de tiempo superior a 48 horas.

Se consultó con distintos profesionales en el área de suelos, en particular con el Ingeniero Heriberto Echezuria, para el análisis y opinión sobre el estudio de suelos, en el cual resaltó que el suelo de la universidad, es un suelo de relleno, que se comporta como limo arcilloso, es decir, son suelos de granos finos con poca o baja plasticidad, con límite líquido menor a 50%. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 y 0,005 mm. Su color por lo general varía desde grises hasta marrones oscuros. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad es alta.

En nuestro caso es muy significativo determinar la permeabilidad adecuada del suelo, ya que es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire, siendo la cualidad más importante a considerarse en el diseño de la laguna, la cual debe realizarse en suelos de baja permeabilidad para que pueda retener el agua.

El coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica es una característica de los suelos, específicamente está ligado a la Ley de Darcy que se refiere al flujo de los fluidos a través de los suelos, se expresa en cm/s o m/s en unidades del Sistema Internacional. El coeficiente de permeabilidad, generalmente representado por la letra K , es extremadamente variable, según el tipo de suelo. Este coeficiente es función, entre otras cosas de la viscosidad del agua, y este a su vez de la temperatura (normalmente se maneja $20^{\circ}C$), y del tamaño de los poros, que depende de la relación de vacíos, rugosidad de partículas minerales, grado de saturación del suelo. En suelos arcillosos, la estructura juega un papel importante en la conductividad hidráulica. Otro factor importante que afectan la permeabilidad de las arcillas son la concentración iónica, y el espesor de las capas de agua contenida de las partículas de arcilla. (Principles of Geotechnical Engineering, 7ma Edición, Braja M. Das, 2010)

Los valores típicos para suelos saturados se dan en la siguiente tabla. La conductividad hidráulica de los suelos no saturados es más baja y aumentan rápidamente con el grado de saturación.

TIPO DE SUELO	K	
	cm/seg	ft/min
Grava limpia	100 - 1,0	200 - 2,0
Arena gruesa	1,0 - 0,01	2,0 - 0,02
Arena fina	0,01 - 0,001	0,02 - 0,002
Limo arcilloso	0,001 - 0,00001	0,002 - 0,00002
Arcilla	<0,00001	<0,00002

Tabla 16. Conductividad hidráulica según el tipo de suelo.

4.4. DISEÑO DE LA LAGUNA

Para el diseño de la laguna, el Ingeniero José Ochoa Iturbe (2017), señala en su trabajo “*El drenaje y su importancia para una ciudad sustentable*” presentado ante la Ilustre Academia Nacional de la Ingeniería y Hábitat, una metodología adoptada del Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile (MINVU, 1996) para el uso en lagunas de infiltración y el cálculo del volumen de almacenamiento, el cual permite dimensionar las lagunas.

El método calcula de la siguiente manera:

$$V_{alm} = V_{afl} - V_{inf}$$

Donde:

- V_{alm} : Volumen de almacenamiento (m^3).
- V_{afl} : Volumen afluente acumulado de agua de lluvia para una duración de tiempo t (m^3).
- V_{inf} : Volumen acumulado infiltrado (m^3).

Para el cálculo del volumen afluente utilizan:

$$V_{afl} = 0,00125 * C * I * A_t * t$$

Donde:

- C : coeficiente de escurrimiento superficial (adimensional).
- I : Intensidad de lluvia para una cierta duración y para un período de retorno seleccionado (mm/h).
- A_t : Área aportante, se estima como la suma de las superficies impermeables que drenan hacia la fosa o laguna, más el área de la laguna en si (m^2).
- t : Tiempo de duración de la lluvia asociada a la intensidad (*horas*).

Para el cálculo del volumen infiltrado se utiliza:

$$V_{inf} = 0,001 * f * C_s * A_e * t$$

Donde:

- f : tasa de infiltración (mm/h). (Variable con el tipo de suelo, condiciones antecedentes y el tiempo o duración del evento, ya que a medida que se satura el suelo, éste pierde capacidad de infiltración.)
- C_s : Coeficiente de seguridad (adimensional).
- A_e : Área de la laguna o depresión (m^2).
- t : Tiempo de duración de la lluvia asociada a la intensidad (*horas*).

Por último, la altura de la depresión será:

$$h = \frac{V_{alm}}{A_e}$$

El método, aparentemente sencillo posee dos variables de extrema importancia, la intensidad de la lluvia (I), sin la cual podría sub-diseñarse la laguna con las consecuencias lógicas de desborde; y la rata de infiltración del suelo (f), que debe ser determinada en cada sitio.

Dependiendo de tamaño de la laguna pudiese existir variación del tipo de suelo y por tanto de su rata de infiltración.

En el 2017, el Ingeniero José Ochoa, en su trabajo presentado ante la Academia de Ingeniería y Hábitat, añade lo siguiente al método de cálculo de lagunas:

- *“Las lagunas de retención deben diseñarse específicamente para que evacuen la totalidad de las aguas en 72 horas. Esto es así para garantizar que puedan estar vacías para recibir las aguas de una próxima tormenta. Las lagunas de detención se diseñan bajo el concepto de valores anuales de escorrentía en un diagrama de balance de volúmenes producidos mes a mes.”*
- *“En general los dos tipos de lagunas deben diseñarse para que tengan al menos una altura de borde libre de al menos unos 50 cm. Debe comprobarse que un evento con período de retorno de 100 años no cauce su destrucción, ni la pueda producir en zonas inmediatas aguas abajo de la laguna.”*
- *“El diseño del volumen viene dado calculando el volumen histórico producido por el área drenada (a efectos del diseño de la descarga) y sumándolo al volumen producido bajo las nuevas condiciones, dando así ese volumen histórico un margen de protección al diseño.”*
- *“Las lagunas deben estar separadas de propiedades privadas y al menos a unos 35 metros de tanques sépticos o colectores de aguas servidas como medida de seguridad.”*

4.4.1. CÁLCULO DE LA LAGUNA

El coeficiente de escurrimiento será el mismo utilizado en el Método Racional para techos de $c = 0,95$, lo que quiere decir que la escorrentía es el 95% de la precipitación. La Intensidad de lluvia (mm/h) va a variar para distintas duraciones de tiempo (min) y diferentes períodos de retorno (años), aunque el óptimo sería para una lluvia de 10 minutos de duración y de 5 años de período de retorno. El área aportante será la suma de las superficies impermeables que drenan hacia la fosa o laguna, más el área de la laguna en sí, el techo del edificio de Aulas tiene un área de $4.300 m^2$, y el valor del área de la laguna va a ir variando para obtener distintos resultados, el valor estimado es $300 m^2$, por lo que el área total de afluente sería $4.600 m^2$. Para el coeficiente de seguridad ver Anexo 15.

Debe advertirse que, en los cálculos realizados, la tasa de infiltración puede variar entre $0,001-0,00001 cm/s$ para el tipo de suelo donde se va colocar la laguna. Para estar acorde con las unidades de la fórmula la tasa de infiltración varía entre $36-0,36 mm/h$. En las siguientes tablas,

se encuentra el cálculo del volumen afluente, del volumen infiltrado, del volumen almacenado y el área y la altura de las depresiones, para distintos casos, variando la Intensidad de lluvia (mm/h) que a su vez depende del tiempo de duración de la lluvia (h), diferentes períodos de retorno (años), distintos valores para la tasa de infiltración (mm/h), distintos Coeficiente de seguridad, y variando el área de la laguna (m^2).

c	0,95	Valm:	106,27	m3
I (mm/h)	118,7			
At (m2)	4.600	Vafl (t):	108,07	m3
t (h)	0,167			
f (mm/h)	36	Vinf:	1,80	m3
Cs	1			
Ae (m2)	300	h:	0,35	m

Tabla 17. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$).

c	0,95	Valm:	108,05	m3
I (mm/h)	118,7			
At (m2)	4.600	Vafl (t):	108,07	m3
t (h)	0,167			
f (mm/h)	0,36	Vinf:	0,02	m3
Cs	1			
Ae (m2)	300	h:	0,36	m

Tabla 18. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 0,36 \text{ mm/h}$).

c	0,95	Valm:	76,04	m3
I (mm/h)	169,0			
At (m2)	4.600	Vafl (t):	76,94	m3
t (h)	0,083			
f (mm/h)	36	Vinf:	0,90	m3
Cs	1			
Ae (m2)	300	h:	0,25	m

Tabla 19. Diseño para 5 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$).

c	0,95	Valm:	111,51	m3
I (mm/h)	118,7			
At (m2)	4.900	Vafl (t):	115,11	m3
t (h)	0,167			
f (mm/h)	36	Vinf:	3,60	m3
Cs	1			
Ae (m2)	600	h:	0,19	m

Tabla 20. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$) y ($A_e = 600 \text{ m}^2$).

c	0,95	Valm:	103,64	m3
I (mm/h)	118,7			
At (m2)	4.450	Vafl (t):	104,54	m3
t (h)	0,167			
f (mm/h)	36	Vinf:	0,90	m3
Cs	1			
Ae (m2)	150	h:	0,69	m

Tabla 21. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$) y ($A_e = 150 \text{ m}^2$).

c	0,95	Valm:	105,37	m3
I (mm/h)	118,7			
At (m2)	4.600	Vafl (t):	108,07	m3
t (h)	0,167			
f (mm/h)	36	Vinf:	2,70	m3
Cs	1,5			
Ae (m2)	300	h:	0,35	m

Tabla 22. Diseño para 10 minutos de duración y 5 años de período de retorno. ($f = 36 \text{ mm/h}$) y ($C_s = 1,5$).

c	0,95	Valm:	178,51	m3
I (mm/h)	196,1			
At (m2)	4.600	Vafl (t):	178,53	m3
t (h)	0,167			
f (mm/h)	0,36	Vinf:	0,02	m3
Cs	1			
Ae (m2)	300	h:	0,60	m

Tabla 23. Diseño para 10 minutos de duración y 100 años de período de retorno. ($f = 0,36 \text{ mm/h}$).

c	0,95	Valm:	126,24	m3
I (mm/h)	279,3			
At (m2)	4.600	Vafl (t):	127,14	m3
t (h)	0,083			
f (mm/h)	36	Vinf:	0,90	m3
Cs	1			
Ae (m2)	300	h:	0,42	m

Tabla 24. Diseño para 5 minutos de duración y 100 años de período de retorno. ($f = 0,36 \text{ mm/h}$).

4.4.2. ANÁLISIS RESULTADOS DE LA LAGUNA

Al terminar con el diseño de la laguna, se hicieron estudios, realizando el diseño con distintos datos (Intensidades, tiempos, períodos de retorno, tasa de infiltración, coeficiente de seguridad, área de la laguna) donde se observa lo siguiente:

- El volumen acumulado infiltrado (m^2), es menor, casi despreciable en comparación con el volumen afluente acumulado.
- La Intensidad de la lluvia (mm/h), va a variar con respecto a la duración y el período de retorno seleccionado. A menor duración de lluvia, y mayor período de retorno, la intensidad aumentará ($I = 293,1 \text{ mm/h}$, para $t = 5 \text{ min}$ y $Tr = 100 \text{ años}$), por lo contrario, a mayor duración de lluvia, y menor período de retorno, la intensidad va a disminuir ($I = 102,5 \text{ mm/h}$, para $t = 10 \text{ min}$ y $Tr = 2,33 \text{ años}$).
- El área total del aportante dependerá del área de la laguna, a mayor área de la laguna, mayor será el área del aportante.
- La tasa de infiltración para el tipo de suelo, tiene una gran variación ($36-0,36 \text{ mm/h}$), lo que hace que varíe el volumen de infiltración, pero como este valor es insignificante con respecto al volumen acumulado, la profundidad de la laguna será prácticamente la misma.
- Tanto el volumen de afluente como el volumen de infiltración, altera el área de la laguna de una manera directamente proporcional, es decir, a mayor volumen de agua, mayor será el área de laguna. A su vez, el área de la laguna va a variar la profundidad de la misma, pero esta variación es de manera indirectamente proporcional, es decir, a mayor área, menor profundidad, y viceversa, a menor área, mayor profundidad, todo depende de lo que pueda almacenar.
- El coeficiente de seguridad interviene en la formula, se podría decir que es insignificante con respecto al diseño de la laguna, ya que no se altera el resultado al variar su valor.
- Para todos los datos, la profundidad de la laguna nos da menor a 1 metro, siendo el máximo valor 0,69 (Tabla 21), por lo que, al momento de diseñar para un evento de período de retorno de 100 años, este no va a causar su destrucción, ya que cumple con la profundidad necesaria para colocarle el mínimo borde libre y llegar a 1,20 metros de profundidad.

- Al momento de calcular, para los valores de diseño ($I = 127,2 \text{ mm/h}$, para $t = 10 \text{ min}$, $Tr = 5 \text{ años}$, $A_e = 300 \text{ m}^2$), la profundidad será $h = 0,35 \text{ m}$, si a este valor le sumamos el borde libre que debe ser mínimo de $0,50 \text{ m}$, nos da una profundidad de laguna de $0,85 \text{ m}$, aproximadamente haremos la laguna de $1,2 \text{ m}$ de profundidad por medida de seguridad contra cualquier evento inesperado.

c	0,95	Valm:	106,26	m3
I (mm/h)	118,7			
At (m2)	4.600	Vafl (t):	108,06	m3
t (h)	0,167			
f (mm/h)	36	Vinf:	1,80	m3
Cs	1			
Ae (m2)	300	h:	0,35	m

Tabla 25. Valores con los que se diseñará la laguna.

4.5. ESTUDIO SUSTENTABLE

Uno de los objetivos primordial de este Trabajo de Grado es tomar las medidas necesarias para cumplir con los lineamientos de los sistemas de drenaje sostenible, y realizar el diseño sustentable de la laguna.

Uno de los pilares sobre los que se sustenta el drenaje urbano sostenible es el servicio ofrecido por estos sistemas. La economía del agua, la mejora paisajística, los usos comunitarios (esparcimiento de los estudiantes) y la conservación de la flora y la fauna de la zona.

En nuestro caso, se realizará una laguna de retención, el cual es un estanque artificial que posee agua de forma permanente, por lo que permite la proliferación de flora y fauna acuática. Su profundidad ha de estar comprendida entre $1,2$ y 2 m , en nuestro caso, la profundidad de diseño de la laguna será de $1,2 \text{ m}$, cumpliendo con el cálculo por el método del Gobierno de Chile y a su vez satisface los lineamientos de los SUDS.

El volumen de agua constante oculta bancos de sedimentos antiestéticos e incrementa el rendimiento en la calidad de agua. La característica fundamental que tienen los estanques de retención es su capacidad de eliminación de contaminantes, ya sea por sedimentación o por procesos de biodegradación llevados a cabo por las plantas y microorganismos que allí habitan. Se dimensionan para certificar largos períodos de retención de la escorrentía, de 2 a 3 semanas, ya que requieren de un caudal elevado.

La laguna a diseñarse va a cumplir la función de un humedal, las cuales son superficies amplias de agua construidas artificialmente, con poca profundidad y vegetación propia de pantanos

y zonas húmedas. Este sistema proporciona un mayor grado de filtración y eliminación de nutrientes gracias a la acción de la vegetación, ocupando una menor extensión que otros sistemas (EPA, 1999).

Dada la importancia que tiene la revegetación de los humedales, debe realizarse en lo posible con especies vegetales nativas para maximizar su rendimiento y su longevidad. Del mismo modo es importante asegurar un flujo base, incluso durante los periodos de sequía.

Los humedales pueden tener asociado un plan de vigilancia ambiental redactado por expertos que salvaguarde la vegetación y la fauna que albergan. Es fundamental destacar que en ningún caso los humedales naturales deben recibir aportaciones procedentes de escorrentía urbana, sólo los humedales artificiales están preparados para esta tarea (CIRIA C523, 2001)

4.6. UBICACIÓN LAGUNA

Como se había comentado antes, la ubicación de la laguna está planteada en el Jardín Central de la Universidad Católica Andrés Bello, específicamente frente al edificio de Aulas (módulo 1 y módulo 2), al lado de la Plaza Central de la UCAB, y frente a la biblioteca, tal y como se muestra en la siguiente figura, representada por una elipse color azul.

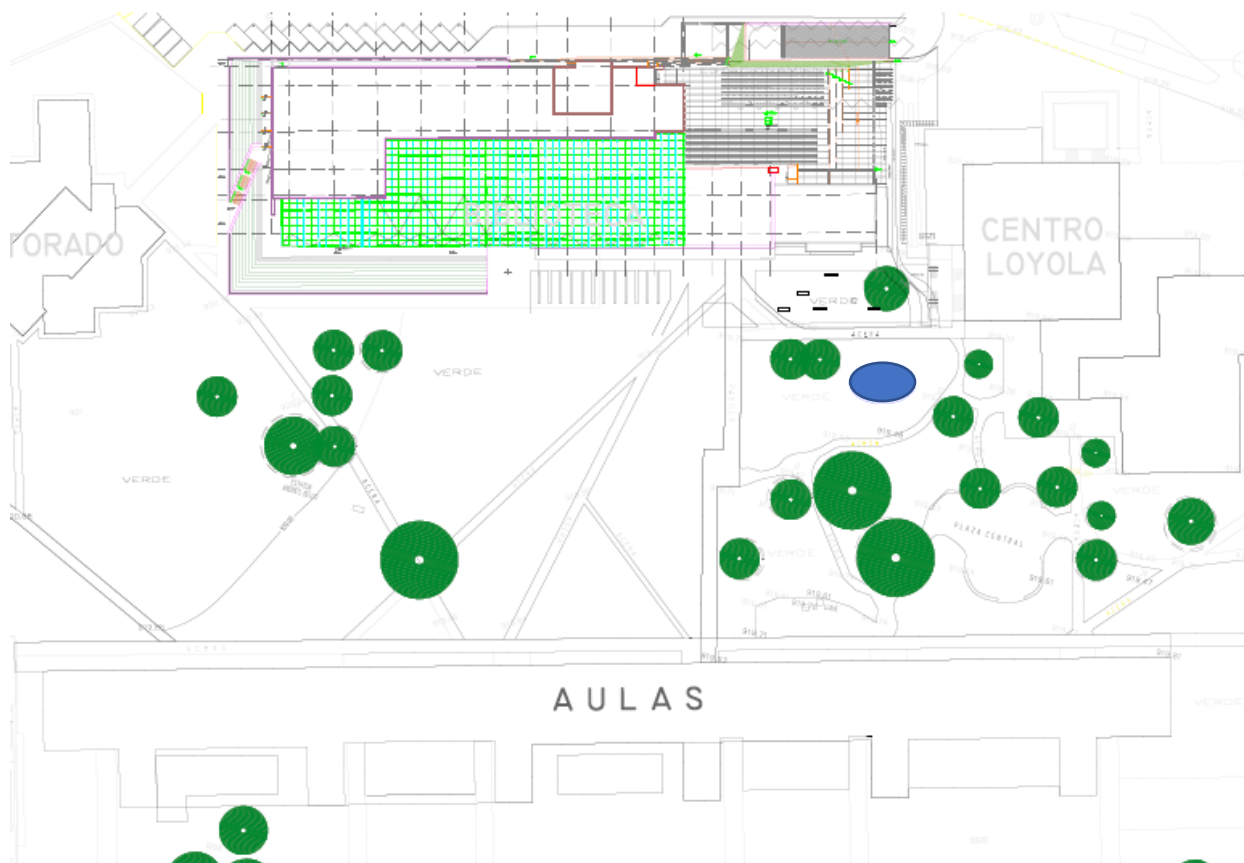


Figura 17. Ubicación de la laguna.

Se debe destacar que la laguna va a tener una forma elíptica, de un área aproximada de $A_e = 300 \text{ m}^2$, y está ubicada específicamente en un área verde cerca de la Plaza Central, diagonal al quiosco de Turpial, al lado de la caminería que va hacia el pasillo techado que va desde el edificio de Aulas hasta la biblioteca. La laguna será el área de la elíptica, tal como se calcula a continuación.

$$A_e = \pi * r_1 * r_2$$

$$A_e = \pi * 7,7 * 12,5$$

$$A_e = 302 \text{ m}^2 = 300 \text{ m}^2 \text{ aprox.}$$

En el anexo 16, se puede observar un zoom de la laguna ubicada en el área verde antes mencionada.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El capítulo descrito a continuación contiene las conclusiones del estudio realizado y las recomendaciones para futuros trabajos.

5.1. CONCLUSIONES

Mediante la realización de este Trabajo de Grado se logró identificar los distintos procedimientos para el diseño de una laguna ornamental aprovechando las aguas pluviales sobre el campus de la Universidad Católica Andrés Bello que puedan llegar por gravedad hasta ella, cumpliendo con el objetivo principal. A continuación, y como resultado de la investigación se presentan las siguientes conclusiones.

- El análisis apropiado de los estudios del suelo, determinó su composición, y las características de este, encontrando superficialmente un limo de baja plasticidad, que posee un coeficiente de conductividad hidráulica f que varía entre 36-0,36 mm/h . Cumpliendo con la condición esencial de que una laguna retenga agua y a su vez permita una cierta infiltración de ser posible, para así tomar las medidas necesarias para cumplir con los lineamientos de los SUDS.
- El estudio topográfico realizado delimitó la zona más favorable para el diseño y construcción de la laguna, escogiendo un área verde ($A = 300 m^2$), entre el jardín ($A = 8.875 m^2$) y la Plaza Central ($A = 3.410 m^2$). Por otra parte, para el área de captación del agua pluvial se escogió el techo de edificio de Aulas ($A = 4.300 m^2$).
- Debido a la alta impermeabilidad del techo, el coeficiente de escorrentía superficial utilizado es de $c = 0,95$, lo que quiere decir que la escorrentía es el 95% de la precipitación, lo cual trae como consecuencia el aumento del gasto al aplicar el Método Racional, y a su vez será mayor el volumen de almacenamiento de la laguna, ya que se podrá utilizar casi la totalidad del agua que precipita.
- Luego de investigar sobre las obras de drenaje, existentes en la universidad, se logró identificar el bajante de agua en el techo del edificio de Aulas, el cual transportará el agua hasta una tanquilla que se encuentra posterior al edificio, y luego a través de tuberías subterráneas se podrá abastecer la laguna por el fondo de esta, para su fácil llenado.
- Una vez realizado los estudios hidrológicos pertinentes, se obtuvo las láminas (mm) de lluvias e intensidades (mm/h) necesarias para distintos períodos de retornos y las diferentes estaciones pluviométricas, además se logró evaluar la cantidad de agua pluvial

(gasto) necesaria para abastecer la laguna todo el año, dotando sin problema el agua para que esta permanezca siempre llena.

- Al terminar los estudios hidrológicos detallados sobre las distintas estaciones meteorológicas (Observatorio Cajigal, La Rinconada, Hacienda Mamera, Hacienda Montalbán), se comprobó la hipótesis de realizar el diseño de la laguna con la estación Observatorio Cajigal, ya que es la que tiene la mayor cantidad de datos, y registros más concisos que hacen que el diseño propuesto sea más exacto.
- Implementar un sistema de drenaje sostenible no significa que se deban eliminar los ya existentes, por el contrario, se debe realizar mantenimiento a estos últimos y corregir las fallas que presenta, con la finalidad de resolver la problemática existente en la casa de estudio (UCAB), en cuanto a las inundaciones de los jardines por las altas precipitaciones, que a su vez esa agua es retenida por el pasillo frente al edificio de Aulas.
- Al momento de analizar el sistema de drenaje del edificio de Aulas, y el sistema abastecimiento de la laguna, se pudo observar que la ubicación de la laguna planteada en un principio es lejana referente al colector de aguas, lo que hace que se complique todo el proceso de llenado de la laguna.
- Luego de realizar todos los estudios acordes con el anteproyecto de este trabajo, el análisis de la topografía, el estudio hidrológico y el funcionamiento de los sistemas de drenajes existentes en la universidad, permitieron determinar el sistema de drenaje sostenible que se puede utilizar en esta, logrando el diseño de la laguna ornamental para así animar la sustentabilidad ambiental dentro de la UCAB, y así cumplir con todos los objetivos previstos, fomentando la construcción verde, ayudando al medio ambiente, y creando una recreación visual para los estudiantes de la Universidad Católica Andrés Bello. Este sistema permitirá disminuir la lámina de escorrentía superficial de la zona de estudio, con el fin de evitar inundaciones y mejorar la calidad de vida de los estudiantes.

5.2. RECOMENDACIONES

Una vez terminada esta investigación, el autor de este trabajo se permite recomendar:

- Es necesario realizar estudios detallados de topografía y de suelos, entre otros, con fin de tener mayor información para el planteamiento del proyecto de ingeniería de detalle, en caso de plantearse la ejecución de la laguna propuesta.

- Es necesario tener alguna medición en sitio (UCAB), para estimar de manera más exacta el porcentaje de garantía de la fuente pluvial. Por este motivo, la colocación de una estación hidrológica dentro del campus universitario podría ayudar a mejorar la data existente de las distintas variables hidrológicas.
- Si efectivamente se logra el aprovechamiento del agua pluvial en el techo del edificio de Aulas, se podría considerar los techos de otros edificios (Biblioteca, Centro Loyola, edificio de Laboratorios, edificio Cincuentenario, etc.), para aprovechar la fuente pluvial y reutilizar esa agua ya sea para abastecer esa laguna, otras lagunas, o con otro fin.
- Insistir en investigaciones de este tipo, haciendo también referencia a técnicas que mejoren la calidad de las aguas, no solo evaluando aspectos hidráulicos que den como resultado la mejora de la sustentabilidad del drenaje.
- Este tipo de estudio se puede continuar o realizar cambiando la metodología utilizada, hallando de otra forma las láminas e intensidades de lluvia, o simplemente utilizando otro método para el diseño de la laguna. Actualmente existen programación de computación que te hacen todo el diseño y solo se le debe meter algunos datos o información.
- Realizar estudios de la calidad del agua pluvial, para en un futuro reutilizar esa agua en otras funciones, como lo puede ser el riego de los jardines de la universidad o canchas deportivas.
- Se recomienda la introducción de una electiva o materia de Sustentabilidad aplicada a la ingeniería civil en el pensum académico de esta carrera, animando a los estudiantes y profesores a establecer una relación entre las distintas áreas de conocimiento que se imparten en la escuela y la sustentabilidad.
- Debido a la distancia entre el colector y la ubicación de la laguna, se recomienda cambiar la ubicación de la laguna, para un sitio más cercano (jardín entre el edificio de Aulas y edificio de Laboratorios), o cambiar el sitio de captación de agua pluvial por otros edificio mas cercanos (Centro Loyola o antigua biblioteca).
- Seguir fomentando la realización y desarrollo de Trabajos de Grado en el área de sustentabilidad, drenajes sustentables, techos verdes, paneles solares, sistemas de aguas grises, aprovechamiento de la fuente pluvial, como lo han venido haciendo los últimos años la dirección de sustentabilidad ambiental en conjunto con la escuela de ingeniería civil e ingeniería industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELLÁN, A. (2013) – Drenaje Urbano Sostenible. Obtenido el 19 de febrero de 2.015 en: <http://drenajurbanosostenible.org/ventajas-e-inconvenientes/>.
- ACEVEDO, L. (2004) – Metodología de la Investigación. México: Trillas.
- ANDRADE, Marina (2016) – Análisis y diseño de un modelo de drenaje urbano sostenible. Caso: Barrio Piritu, Municipio Sucre, estado Miranda (Tesis de grado). UNIMET.
- ARIAS, F. (2006) – El Proyecto de Investigación. Caracas: Editorial Epísteme.
- AROCHA, S. (1979) – Abastecimientos de agua teoría y diseño. Caracas: Vega s.r.l.
- BAUTISTA, M. (2007) – Manual de Metodología de la Investigación. Caracas: Editorial Latitip.
- BOLINAGA, Juan (1979) – Drenaje urbano. Caracas. Instituto Nacional de Obras Sanitarias,
- BOLINAGA, Juan (1999) – Proyectos de Ingeniería Hidráulica. Caracas: Fundación Polar.
- BURKHARD, R., A., DELETIC, A., & CRAIG, A. (2000) – Techniques for water and wastewater management: a review of techniques and their integration in planning.
- CALVENTE, A.M. (2005) – El concepto moderno de sustentabilidad. Obtenido el 14 de abril de 2015 en: <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/uais-sds-100-002%20-%20sustentabilidad.pdf>.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. (2000) – Hidrología Aplicada. Colombia: Mc Graw -Hill.
- CIRIA. (1999) – Sustainable Urban Drainage Systems: Design Manual for Scotland and Northern Ireland. Londres.
- DE PINHO, Katherine & GONZALEZ, Williana (2015) – Factibilidad para el desarrollo de drenajes sustentables en el campus de la Universidad Católica Andrés Bello (Tesis de grado). UCAB.
- ENVIRONMENT AGENCY. (2001) – Sustainable Drainage Systems (SUDS). A guide for developers. Obtenido el 25 de abril de 2015 en: http://www.rtpi.org.uk/media/12399/suds_a5_booklet_final_080408.pdf.
- EPA. (1999) – Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices. Obtenido el 3 de abril de 2015 en: http://water.epa.gov/scitech/wastetech/guide/stormwater/upload/2006_10_31_guide_storm_water_usw_a.pdf.

- FRANCESCHI, Luis (1984) – Drenaje Vial (Fundación Juan José Aguerrevere. CIV).
- GABALDÓN, A.J. (2011) – Desarrollo Sustentable. La Salida para América Latina. Caracas.
- GACETA OFICIAL No. 4.044 DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA (1988).
- GARRIDO & VASQUEZ (2015) – Factibilidad del aprovechamiento de aguas pluviales en la Universidad Católica Andrés Bello, sede Montalbán (Tesis de grado). UCAB.
- GONZALEZ, Ninoska & MIRABETTY, Jesús (2015) – Caracterización hidrológica, hidráulica y sanitaria de una cuenca, caso quebrada Chacaíto del municipio Chacao, Estado Miranda. (Tesis de grado). UCAB.
- HERRERA, L. A. (20 de enero de 2010) – Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. México, Distrito Federal, México.
- MARTELO, María Teresa (2016) – El cambio climático global y sus posibles efectos en Venezuela. En “Agua en Venezuela: una riqueza escasa. (Fundación Empresas Polar).
- MCGHEE, T. (2007) – Water Supply and Sewerage. Texas, Estados unidos: McGraw Hill.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. (2005) – Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas de lluvias. Chile. Obtenido el 10 de mayo de 2015 en: http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20090529093818&hdd_nom_archivo=Guia%20%20final.pdf.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. (1996) – Guía técnicas alternativas para soluciones de agua de lluvia en sectores urbanos. Guía de Diseño. Santiago de Chile: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.
- NACIONES UNIDAS (2015) – Objetivos del milenio (www.un.org.millenniumgoals)
- NACIONES UNIDAS (1987) – Nuestro futuro común
- NACIONES UNIDAS (2015) - Directrices Internacionales sobre planificación urbana y territorial (www.unhabitat.org)
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (2004) – Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Washington.
- OCHOA ITURBE, José & PARKINSON, JONATHAN (2010) – Integrated Urban Water Management: Humid Tropics. Cap. 8. Education and Capacity Building. UNESCO.IHP
- OCHOA ITURBE, José (2011) – Solids in Urban Drainage (www.revistanegotium.org.ve)
- OCHOA ITURBE, José (2017) – El drenaje y su importancia para una ciudad sustentable

-
- PALACIOS RUIZ, Álvaro. (2011) – Acueducto, Cloacas y Drenajes. Segunda Edición. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil.
- PERALES, M.S. (2008) – Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Obtenido el 28 de febrero de 2015 en: <http://www.zaragoza.mobi/contenidos/medioambiente/cajaAzul/33S8-P3-Sara%20PeralesACC.pdf>.
- PETRI S. Juuti, T. S. (.007) – Environmental history of water: global views on community water supply and sanitation. IWA publishing.
- REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1988) - Normas Sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones. Caracas, Venezuela.
- REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1995) - Gaceta Oficial Extraordinaria 5.021. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1995) - Gaceta Oficial 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (2001) - Ley Orgánica para La Prestación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (2006) – Ley de aguas. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (2009) – Gaceta Oficial No. 39.095. Ley de gestión integral de riesgos socio naturales y tecnológicos. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- SANCHIS, J. A., & ZUBILLAGA, J. A. (2005) – ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO - SEDE MONTALBÁN. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- SCOTISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- Sustainable Urban Drainage Systems (Recuperado de www.SEPA.org.uk)
- SHEAFFER, WRIGHT, TAGGART & WRIGHT (1982) – Urban Storm drainage Management
- UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO. (julio de 2011) – Sitio oficial de la institución. Obtenido de <http://w2.ucab.edu.ve/acerca-del-plan-estrategico.html>
- USGS. (2005) – USGS Science for a changing world. Obtenido de <http://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>.

ANEXOS

DATOS	AÑOS	LÁMINAS (mm)				
		5	10	15	30	60
1	1938	9,2	13,0	15,8	22,2	30,0
2	1939	5,9	8,2	10,0	14,1	19,0
3	1940	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0
4	1941	11,7	16,4	20,1	28,2	38,0
5	1942	14,8	20,8	25,3	35,6	48,0
6	1943	12,9	18,2	22,2	31,1	42,0
7	1944	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0
8	1945	11,4	16,0	19,5	27,4	37,0
9	1946	12,3	17,3	21,1	29,6	40,0
10	1947	6,8	9,5	11,6	16,3	22,0
11	1948	9,2	13,0	15,8	22,2	30,0
12	1949	11,1	15,6	19,0	26,7	36,0
13	1950	14,8	20,8	25,3	35,6	48,0
14	1951	8,9	12,5	15,3	21,5	29,0
15	1952	11,1	15,6	19,0	26,7	36,0
16	1953	15,4	21,6	26,4	37,1	50,0
17	1954	12,9	18,2	22,2	31,1	42,0
18	1955	11,1	15,6	19,0	26,7	36,0
19	1956	6,2	8,7	10,6	14,8	20,0
20	1957	7,4	10,4	12,7	17,8	24,0
21	1958	12,0	16,9	20,6	28,9	39,0
22	1959	10,8	15,1	18,5	25,9	35,0
23	1960	16,0	22,5	27,4	38,5	52,0
24	1961	8,9	12,5	15,3	21,5	29,0
25	1962	6,8	9,5	11,6	16,3	22,0
26	1963	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0
27	1964	13,6	19,0	23,2	32,6	44,0
28	1965	8,3	11,7	14,2	20,0	27,0
29	1966	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0
30	1967	14,5	20,3	24,8	34,8	47,0
31	1968	10,2	14,3	17,4	24,5	33,0
32	1969	8,3	11,7	14,2	20,0	27,0
33	1970	15,4	21,6	26,4	37,1	50,0
34	1971	10,5	14,7	17,9	25,2	34,0
35	1972	23,4	32,9	40,1	56,3	76,0
36	1973	9,5	13,4	16,4	23,0	31,0
37	1974	16,6	23,4	28,5	40,0	54,0
38	1975	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0
39	1976	10,2	14,3	17,4	24,5	33,0
40	1977	12,6	17,7	21,6	30,4	41,0

Anexo 1. Tabla de láminas de lluvia obtenidas por factor de reducción para la estación
Observatorio Cajigal.

DATOS	AÑOS	LÁMINAS (mm)		
		5	10	60
1	1968	11,4	16,0	37,0
2	1969	7,4	10,4	24,0
3	1970	7,7	10,8	25,0
4	1971	10,5	14,7	34,0
5	1972	9,9	13,8	32,0
6	1973	9,2	13,0	30,0
7	1974	10,2	14,3	33,0
8	1975	13,6	19,0	44,0
9	1976	13,9	19,5	45,0
10	1977	6,2	8,7	20,0
11	1978	8,9	12,5	29,0
12	1979	6,8	9,5	22,0
13	1980	14,5	20,3	47,0

Anexo 2. Tabla de láminas de lluvia obtenidas por factor de reducción para la estación Hacienda Mamera.

DATOS	AÑOS	LÁMINAS (mm)			
		5	10	15	60
1	1974	-	-	-	-
2	1975	8,9	12,5	15,3	29,0
3	1976	-	-	-	-
4	1977	11,1	15,6	19,0	36,0
5	1978	21,6	30,3	36,9	70,0
6	1979	10,5	14,7	17,9	34,0
7	1980	10,5	14,7	17,9	34,0
8	1981	12,3	17,3	21,1	40,0
9	1982	6,2	8,7	10,6	20,0
10	1983	8,6	12,1	14,8	28,0

Anexo 3. Tabla de láminas de lluvia obtenidas por factor de reducción para la estación Hacienda Montalbán.

TABLA 6-5 - DISTRIBUCION DE GUMBEL - VALORES DE Y_n Y S_n

$n^{(*)}$	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n	n	Y_n	S_n
10	0,4967	0,9573	35	0,5403	1,1285	60	0,5521	1,1747	85	0,5578	1,1973
11	0,5008	0,9735	36	0,5410	1,1313	61	0,5524	1,1759	86	0,5580	1,1980
12	0,5043	0,9870	37	0,5418	1,1339	62	0,5527	1,1770	87	0,5581	1,1987
13	0,5075	0,9994	38	0,5424	1,1363	63	0,5530	1,1782	88	0,5583	1,1994
14	0,5103	1,0105	39	0,5430	1,1388	64	0,5533	1,1793	89	0,5585	1,2001
15	0,5128	1,0206	40	0,5436	1,1413	65	0,5535	1,1803	90	0,5586	1,2007
16	0,5152	1,0303	41	0,5442	1,1436	66	0,5538	1,1814	91	0,5587	1,2013
17	0,5175	1,0392	42	0,5448	1,1458	67	0,5540	1,1824	92	0,5589	1,2020
18	0,5196	1,0475	43	0,5453	1,1480	68	0,5543	1,1834	93	0,5591	1,2026
19	0,5214	1,0553	44	0,5458	1,1499	69	0,5545	1,1844	94	0,5592	1,2032
20	0,5236	1,0628	45	0,5463	1,1519	70	0,5548	1,1854	95	0,5593	1,2038
21	0,5252	1,0696	46	0,5468	1,1538	71	0,5550	1,1865	96	0,5595	1,2044
22	0,5268	1,0754	47	0,5473	1,1557	72	0,5552	1,1873	97	0,5596	1,2049
23	0,5283	1,0811	48	0,5477	1,1574	73	0,5555	1,1881	98	0,5598	1,2055
24	0,5296	1,0864	49	0,5481	1,1590	74	0,5557	1,1890	99	0,5599	1,2060
25	0,5309	1,0915	50	0,5485	1,1607	75	0,5559	1,1895	(*) n, LONGITUD DE PERIODO EN AÑOS		
26	0,5320	1,0961	51	0,5489	1,1623	76	0,5561	1,1908			
27	0,5332	1,1004	52	0,5493	1,1638	77	0,5563	1,1915			
28	0,5343	1,1047	53	0,5497	1,1658	78	0,5565	1,1923			
29	0,5353	1,1086	54	0,5501	1,1667	79	0,5567	1,1930			
30	0,5362	1,1124	55	0,5504	1,1681	80	0,5569	1,1938			
31	0,5371	1,1159	56	0,5508	1,1696	81	0,5570	1,1945			
32	0,5380	1,1193	57	0,5511	1,1708	82	0,5572	1,1953			
33	0,5388	1,1226	58	0,5515	1,1721	83	0,5574	1,1960			
34	0,5396	1,1255	59	0,5518	1,1734	84	0,5576	1,1967			

Anexo 4. Tabla de valores de Y_n y S_n para la Distribución de Gumbel.

ESTACIÓN: CARACAS - OBSERVATORIO CAJIGAL
LATITUD: 103025
LONGITUD: 665539
ALTITUD: 1035 msnm

ESTADO: D.C.
SERIAL: 531
INSTALADA: 1/1/1891
ELIMINADA: 1/1/1984

LLUVIAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES DURACIONES DE TIEMPO (min)

AÑO	LÁMINAS (mm)									
	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
1938	9,2	13,0	15,8	22,2	30,0	36,0	45,0	45,0	45,0	45,0
1939	5,9	8,2	10,0	14,1	19,0	26,0	26,0	35,0	35,0	35,0
1940	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0
1941	11,7	16,4	20,1	28,2	38,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0
1942	14,8	20,8	25,3	35,6	48,0	60,0	64,0	65,0	71,0	82,0
1943	12,9	18,2	22,2	31,1	42,0	55,0	82,0	84,0	84,0	84,0
1944	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0	65,0	70,0	70,0	70,0	84,0
1945	11,4	16,0	19,5	27,4	37,0	38,0	39,0	39,0	43,0	45,0
1946	12,3	17,3	21,1	29,6	40,0	41,0	42,0	42,0	42,0	53,0
1947	6,8	9,5	11,6	16,3	22,0	30,0	36,0	38,0	38,0	44,0
1948	9,2	13,0	15,8	22,2	30,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0
1949	11,1	15,6	19,0	26,7	36,0	49,0	49,0	49,0	49,0	50,0
1950	14,8	20,8	25,3	35,6	48,0	51,0	51,0	51,0	51,0	53,0
1951	8,9	12,5	15,3	21,5	29,0	37,0	37,0	38,0	47,0	74,0
1952	11,1	15,6	19,0	26,7	36,0	43,0	43,0	43,0	43,0	78,0
1953	15,4	21,6	26,4	37,1	50,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0
1954	12,9	18,2	22,2	31,1	42,0	47,0	58,0	58,0	58,0	59,0
1955	11,1	15,6	19,0	26,7	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0
1956	6,2	8,7	10,6	14,8	20,0	29,0	36,0	38,0	44,0	44,0
1957	7,4	10,4	12,7	17,8	24,0	27,0	28,0	28,0	33,0	36,0
1958	12,0	16,9	20,6	28,9	39,0	56,0	61,0	61,0	61,0	84,0
1959	10,8	15,1	18,5	25,9	35,0	38,0	40,0	40,0	40,0	44,0
1960	16,0	22,5	27,4	38,5	52,0	58,0	58,0	58,0	58,0	66,0
1961	8,9	12,5	15,3	21,5	29,0	43,0	46,0	46,0	46,0	48,0
1962	6,8	9,5	11,6	16,3	22,0	22,0	23,0	31,0	33,0	43,0
1963	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0	35,0	35,0	35,0	35,0	55,0
1964	13,6	19,0	23,2	32,6	44,0	45,0	45,0	51,0	53,0	61,0
1965	8,3	11,7	14,2	20,0	27,0	37,0	59,0	71,0	73,0	87,0
1966	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0	42,0	51,0	52,0	57,0	71,0
1967	14,5	20,3	24,8	34,8	47,0	48,0	49,0	49,0	49,0	49,0
1968	10,2	14,3	17,4	24,5	33,0	39,0	39,0	42,0	48,0	48,0
1969	8,3	11,7	14,2	20,0	27,0	39,0	41,0	41,0	41,0	45,0
1970	15,4	21,6	26,4	37,1	50,0	54,0	54,0	54,0	66,0	67,0
1971	10,5	14,7	17,9	25,2	34,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
1972	23,4	32,9	40,1	56,3	76,0	85,0	98,0	98,0	98,0	100,0
1973	9,5	13,4	16,4	23,0	31,0	34,0	34,0	34,0	34,0	43,0
1974	16,6	23,4	28,5	40,0	54,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0
1975	9,9	13,8	16,9	23,7	32,0	49,0	53,0	54,0	54,0	55,0
1976	10,2	14,3	17,4	24,5	33,0	35,0	41,0	65,0	70,0	71,0
1977	12,6	17,7	21,6	30,4	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0
REGISTROS	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
MEDIA	11,3	15,8	19,3	27,1	36,5	43,9	47,4	49,2	50,8	56,6
DESVIACIÓN	3,4	4,8	5,8	8,1	11,0	12,1	14,5	14,5	14,6	16,9
Yn	0,5436	0,5436	0,5436	0,5436	0,5436	0,5436	0,5436	0,5436	0,5436	0,5436
Sn	1,1413	1,1413	1,1413	1,1413	1,1413	1,1413	1,1413	1,1413	1,1413	1,1413
LÁMINAS (mm)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	11,4	15,9	19,5	27,3	36,9	44,2	47,8	49,6	51,2	57,1
5	14,1	19,8	24,1	33,9	45,7	54,0	59,5	61,3	63,0	70,7
10	16,3	22,9	27,9	39,2	52,9	61,9	69,1	70,9	72,7	81,8
25	19,1	26,9	32,8	46,0	62,1	71,9	81,2	82,9	84,8	95,8
50	21,2	29,8	36,3	51,0	68,8	79,4	90,1	91,9	93,8	106,2
100	23,3	32,7	39,9	56,0	75,6	86,8	99,0	100,8	102,8	116,5

INTENSIDADES (mm/h)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	136,3	95,7	77,8	54,6	36,9	14,7	8,0	5,5	4,3	2,4
5	169,0	118,7	96,5	67,8	45,7	18,0	9,9	6,8	5,3	2,9
10	195,7	137,4	111,8	78,5	52,9	20,6	11,5	7,9	6,1	3,4
25	229,4	161,1	131,0	92,0	62,1	24,0	13,5	9,2	7,1	4,0
50	254,5	178,7	145,3	102,0	68,8	26,5	15,0	10,2	7,8	4,4
100	279,3	196,1	159,5	112,0	75,6	28,9	16,5	11,2	8,6	4,9
Y										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859
5	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994
10	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037
25	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853
50	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194
100	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015
K										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	0,03066	0,03066	0,03066	0,03066	0,03066	0,03066	0,03066	0,03066	0,03066	0,03066
5	0,83794	0,83794	0,83794	0,83794	0,83794	0,83794	0,83794	0,83794	0,83794	0,83794
10	1,49546	1,49546	1,49546	1,49546	1,49546	1,49546	1,49546	1,49546	1,49546	1,49546
25	2,32624	2,32624	2,32624	2,32624	2,32624	2,32624	2,32624	2,32624	2,32624	2,32624
50	2,94256	2,94256	2,94256	2,94256	2,94256	2,94256	2,94256	2,94256	2,94256	2,94256
100	3,55432	3,55432	3,55432	3,55432	3,55432	3,55432	3,55432	3,55432	3,55432	3,55432

Anexo 5. Análisis de lluvias máximas, estación Observatorio Cajigal.

ESTACIÓN: CARACAS - LA RINCONADA
LATITUD: 102611
LONGITUD: 6657
ALTITUD: 936 msnm

ESTADO: D.C.
SERIAL: 537
INSTALADA: 1/1/1965
ELIMINADA: 1/1/1984

LLUVIAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES DURACIONES DE TIEMPO (min)

AÑO	LÁMINAS (mm)									
	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
1966	-	-	-	-	41,0	42,0	42,0	42,0	50,0	57,0
1967	9,9	15,5	19,5	24,2	29,0	33,0	33,0	33,0	33,0	41,0
1968	12,6	19,0	24,8	32,9	35,0	48,0	48,0	48,0	48,0	61,0
1969	10,2	14,5	18,2	25,9	39,0	43,0	45,0	45,0	49,0	65,0
1970	8,9	12,5	16,9	22,6	23,0	26,0	31,0	32,0	33,0	51,0
1971	9,6	17,7	21,7	27,2	34,0	48,0	58,0	59,0	59,0	59,0
1972	9,8	16,9	18,6	28,3	38,0	54,0	59,0	60,0	60,0	65,0
1973	7,9	15,4	21,5	34,3	40,0	49,0	49,0	49,0	49,0	61,0
1974	7,3	13,8	14,8	20	25,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
1975	12,3	24,8	26,4	36,3	37,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0
1976	10,2	19,4	29,1	43,4	55,0	62,0	64,0	64,0	64,0	98,0
1977	9,7	13,1	14,1	20,2	25,0	35,0	38,0	38,0	40,0	41,0
1978	6,4	11,0	15,0	21,5	23,0	31,0	31,0	31,0	32,0	40,0
1979	5,2	7,8	14,1	19,6	44,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
1980	-	-	10,6	15,1	28,0	31,0	33,0	33,0	33,0	38,0
1981	-	-	15,8	27,4	29,0	65,0	77,0	80,0	80,0	80,0
1982	-	-	9,9	19,7	29,0	32,0	32,0	33,0	33,0	50,0
1983	-	-	-	-	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0	26,0

REGISTROS	13	13	16	16	18	18	18	18	18	18
MEDIA	9,2	15,5	18,2	26,2	33,1	42,2	44,4	44,8	45,7	53,9
DESVIACIÓN	2,1	4,3	5,4	7,5	8,8	13,2	15,0	15,4	15,3	17,9
Yn	0,5075	0,5075	0,5152	0,5152	0,5159	0,5159	0,5159	0,5159	0,5159	0,5159
Sn	0,9994	0,9994	1,0303	1,0303	1,0475	1,0475	1,0475	1,0475	1,0475	1,0475
LÁMINAS (mm)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	9,4	15,8	18,5	26,6	33,6	43,0	45,3	45,8	46,6	55,0
5	11,3	19,7	23,4	33,3	41,4	54,6	58,5	59,3	60,1	70,7
10	12,9	22,9	27,4	38,7	47,7	64,0	69,2	70,3	71,0	83,5
25	14,9	27,0	32,4	45,6	55,7	76,0	82,7	84,2	84,8	99,7
50	16,4	30,0	36,1	50,7	61,6	84,9	92,8	94,5	95,1	111,7
100	17,9	33,0	39,8	55,8	67,5	93,7	102,8	104,7	105,2	123,6
INTENSIDADES (mm/h)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	112,6	94,8	74,1	53,2	33,6	14,3	7,6	5,1	3,9	2,3
5	136,0	118,4	93,6	66,6	41,4	18,2	9,7	6,6	5,0	2,9
10	155,0	137,6	109,4	77,5	47,7	21,3	11,5	7,8	5,9	3,5
25	179,1	162,0	129,4	91,3	55,7	25,3	13,8	9,4	7,1	4,2
50	196,9	180,0	144,3	101,5	61,6	28,3	15,5	10,5	7,9	4,7
100	214,7	197,9	159,0	111,6	67,5	31,2	17,1	11,6	8,8	5,1
Y										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859
5	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994
10	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037
25	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853
50	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194
100	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015
K										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	0,07113	0,07113	0,06152	0,06152	0,05985	0,05985	0,05985	0,05985	0,05985	0,05985
5	0,99304	0,99304	0,95578	0,95578	0,93942	0,93942	0,93942	0,93942	0,93942	0,93942
10	1,74391	1,74391	1,68414	1,68414	1,65582	1,65582	1,65582	1,65582	1,65582	1,65582
25	2,69265	2,69265	2,60442	2,60442	2,56099	2,56099	2,56099	2,56099	2,56099	2,56099
50	3,39648	3,39648	3,28714	3,28714	3,23250	3,23250	3,23250	3,23250	3,23250	3,23250
100	4,09511	4,09511	3,96482	3,96482	3,89904	3,89904	3,89904	3,89904	3,89904	3,89904

Anexo 6. Análisis de lluvias máximas, estación La Rinconada.

ESTACIÓN: CARACAS - HACIENDA MAMERA
LATITUD:
LONGITUD:
ALTITUD:

ESTADO: D.C.
SERIAL: 625
INSTALADA:
ELIMINADA:

LLUVIAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES DURACIONES DE TIEMPO (min)

AÑO	LÁMINAS (mm)									
	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
1968	11,4	16,0	25,2	32,1	37,0	42,0	42,0	44,0	44,0	58,0
1969	7,4	10,4	10,9	16,1	24,0	25,0	25,0	26,0	26,0	38,0
1970	7,7	10,8	16,2	23,2	25,0	2,0	27,0	27,0	27,0	39,0
1971	10,5	14,7	19,8	24,8	34,0	38,0	43,0	43,0	43,0	46,0
1972	9,9	13,8	16,1	22,6	32,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0

1973	9,2	13,0	20,1	29,2	30,0	30,0	30,0	31,0	37,0	43,0
1974	10,2	14,3	16,8	22,5	33,0	42,0	44,0	44,0	44,0	45,0
1975	13,6	19,0	21,1	37,9	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	49,0
1976	13,9	19,5	19,2	25,6	45,0	54,0	54,0	54,0	54,0	61,0
1977	6,2	8,7	13,8	15,0	20,0	30,0	32,0	32,0	33,0	35,0
1978	8,9	12,5	15,4	24,2	29,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
1979	6,8	9,5	13,5	18,0	22,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
1980	14,5	20,3	23,3	37,2	47,0	92,0	92,0	93,0	93,0	93,0
REGISTROS	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
MEDIA	10,0	14,0	17,8	25,3	32,5	39,9	42,5	42,9	43,5	48,2
DESVIACIÓN	2,7	3,8	4,1	7,2	8,8	20,5	17,5	17,6	17,3	16,2
Yn	0,5075	0,5075	0,5075	0,5075	0,5075	0,5075	0,5075	0,5075	0,5075	0,5075
Sn	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994
LÁMINAS (mm)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	10,2	14,3	18,1	25,8	33,1	41,4	43,8	44,2	44,7	49,4
5	12,7	17,8	21,9	32,4	41,2	60,3	59,9	60,4	60,6	64,3
10	14,7	20,7	24,9	37,9	47,9	75,7	73,1	73,6	73,6	76,4
25	17,3	24,3	28,8	44,7	56,2	95,2	89,7	90,3	90,0	91,7
50	19,2	27,0	31,7	49,8	62,4	109,6	102,0	102,7	102,2	103,1
100	21,1	29,7	34,6	54,9	68,6	124,0	114,2	115,0	114,3	114,4
INTENSIDADES (mm/h)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	122,3	85,9	72,4	51,6	33,1	13,8	7,3	4,9	3,7	2,1
5	152,4	107,0	87,5	64,9	41,2	20,1	10,0	6,7	5,1	2,7
10	176,9	124,2	99,8	75,7	47,9	25,2	12,2	8,2	6,1	3,2
25	207,9	146,0	115,3	89,4	56,2	31,7	14,9	10,0	7,5	3,8
50	230,8	162,1	126,9	99,6	62,4	36,5	17,0	11,4	8,5	4,3
100	253,6	178,1	138,3	109,7	68,6	41,3	19,0	12,8	9,5	4,8
Y										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859
5	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994
10	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037
25	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853
50	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194
100	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015
K										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	0,07113	0,07113	0,07113	0,07113	0,07113	0,07113	0,07113	0,07113	0,07113	0,07113
5	0,99304	0,99304	0,99304	0,99304	0,99304	0,99304	0,99304	0,99304	0,99304	0,99304
10	1,74391	1,74391	1,74391	1,74391	1,74391	1,74391	1,74391	1,74391	1,74391	1,74391
25	2,69265	2,69265	2,69265	2,69265	2,69265	2,69265	2,69265	2,69265	2,69265	2,69265
50	3,39648	3,39648	3,39648	3,39648	3,39648	3,39648	3,39648	3,39648	3,39648	3,39648
100	4,09511	4,09511	4,09511	4,09511	4,09511	4,09511	4,09511	4,09511	4,09511	4,09511

Anexo 7. Análisis de lluvias máximas, estación Hacienda Mamera.

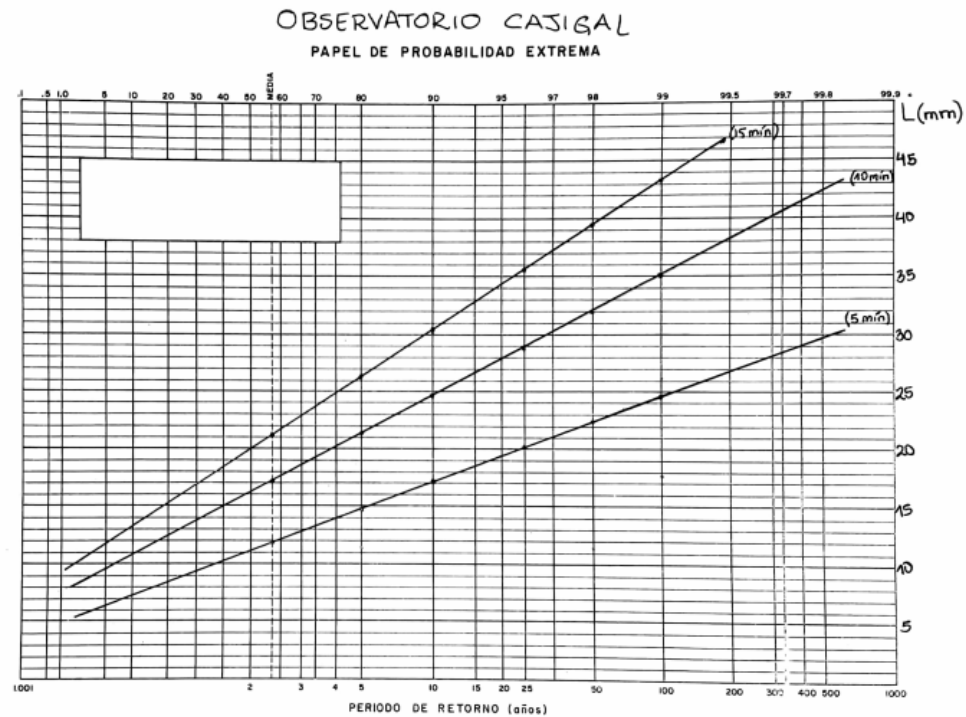
ESTACIÓN: CARACAS - HACIENDA MONTALBAN
LATITUD:
LONGITUD:
ALTITUD:

ESTADO: D.C.
SERIAL: 540
INSTALADA:
ELIMINADA:

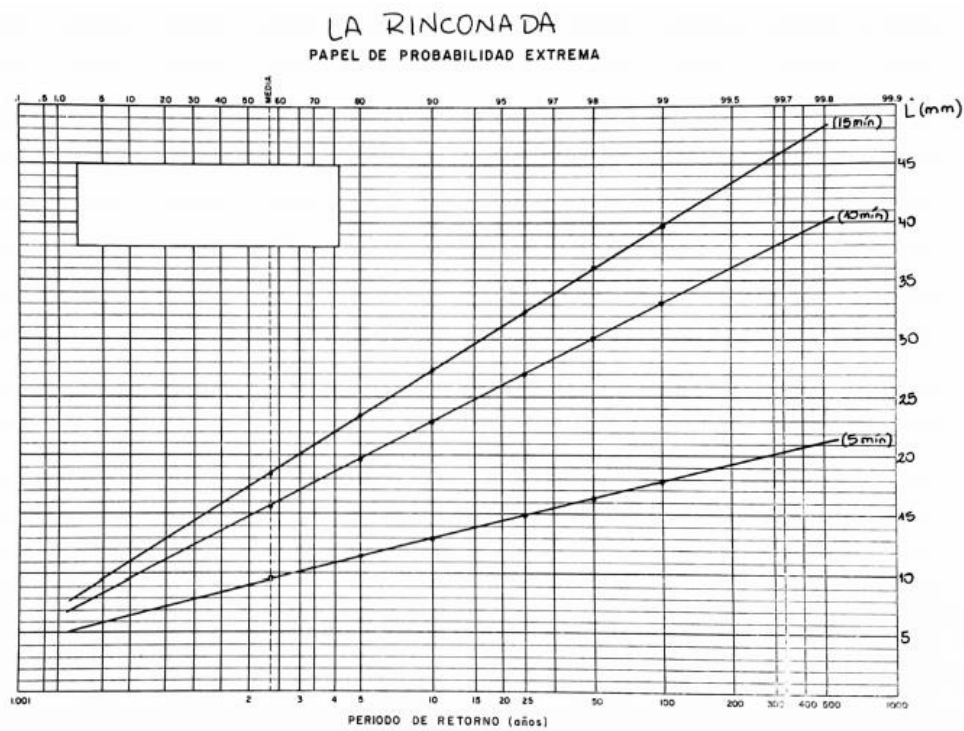
LLUVIAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES DURACIONES DE TIEMPO (min)

AÑO	LÁMINAS (mm)									
	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
1974	-	-	-	22,0	-	-	-	-	-	-
1975	8,9	12,5	15,3	19,6	29,0	40,0	40,0	40,0	40,0	51,0
1976	-	-	-	29,8	-	-	-	-	-	-
1977	11,1	15,6	19,0	26,8	36,0	61,0	61,0	65,0	68,0	73,0
1978	21,6	30,3	36,9	38,4	70,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
1979	10,5	14,7	17,9	33,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
1980	10,5	14,7	17,9	30,2	34,0	5,0	57,0	57,0	57,0	57,0
1981	12,3	17,3	21,1	29,8	40,0	47,0	56,0	58,0	58,0	58,0
1982	6,2	8,7	10,6	15,4	20,0	26,0	26,0	30,0	33,0	43,0
1983	8,6	12,1	14,8	23,0	28,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
REGISTROS	8	8	8	10	8	8	8	8	8	8
MEDIA	11,2	15,7	19,2	26,8	36,4	39,3	46,9	48,1	48,9	52,1
DESVIACIÓN	4,6	6,4	7,8	6,8	14,9	21,0	16,8	16,9	16,9	16,2
Yn	-	-	-	0,4967	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	0,9573	-	-	-	-	-	-
LÁMINAS (mm)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	-	-	-	27,4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	34,0	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	39,3	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	46,1	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	51,2	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	56,1	-	-	-	-	-	-
INTENSIDADES (mm/h)										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	-	-	-	54,8	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	67,9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	78,7	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	92,2	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	102,3	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	112,3	-	-	-	-	-	-
Y										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859	0,57859
5	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994	1,49994
10	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037	2,25037
25	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853	3,19853
50	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194	3,90194
100	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015	4,60015
K										
Tr (años)	5	10	15	30	60	180	360	540	720	1440
2,33	-	-	-	0,08554	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	1,04799	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	1,83189	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	2,82235	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	3,55713	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	4,28648	-	-	-	-	-	-

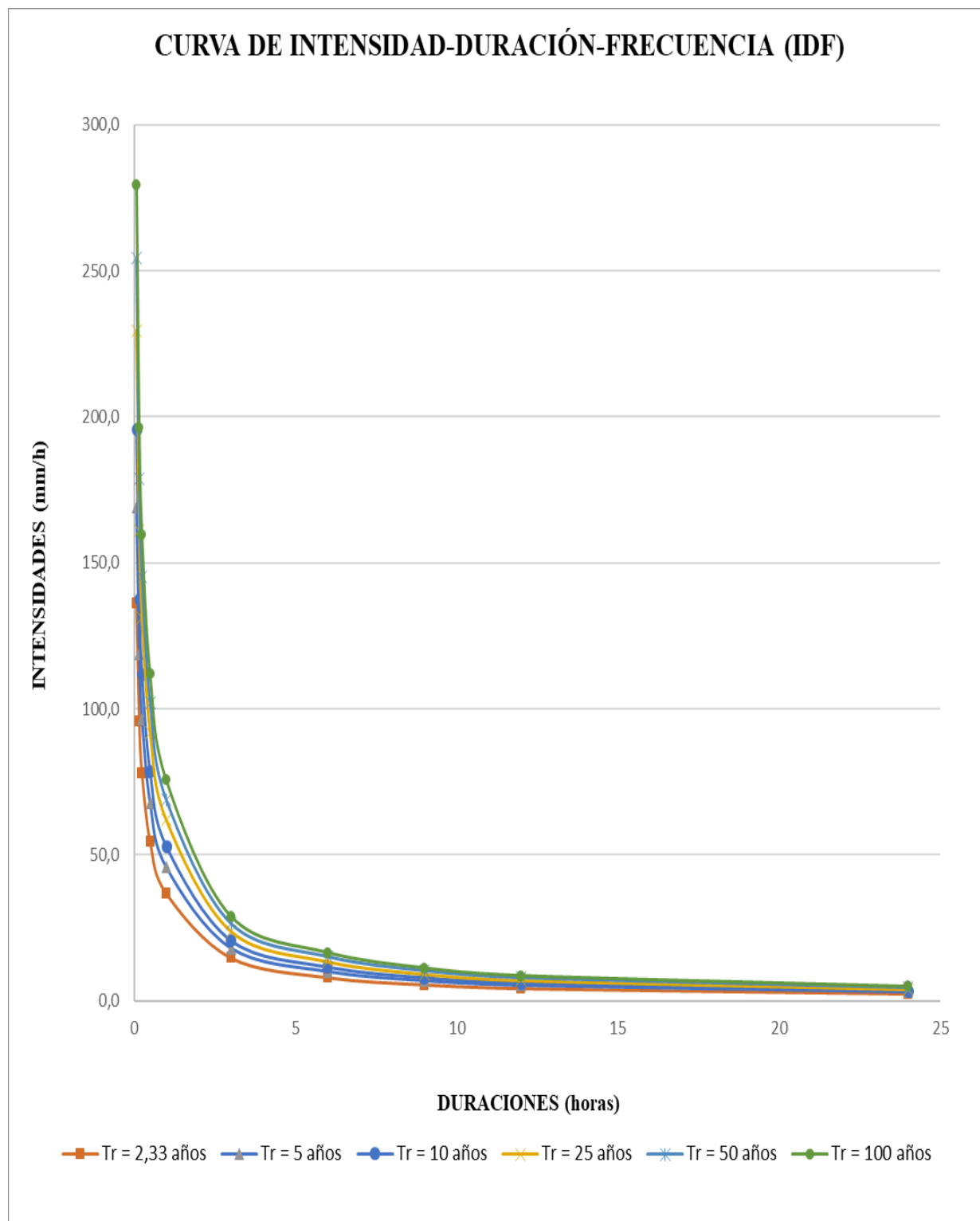
Anexo 8. Análisis de lluvias máximas, estación Hacienda Montalbán.



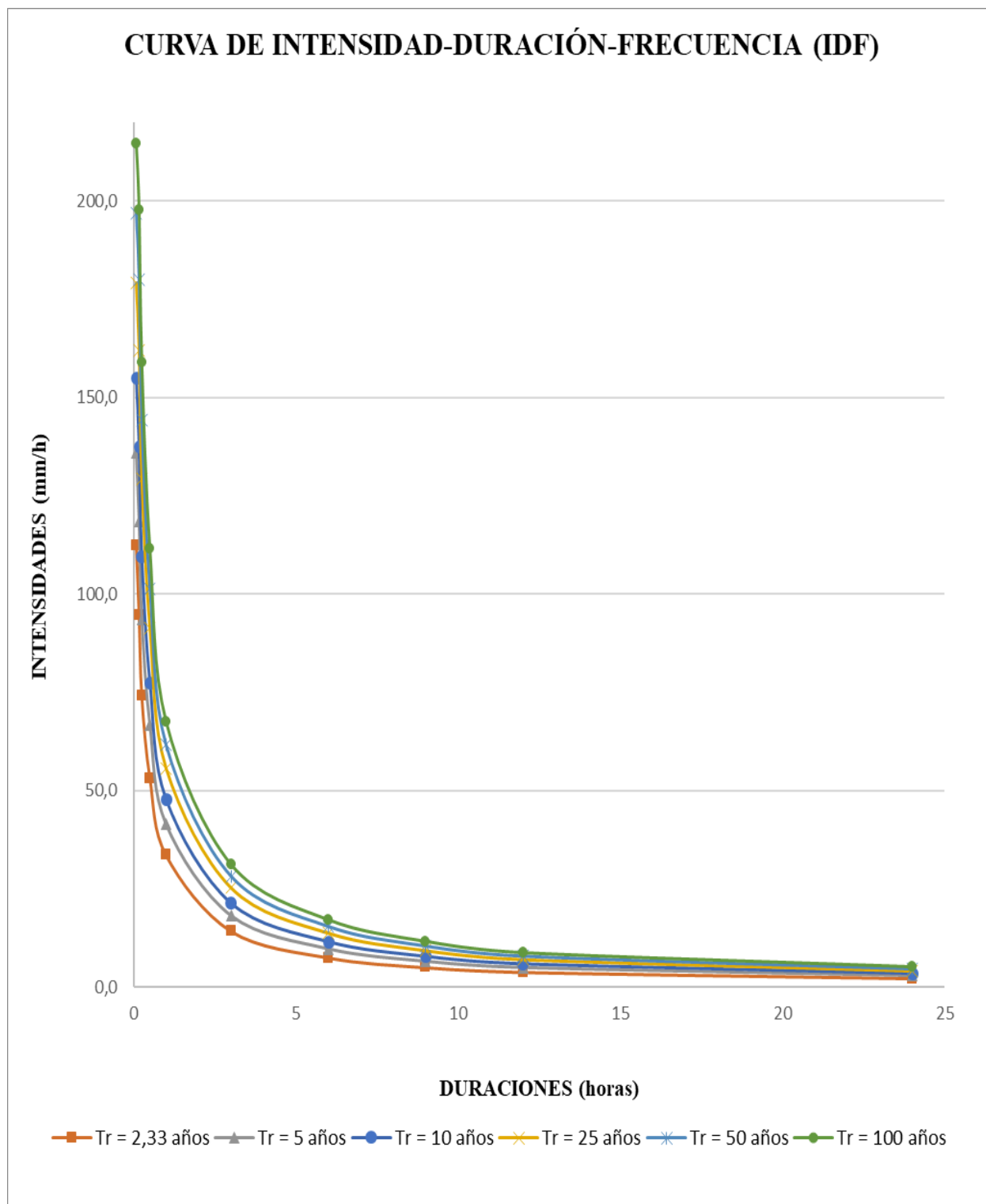
Anexo 9. Gráfica de Lámina de lluvia vs. Período de retorno. Estación Cajigal.



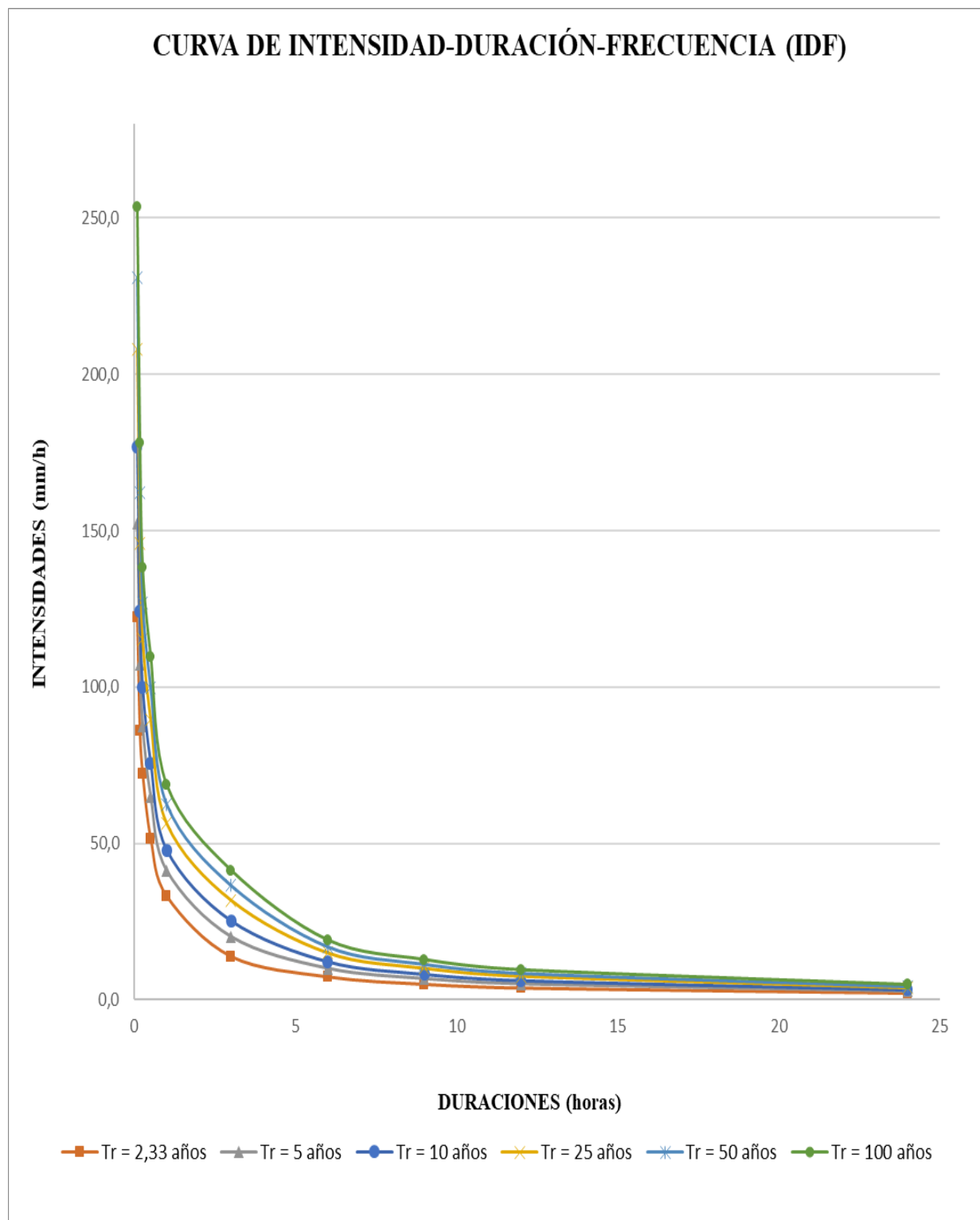
Anexo 10. Gráfica de Lámina de lluvia vs. Período de retorno. Estación La Rinconada.



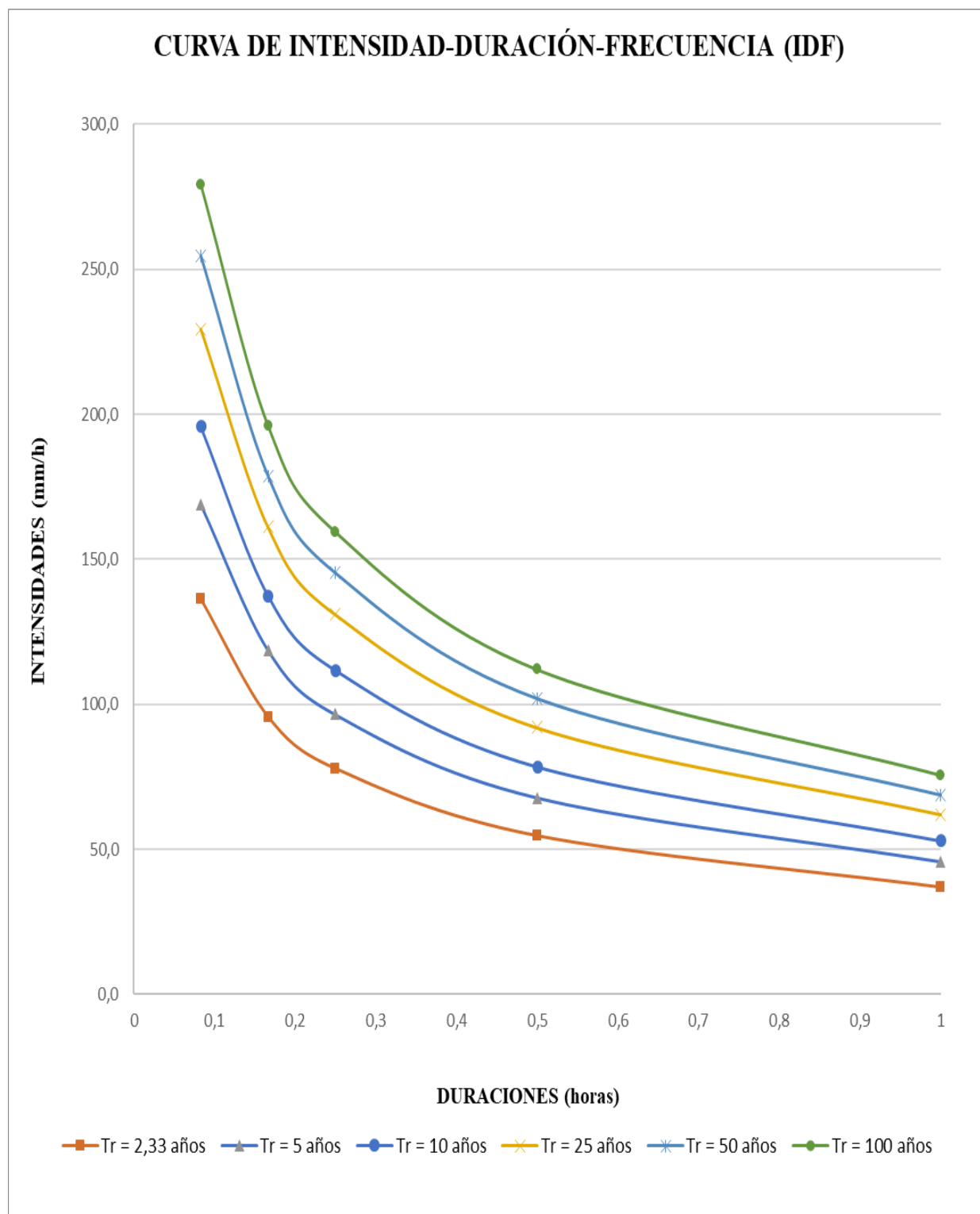
Anexo 11. Curvas IDF. Estación Observatorio Cajigal.



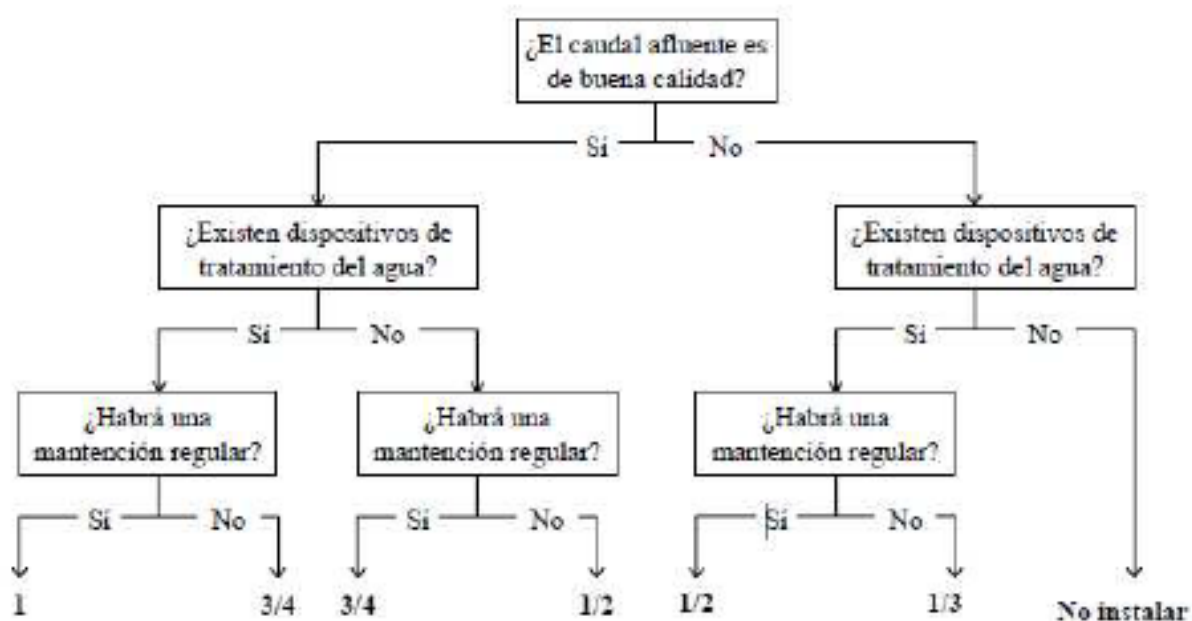
Anexo 12. Curvas IDF. Estación La Rinconada.



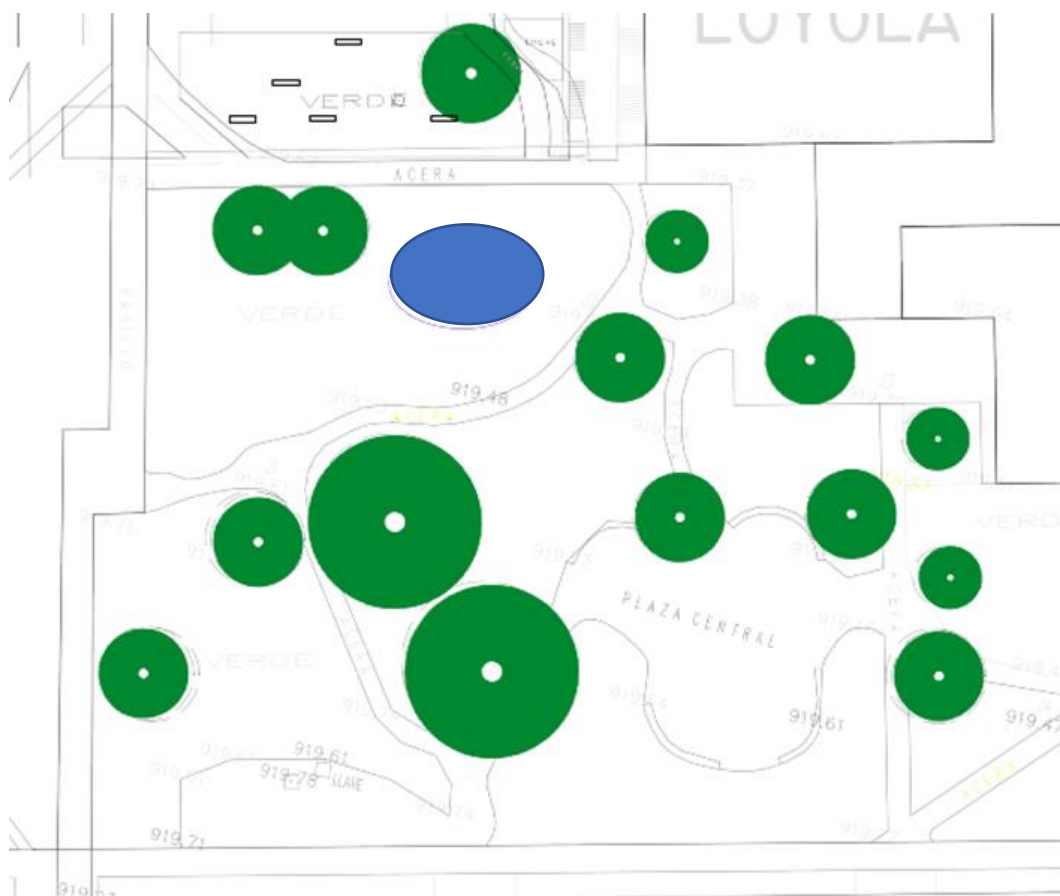
Anexo 13. Curvas IDF. Estación Hacienda Mamera.



Anexo 14. Curvas IDF. Estación Observatorio Cajigal, lluvias de 5 a 60 minutos.



Anexo 15. Factor de seguridad variable, dependiendo de la naturaleza de las aguas de lluvia, la existencia de tratamiento y la mantención (Cs). Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1.996)



Anexo 16. Ubicación de la laguna Jardín central (Zoom).