



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**FACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DE AGUAS  
PLUVIALES EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS  
BELLO SEDE MONTALBÁN**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:.....

**J U R A D O   E X A M I N A D O R**

Firma:..... Firma:..... Firma:.....

Nombre:..... Nombre:..... Nombre:.....

**REALIZADO POR**

Garrido Hernández Diana Carolina

Vásquez Calma Daniel Arturo

**PROFESOR GUÍA**

Ing. Joaquín Benítez

**FECHA**

Caracas, Octubre de 2015

Factibilidad del aprovechamiento de aguas pluviales en la Universidad Católica Andrés Bello  
sede Montalbán.



## **DEDICATORIA**

A nuestros padres, gracias por enseñarnos que el éxito no se alcanza en la cumbre sino en el camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos la oportunidad y la fortaleza para levantarnos en los momentos más difíciles de nuestro camino.

A nuestras familias por enseñarnos que la mejor forma de alcanzar nuestros sueños es luchando por ellos, por acompañarnos en este camino demostrándonos su apoyo y amor incondicional.

A la Universidad Católica Andrés Bello por ser nuestra Alma Mater, darnos la oportunidad de comprobar cada día que la gente que trabaja con vocación siempre está dispuesta a servir y enseñándonos que la Excelencia solo se alcanza con trabajo duro y convicción.

Al personal Docente que nos entrega sus conocimientos, ayuda y experiencia para hacernos profesionales integrales, con la ética suficiente para tomar las mejores decisiones.

A la comunidad Ucabista por estar siempre dispuesta a prestar su ayuda desinteresadamente.

Al Ingeniero Joaquín Benítez por la paciencia y comprensión mostrada a lo largo del camino

Al Ingeniero Alejandro Rincón por la ayuda que nos prestó en el área de hidráulica y por la amistad y confianza que nos ha demostrado.

Al Ingeniero David Vásquez, por ayudarnos en el área topográfica siendo de gran utilidad para el trabajo.

A la Dirección de Servicios Generales, que nos dio acceso a la información que requeríamos para realizar este Trabajo Especial de Grado.

A nuestros amigos con los que los desvelos y las interminables horas de estudio se hicieron más llevaderas y quienes supieron entendernos y apoyarnos cuando más lo necesitábamos

Y a todas las instituciones y trabajadores que nos facilitaron la información necesaria para concluir este trabajo con éxito



## ÍNDICE CONTENIDO

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SINOPSIS .....                                                                                                         | 1  |
| CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....                                                                                           | 8  |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                                                                   | 8  |
| 1.2 ANTECEDENTES. ....                                                                                                 | 12 |
| 1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES. ....                                                                                       | 15 |
| 1.4 OBJETIVOS. ....                                                                                                    | 16 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL. ....                                                                                           | 16 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                                                       | 16 |
| CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO. ....                                                                                         | 17 |
| 2.1 UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO LA INSTITUCIÓN Y SUS<br>PLANES SUSTENABLES.....                                  | 17 |
| 2.2 REQUERIMIENTOS DE AGUA .....                                                                                       | 18 |
| 2.3 LAS DIPONIBILIDADES DEL AGUA Y SU CONCEPCIÓN A TRAVÉS DE<br>LA HIDROLOGIA. ....                                    | 19 |
| 2.3.1 MÉTODO RACIONAL. ....                                                                                            | 21 |
| 2.3.2 MÉTODO DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS<br>NATURALES (NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICES). .... | 22 |
| 2.4 SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....                                                                            | 24 |
| 2.4.1 OBRAS DE CAPTACIÓN O TOMA.....                                                                                   | 24 |
| 2.4.2 OBRAS DE CONDUCCIÓN .....                                                                                        | 25 |
| 2.4.3 OBRAS DE TRATAMIENTO .....                                                                                       | 25 |
| 2.4.4 OBRAS DE ALMACENAMIENTO .....                                                                                    | 26 |

Factibilidad del aprovechamiento de aguas pluviales en la Universidad Católica Andrés Bello  
sede Montalbán.

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.5 OBRAS DE FILTRACIÓN .....                                                                                     | 27 |
| 2.5 LA SUSTENTABILIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES.....                                                               | 29 |
| 2.5.1 COMPARACIÓN ENTRE LA CAPTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS<br>DE MANERA TRADICIONAL Y VARIACIONES SUSTENTABLES ..... | 29 |
| 2.6 LA CAPTACIÓN Y USO DEL AGUA DE LLUVIA COMO SUSTITUTO DEL<br>AGUA POTABLE.....                                   | 30 |
| 2.7 MARCO LEGAL .....                                                                                               | 35 |
| CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO .....                                                                                 | 38 |
| 3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....                                                                             | 38 |
| 3.2 DESARROLLO DEL TRABAJO.....                                                                                     | 40 |
| 3.2.1 ESTABLECIMIENTO, DELIMITACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS<br>DIMENSIONES DE LAS ÁREAS A SER ESTUDIADAS. ....       | 40 |
| 3.2.2 DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ACUEDUCTO DE LA<br>UNIVERSIDAD .....                                    | 42 |
| 3.2.3 DETERMINACIÓN DE DOTACIONES, DEMANDA Y CONSUMO .....                                                          | 43 |
| 3.2.4 DISPONIBILIDAD Y USOS DE LA FUENTE PLUVIAL VS. LA<br>DEMANDA DE AGUA EN EL CAMPUS.....                        | 43 |
| 3.2.4.1.1 CANTIDAD Y OCURRENCIA .....                                                                               | 43 |
| 3.2.4.1.2 CALIDAD Y UBICACIÓN.....                                                                                  | 44 |
| 3.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS COMPONENTES DEL SISTEMAS DE<br>RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA. ....                     | 46 |
| 3.4 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA ESTABLECER EL ANALISIS DE LOS<br>RESULTADOS. ....                                     | 48 |

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.1 ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD DE CAPTACIÓN EN EL CAMPUS. ....                                    | 48 |
| 3.4.2 DEFINICIÓN DE FACTIBILIDAD EN LA RESIDENCIA DE LOS PADRES Y EN LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS. .... | 48 |
| CAPÍTULO 4 DESARROLLO.....                                                                              | 49 |
| 4.1 SITUACIÓN ACTUAL.....                                                                               | 49 |
| 4.1.1 SISTEMA DE ACUEDUCTO.....                                                                         | 49 |
| 4.1.2 DETERMINACIÓN DE DOTACIONES DEMANDA Y CONSUMO. ....                                               | 49 |
| 4.1.3 COSTOS INVOLUCRADOS EN EL CONSUMO DE AGUA POTABLE PROVENIENTE DEL ACUEDUCTO.....                  | 52 |
| 4.2 DISPONIBILIDADES DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE ORIGEN PLUVIOMETRICO.....                              | 53 |
| 4.2.1 ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA PARA LAMINA LLUVIA DIARIA.....                                             | 53 |
| 4.2.2 ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA PARA ESTUDIO DE INTENSIDADES, FRECUENCIA, DURACIÓN.....                    | 54 |
| 4.2.3 DISPONIBILIDADES DE LLUVIA PARA SUPERFICIES IMPERMEABLES.....                                     | 55 |
| 4.2.4 DISPONIBILIDADES DE LLUVIA PARA SUPERFICIES PERMEABLES. ....                                      | 57 |
| 4.3 PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL.....                   | 61 |
| 4.3.1 SUPERFICIES IMPERMEABLES .....                                                                    | 61 |
| 4.3.2 SUPERFICIES PERMEABLES .....                                                                      | 63 |
| 4.4 DISEÑO DE LOS SISTEMA DE CAPTACIÓN PLUVIAL .....                                                    | 64 |



|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 4.4.1 INSTALACIONES DEPORTIVAS (ZONA A8) .....           | 64 |
| 4.4.2 RESIDENCIA DE LOS PADRES (ZONA A9).....            | 67 |
| 4.5 FACTIBILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA CAPTADA..... | 69 |
| 4.5.1 INSTALACIONES DEPORTIVAS (ZONA A8) .....           | 70 |
| 4.5.2 RESIDENCIA DE LOS PADRES (ZONA A9).....            | 70 |
| CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES. ....                            | 73 |
| CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES .....                         | 75 |
| ANEXOS .....                                             | 77 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....                          | 89 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1.1 DISTRIBUCIÓN Y DEMANDA DEL AGUA DULCE POR CONTINENTES..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 9  |
| TABLA 1.2 RESERVAS TOTALES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS POR REGIONES ((MARN), 2005) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 10 |
| TABLA 2.1 ASPECTOS CUANTITATIVOS Y DE EXPLOTACIÓN. (AROCHA, 1979)..                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 20 |
| TABLA 2.2 ASPECTOS CUALITATIVOS DE LA EXPLOTACIÓN .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20 |
| TABLA 2.3 RESUMEN DE ECUACIONES DEL MÉTODO NRCS (NRCS, 2004),ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 23 |
| TABLA 2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS TIPOS 1 Y 2 (REPUBLICA DE VENEZUELA, 1995) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 26 |
| 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 CAUSES 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 SE APTA PARA EL CONSUMO HUMANO CON PROCESO DE POTABILIZACIÓN MÍNIMOS (TABLA 2.5) “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). |    |
| TABLA 2.5 RECURSOS TRADICIONALES Y SUSTENTABLES (DÍAZ DELGADO, 2003) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 29 |
| TABLA 2.6 TABLA DE OTORGAMIENTO DE PUNTOS LEED SEGÚN SU PORCENTAJE DE REDUCCIÓN. (SPAIN GREEN BUILDING COUNCIL, 2009) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 32 |
| TABLA 2.7 TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN (HERRERA MONROY, 2010) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 33 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 2.8 CONTINUACIÓN DE TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN (HERRERA MONROY, 2010).....                                    | 34 |
| TABLA 3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS. (DE PINHO DI MAIO & GONZALEZ CASTILLO, 2015).....                                   | 42 |
| TABLA 3.2 CALIDAD DEL AGUA SEGÚN LA SUPERFICIE DE CONTACTO DEL AGUA PLUVIAL. ELABORACIÓN PROPIA.....                    | 44 |
| TABLA 3.3 PREFACTIBILIDAD DE UTILIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LAS DIFERENTES ZONAS DEL CAMPUS ELABORACIÓN PROPIA ..... | 45 |
| TABLA 3.4 FACTORES QUE PUEDEN CONSIDERARSE POSITIVOS. ELABORACIÓN PROPIA .....                                          | 46 |
| TABLA 4.1 ESTUDIO POBLACIONAL ENTRE EL AÑO 2000 Y EL 2005. (SANCHIS & ZUBILLAGA, 2005) .....                            | 50 |
| TABLA 4.2 POBLACIÓN TOTAL EN EL CAMPUS Y SU DIVISIÓN SEGÚN SU ESTATUS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....                  | 50 |
| TABLA 4.3 DOTACIÓN DIARIA ESTIMADA PARA LA POBLACIÓN DE 2015. ELABORACIÓN PROPIA.....                                   | 51 |
| TABLA 4.4 DOTACIÓN REQUERIDA POR INSTALACIÓN BASÁNDOSE EN EL FACTOR PROYECTADO EN 2005. ELABORACIÓN PROPIA.....         | 51 |
| TABLA 4.5 DOTACIÓN TOTAL REQUERIDA POR LA INSTALACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA. ....                                         | 52 |
| TABLA 4.6 DOTACIÓN DISTRIBUIDA ENTRE LAS EDIFICACIONES EXISTENTES EN EL CAMPUS. ELABORACIÓN PROPIA. ....                | 52 |
| TABLA 4.7 COSTOS DE AGUA ESTIPULADOS POR HIDROCAPITAL ELABORACIÓN PROPIA. ....                                          | 53 |
| TABLA 4.8 FACTURA DE HIDROCAPITAL. ELABORACIÓN PROPIA.....                                                              | 53 |
| TABLA 4.9 REGISTROS OBTENIDOS POR ESTACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA. ....                                                    | 53 |
| TABLA 4.10 ANÁLISIS DE INTENSIDAD DE LLUVIA EN OBSERVATORIO CAJIGAL, ELABORACIÓN PROPIA.....                            | 54 |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABLA 4.11 ANÁLISIS DE INTENSIDAD DE LLUVIA EN LA RINCONADA, ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                               | 54  |
| TABLA 4.12 PORCENTAJES DE DATOS RELEVANTES. ELABORACIÓN PROPIA ...                                                                                                 | 55  |
| TABLA 4.13 MÉTODO NRCS PARA $IA=0,2*S$ PARA ÁREA REGABLE, ELABORACIÓN PROPIA. ....                                                                                 | 56  |
| TABLA 4.14 MÉTODO NRCS PARA $0<IA<0,2$ PARA ÁREA REGABLE, ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                                  | 51. |
| TABLA 4.17 MÉTODO NRCS PARA $IA=0$ PARA ÁREA REGABLE, ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                                      | 51  |
| TABLA 4.15 MÉTODO NRCS PARA $IA=0,2*S$ PARA VOLUMEN DISPONIBLE, ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                            | 56  |
| TABLA 4.16 MÉTODO NRCS PARA $0<IA<0,2$ PARA VOLUMEN DISPONIBLE; ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                            | 56  |
| TABLA 4.17 DISPONIBILIDAD EN EL TIEMPO PARA LAS CUENCAS, ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                                  | 58  |
| TABLA 4.18 PARTE 1. EJEMPLO DE CÁLCULO PARA EL AÑO 1975 PARA EL NRCS CON VARIACIÓN DE NC. ELABORACIÓN PROPIA.....                                                  | 59  |
| TABLA 4.19 PARTE 2. EJEMPLO DE CÁLCULO PARA EL AÑO 1975 PARA EL NRCS CON VARIACIÓN DE NC. ELABORACIÓN PROPIA.....                                                  | 60  |
| TABLA 4.20 ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD DE APROVECHAMIENTO PLUVIAL EN LAS DIFERENTES ZONAS DEL CAMPUS.....                                                       | 61  |
| TABLA 4.21 VOLUMEN Y GRADO DE ABASTECIMIENTO DEL AGUA CAPTADA EN TODAS LAS SUPERFICIES IMPERMEABLES PARA ABASTECER LAS DEMANDAS DE RIEGO. ELABORACIÓN PROPIA. .... | 62  |
| TABLA 4.22 VOLUMEN Y GRADO DE ABASTECIMIENTO DEL AGUA CAPTADA EN LOS TECHOS PARA ABASTECER LAS DEMANDAS DE RIEGO. ELABORACIÓN PROPIA .....                         | 62  |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 4.23 VOLUMEN PLUVIAL RECOLECTADO EN TODAS LAS, ELABORACIÓN PROPIA. ....                                 | 63 |
| TABLA 4.24 DIÁMETRO DE C1 ELABORACIÓN PROPIA .....                                                            | 66 |
| TABLA 4.25 DIMENSIONES DE LA REJILLA.....                                                                     | 67 |
| TABLA 4.26 ÁREAS MÁXIMAS DE CAPTACIÓN PARA CANALES Y BAJANTES, ELABORACIÓN PROPIA FUENTE NORMA SANITARIA..... | 68 |
| TABLA 4.27 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES TECHOS DE LA ZONA A9.                                             | 71 |

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ILUSTRACIÓN 1.1 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA. (CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO, 2011).....                                                                                                | 8  |
| ILUSTRACIÓN 2.1 CICLO HIDROLÓGICO CON EL BALANCE PROMEDIO ANUAL GRADUAL EN UNIDADES RELATIVAS A UN VALOR DE 100 PARA LA TASA DE PRECIPITACIÓN TERRESTRE. (CHOW, MAIDMENT, & MAYS, 2000) ..... | 19 |
| ILUSTRACIÓN 3.1 MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES SOLICITADAS. ...                                                                                                                          | 39 |
| ILUSTRACIÓN 3.2 . CUENCAS EN LA UCAB. (DE PINHO DI MAIO & GONZALEZ CASTILLO, 2015).....                                                                                                       | 40 |
| ILUSTRACIÓN 3.3 PLANO DE ZONIFICACIÓN. FUENTE (DE PINHO DI MAIO & GONZALEZ CASTILLO, 2015) .....                                                                                              | 41 |
| ILUSTRACIÓN 3.4 ESQUEMA DEL SISTEMA RECOLECCIÓN DE LLUVIA .....                                                                                                                               | 47 |
| ILUSTRACIÓN 4.1 PUNTOS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA EN LA ZONA A8 .....                                                                                                                            | 65 |
| ILUSTRACIÓN 4.2 ESQUEMA TRANSVERSAL DEL DESARENADOR .....                                                                                                                                     | 66 |
| ILUSTRACIÓN 4.3 VISTA LATERAL DE LA TOMA .....                                                                                                                                                | 67 |
| ILUSTRACIÓN 4.4 DIMENSIONES DEL TECHO DE ARCHIVO GENERALES.....                                                                                                                               | 68 |
| ILUSTRACIÓN 4.5 SITIOS SUGERIDOS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA ....                                                                                                                         | 69 |
| ILUSTRACIÓN 4.6 EJEMPLO DE REJILLA EN UNA CANALETA DE TECHO.....                                                                                                                              | 72 |
| ILUSTRACIÓN 4.7 LUGARES SUGERIDOS PARA LA UBICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO. ELABORACIÓN PROPIA. ....                                                              | 72 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANEXO 1 DIAGRAMA DE LA UBICACIÓN DE UN CHULTÚN, MAYA, FUENTE (PRIETO, 2015).....                          | 78 |
| ANEXO 2 DOTACIONES PARA EDIFICACIONES, FUENTE (REPÚBLICA DE VENEZUELA, 1988).....                         | 79 |
| ANEXO 3 NÚMERO DE CURVAS NC. FUENTE (NRCS, 2004).....                                                     | 82 |
| ANEXO 4 DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN (MCGHEE, 2007).....                                          | 83 |
| ANEXO 5 PLANO GENERAL DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA UCAB.....                                            | 84 |
| ANEXO 6 FACTURA DE AGUA SEPTIEMBRE 2014.....                                                              | 85 |
| ANEXO 7 VISTA DE LA TORRENTERA AGUAS ABAJO, ESTRUCTURA DISIPADORA Y ALCANTARILLA. ELABORACIÓN PROPIA..... | 86 |
| ANEXO 8 EQUIPO DE TOPOGRAFÍA SOKKIA SET630R .....                                                         | 86 |
| ANEXO 9 VISTA DE TORRENTERA AGUAS ARRIBA. ELABORACIÓN PROPIA .....                                        | 87 |
| ANEXO 10 CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL DESARENADOR METODOLOGÍA DE (AROCHA, 1979). ELABORACIÓN PROPIA .....      | 87 |
| ANEXO 11 CÁLCULO DE LA REJILLA DE CAPTACIÓN. ....                                                         | 88 |



## **SINOPSIS**

La problemática actual producida por la variación del periodo de lluvia ocasiona disminución en los niveles de los embalses que abastecen las diferentes poblaciones del país, considerando que para poder aprovechar un servicio de agua potable regular, es necesario, entre otras cosas que los embalses de los cuales se extrae el agua se encuentren en niveles óptimos.

Considerando se puede controlar el momento y la duración de la lluvias pero si se puede aprovechar el agua proveniente de ellas, se concibió la idea de determinar la factibilidad de aprovechar el agua pluvial que entra en contacto con las superficies permeables e impermeables de la Universidad Católica Andrés Bello – Sede Montalbán

El presente Trabajo Especial de Grado se basará en el análisis de la lámina de lluvia diaria basándose en la información obtenida por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) para determinar si el volumen de captado representa una opción viable para el abastecimiento de la institución ya sea utilizando el agua recolectada para el riego de las áreas verdes o potabilizando el agua captada para ser incluida en el sistema de acueducto de la institución.

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Está comprobado que cerca de un 71% de la Tierra está cubierta de agua (USGS, 2005) el problema se presenta porque cuando pensamos en agua dulce solemos imaginar un río o un lago, sitios fácilmente accesibles para el ser humano, pero la realidad es distinta (Lavola, 2015) ya que solo el 2,5% del agua existente es dulce y de este porcentaje más de la mitad es parte de los glaciales y nieve permanente (Ilustración 1.1).

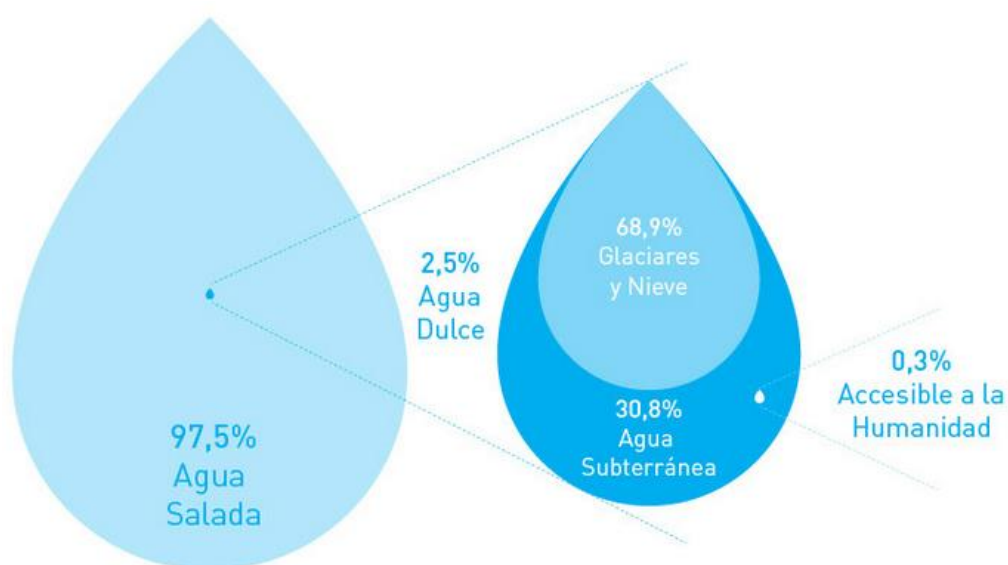


Ilustración 1.1 Distribución del agua en la tierra. (Corporación Andina de Fomento, 2011)

La escasez de agua potable es un problema que afecta al mundo entero aunque el continente Americano es el más beneficiado en lo referente a los suministros de agua dulce y también es el continente que cuenta con uno de los menores índices de demanda del recurso hídrico (Tabla 1.1). Es necesario tener presente que el agua es un recurso renovable, pero su contaminación y despilfarro podría ocasionar daños.

*El mundo de hoy se considera sustentado en una compleja red de relaciones humanas y de interacción con el ambiente que conlleva una gran cantidad de problemas ambientales debido, por una parte, a la concepción que hasta ahora se ha tenido del ambiente, centrada exclusivamente en el componente natural y en la consideración del hombre como eje gravitacional (antropocentrismo) y no como integrante cuyas acciones ayudan o empobrecen la conservación del mismo y, por otro lado, por el modelo de desarrollo que se ha seguido en el país centrado en la explotación inmisericorde de la naturaleza y sus recursos; así como a la calidad de educación del pueblo venezolano. (Pasek de Pinto, 2003).*

Gracias a los avances tecnológicos y a diferentes investigaciones se han conseguido nuevos métodos para aprovechar fuentes poco convencionales, generando suministros de agua mediante distintos procesos como: la captación de la humedad presente en la atmosfera, la desalinización del agua de mar o el tratamiento de aguas levemente contaminadas, entre otros, con el fin de que el agua potable sea utilizada únicamente para su consumo.



Tabla 1.1 Distribución y demanda del agua dulce por continentes.

La red hidrográfica en Venezuela es muy densa, sin embargo existen zonas donde los recursos hídricos son escasos (Tabla 2.5); entre ellos se encuentra la situación al norte del país donde los cauces son, en general, de curso corto y caudales bajos y contrastando con esto se aprecia la zona sur del país donde se encuentra la mayor abundancia del recurso hídricos. Aproximadamente el 85% del escurrimiento total ocurrido en el territorio nacional corresponde a la zona sur del Orinoco y el 15% restante presenta una repartición muy irregular. ((MARN), 2005)

| REGIÓN COPLANARH              | Superficie<br>Miles km <sup>2</sup> | Volumen de reservas<br>Billones de m <sup>3</sup> |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1. Lago de Maracaibo          | 61,90                               | 0,9                                               |
| 2. Costa Noroccidental        | 24,77                               | 0,4                                               |
| 3. Región Centro Occidental   | 20,66                               | 0,3                                               |
| 4. Llanos Centro Occidentales | 140,36                              | 2,5                                               |
| 5. Sur de Apure               | 68,65                               | 0,4                                               |
| 6. Central                    | 18,54                               | 0,2                                               |
| 7. Centro Oriental            | 71,02                               | 1,7                                               |
| 8. Oriental                   | 62,15                               | 1,3                                               |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>468,05</b>                       | <b>7,7</b>                                        |

Tabla 1.2 Reservas totales de aguas subterráneas por regiones ((MARN), 2005)

Considerando que el agua que se precipita a la tierra en forma de lluvia y es el origen de todos los sistemas de abastecimiento, ya que tanto los ríos como las aguas subterráneas forman parte del ciclo del hidrológico y que la falta cumplimiento en las reglamentaciones y normativas publicas permiten que este recurso se mezcle con las aguas residuales en los sistemas de aguas servidas nos vemos sumidos en un círculo dañino en el que se desaprovechan funciones que podría cumplir el agua del sistema de drenajes. La Universidad Católica Andrés Bello sede Montalbán también se ve involucrada en este problema porque el agua que es recolectada por los sistemas de drenajes se deposita en el Rio Guaire que es una fuente irremediabilmente contaminada.

Reconociendo los problemas que se han presentado en el país como consecuencia de la falta de planificación y mantenimiento del sistema de agua potable, se destaca que:

*La crisis del agua en Caracas sigue latente, actualmente recibe tres mil litros por segundo menos que el año pasado debido a las fallas de producción de los sistemas Tuy (I, II y III) y a las deficiencias en la red de distribución, según explicó el ingeniero Norberto Bausson, experto en el tema. Precisó que en condiciones normales debe recibir 17 mil litros por segundo, pero con esta reducción que se ha agudizado en los últimos ocho meses, a pesar de estar en periodo de lluvia, está recibiendo 14 mil litros de agua por segundo. Esto es 17,6% menos de lo normal. (Cañizalez V. & Noriega Ávila, 2015)*

Considerando la complejidad del proceso de distribución del agua potable debido a que “Solamente en Caracas operan 86 estaciones de bombeo que impulsan el agua a través de 3.000 km de complejas redes de tuberías, para nutrir a los sectores ubicados entre cotas que van desde los 800 m como la urbanización La California hasta los 2.000 m como la zona de El Junquito” (Hidrocapital, 2015).

Teniendo en cuenta la gran cantidad de lluvia que cae en la ciudad de Santiago de León de Caracas, y sus posibles usos, es adecuado preguntarse ¿Por qué no aprovechar el agua recolectada en los drenajes?

En algunos casos se puede tratar de la complejidad de cambiar los sistemas de recolección y direccionar a estanques de almacenamiento para su posterior uso, en otros, se podría pensar que por lo económico que es el servicio en el país este proceso implicaría un gasto innecesario y por consiguiente se podría desechar la idea, pero si se toma en consideración lo que es más adecuado para el ambiente y que el ajuste de las tarifas de agua potable es vital para mejorar los servicios, el aprovechamiento de las aguas pluviales resultarían un ahorro económico para quien lo ponga en práctica y esta idea resultaría atractiva. (Cañizalez V. & Noriega Ávila, 2015)

Como una ayuda a nuestra sociedad surgió la idea de captar, conducir y almacenar el agua proveniente de la quebrada ubicada en la parte posterior de las canchas, el agua que transita por los brocales además del agua en los techos y áreas impermeables de las edificaciones existentes

en las canchas y de la casa de los padres, para ser reutilizada en las tareas de mantenimiento, limpieza y riego de esta zona. Todo esto con el fin de sustituir el consumo del agua potable proveniente de los acueductos para estos usos, lo cual representaría una reducción en los gastos económicos por consumo a la vez que colaboraría con el abastecimiento de las comunidades aledañas a la universidad si el nivel de captación es apreciable.

## **1.2 ANTECEDENTES.**

El proceso de recolección y utilización del agua proveniente de las precipitaciones para su aprovechamiento en el secano no es un proceso nuevo, incluso se puede afirmar que este procedimiento se emplea desde hace milenios, según algunos investigadores *“Se estima que Ur, una de las primeras ciudades de Mesopotamia, poseía sistemas de agua pluvial y drenaje en las casas privadas desde el año 2000 a.C.”* (Petri S. Juuti, 2007)

Del mismo modo se ha comprobado que en el imperio romano se utilizaba el sistema de recolección de agua de lluvia en los domus, casas de las familias pudientes de la época, esta forma de recolección se basaba en una *“abertura en el techo (compluvium) que se correspondía en el suelo con una pila rectangular (impluvium) destinada a recoger el agua de la lluvia, que después pasaba a una cisterna subterránea.”* (J. Espinós, 1987).

Los sistemas de recolección de agua de lluvia también estaban presentes en las culturas indígenas de América en el periodo prehispánico, los mayas hicieron uso del agua de pluvial para abastecerse en el periodo de sequía *“El almacenaje en estanques conocidos como chultunes y los sistemas de derivación de canales dependían de drenajes permanentes y de captaciones de escorrentías estacionales.”* (Virginia García Acosta, 2012) *“El termino chultún significa cisterna labrada en la roca para contener agua de lluvia, proviene según el diccionario Maya Cordemex5 de la contracción de chulub (agua de lluvia) y tun (piedra labrada).”* (Virginia García Acosta, 2012). (Anexo 1)

*“Se han utilizado a través de la historia por diferentes civilizaciones, fueron casi olvidados en la era de la alta urbanización”* (Burkhard, R., Deletic, & Craig, 2000) pero como consecuencia de los consumos irracionales y la contaminación de las fuentes se empezó a

producir un movimiento ecológico en el que se protegen los recursos naturales como el agua, se resguarda el futuro de las nuevas generaciones y no solo se innova en esta área sino que también se retoman técnicas antiguas que son consideradas altamente eficientes.

Con el fin de la preservación de los recursos hídricos se han realizados diferentes proyectos de tesis para generar conciencia en los ciudadanos, entre ellos se encuentran:

**Natalia Palacio Castañeda “Propuesta de un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia, como Alternativa para el Ahorro de Agua Potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia” Medellín (2010).**

“Éste proyecto presenta la ingeniería conceptual de una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable en usos tales como la descarga de sanitarios, el lavado de zonas comunes, entre otros. Además se presenta un análisis de la viabilidad técnica y económica de dicho aprovechamiento, en una institución educativa del municipio de Caldas, Antioquia.” (Castañeda, 2010).

**Raúl José López Malavé “Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para las comunidades Santa Fe y Capachal, Píritu, Estado Anzoátegui” Puerto la Cruz (2009).**

“En este trabajo se diseñó el sistema de abastecimiento de agua potable de las comunidades de Santa Fe y Capachal. Para tal diseño se realizaron cálculos de hidráulica, estableciéndose como parámetro fijo el número de habitantes a los cuales se les prestará el servicio, determinándose el caudal aproximado que requieren esas comunidades, y así, poder satisfacer las necesidades domésticas de esas poblaciones.” (Malavé, 2009)

**Luis Alberto Herrera Monroy “Estudio de Alternativas para el uso Sustentable del Agua de Lluvia” Mexico D.F. (2010)**

“...en esta tesis se propone a los sistemas de captación de agua de lluvia como una solución complementaria que ayude a combatir la escasez de agua en la poblaciones rurales, las cuales no cuentan con algún sistema de abastecimiento de agua potable, siendo estos sistemas

económicos, fáciles de construir y de buena aceptación; características que facilitan su implementación ante otro tipo de sistema.” (Herrera Monroy, 2010)

**Villasmil Lopez, Javier E.; García León, Daniel E. “Evaluación de Alternativas de Manejo del Agua en el Edificio de Aulas. Diseño de la Opción más Adecuada.” Caracas (2012)**

“El tema se enfocará en estudiar la factibilidad de implantación de alternativas vinculadas con el manejo del agua en el Edificio de Aulas y Facultad de Ingeniería de la U.C.A.B; seleccionando las opciones que nutran de mejor manera la gestión sostenible usando de guía la norma LEED® y concebir el diseño, a nivel de ingeniería con especificaciones de la opción que redunde en mayor cantidad de beneficios hacia la Universidad, sus usuarios y el ambiente.” (García, 2012)

**Alarcón, Mayerlin H; Niño Carlos E. “Metodología mínima recomendable para la definición de los perfiles de consumo de agua y energía en instituciones universitarias para desarrollo del programa campus sustentable” Caracas (2011).**

“El presente trabajo ha procurado analizar las condiciones más usuales de consumo de agua y energía en el campus UCAB. Es necesario señalar que tal objetivo tiene como principal dificultad las deficiencias existentes en las redes y sistemas de abastecimiento de agua y luz.

Por ello, los resultados obtenidos no expresan de forma fidedigna los consumos y variables reales, y se dificulta su comparación con los valores teóricos analizados.” (Alarcón & Niño, 2011)

**Acuña Perera, Ruben Enrique; Estevéz Orán, Calos Alberto “Factibilidad, diseño e instalación de un techo verde en el edificio de postgrado de la Universidad Católica Andrés Bello en Caracas.”**

“Se propone estudiar la factibilidad de diseñar e instalar un techo verde, en el edificio de postgrado, como un elemento que contribuya a mejorar los aspectos ambientales y que sirva de



experiencia piloto para la adopción de esta estrategia en el resto del campus.” (Acuña Perera & Eztevéz Orán , 2013)

**De Pinho Di Maio, Katherine Andreina; González Castillo, Williana Desiree**  
**“Factibilidad para el desarrollo de drenajes sustentables en el campus de la Universidad Católica Andrés Bello. Caracas (2015)**

“El presente Trabajo Especial de Grado se fundamentará 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 de escorrentía mediante la instalación de elementos que contribuyan con la infiltración y la conviertan en un lugar más sustentable ambientalmente.” (De Pinho Di Maio & Gonzalez Castillo, 2015)

### **1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES.**

El desarrollo de un proyecto está dividido en varias etapas constituyendo lo que se llama el *ciclo de proyectos*, a estas etapas se le conocen “Etapa de Preinversión compuesta por la idea del proyecto, su prefactibilidad y su factibilidad; Etapa de Inversión integrada por el proyecto definitivo y la financiación del proyecto; Etapa de Operación y de Evaluación” (Universidad de Castilla- La Mancha, 2015). A nivel de factibilidad, que se entiende como “*definir con un mayor grado de detalle las variables y dimensiones de un proyecto hidráulico... con una información más detallada de topografía, hidrología, geología y geotecnia*” (Bolinaga J. J., Proyectos de Ingeniería Hidráulica, 1999) se realizará el estudio en las zonas conocidas como: la residencia de los padres y las instalaciones deportivas. A nivel de prefactibilidad, que tiene por objetivo plantear todas las alternativas, por ilógicas que algunas pudieran parecer (Bolinaga, Proyectos de Ingeniería Hidráulica, 1999) se estudiarán las demás zonas del campus. Es oportuno establecer que la información sobre hidrológica, geología y geotecnia será soportada por la bibliografía existente de la zona en estudio.

El trabajo de investigación está enfocado en el área de sustentabilidad y consumo eficiente de los recursos, representado una alternativa que permitirá alcanzar lo propuesto en el eje de Sustentabilidad Ambiental del plan UCAB 20-20.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la Factibilidad de reducir el consumo de agua potable producido la Universidad Católica Andrés Bello sede Montalbán, mediante la concepción de un sistema que dependa de la capacidad pluviométrica de la zona.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Especificar la utilización actual del agua en la UCAB considerando volumen de consumo y costo involucrado en cada caso.
- Determinar la cantidad, calidad, ubicación y porcentajes de ocurrencia de un volumen de agua pluvial, que puede recolectarse como fuente de aprovechamiento.
- Conceptualizar un sistema de captación, conducción y almacenamiento de la fuente pluvial.
- Identificar los posibles usos que se le pueden dar al agua recolectada.
- Establecer los beneficios de la implementación de un sistema de recolección de agua pluvial.

## **CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.**

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 Especial de Grado. Dichos temas están distribuidos en tres áreas principalmente: La Sustentabilidad, La Hidráulica y La Hidrología.

### **2.1 UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO LA INSTITUCIÓN Y SUS PLANES SUSTENTABLES**

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, en la urbanización Montalbán, parroquia La Vega, cuenta con un área superficial impermeable de 20202,23 m<sup>2</sup> y permeables 8901,77 m<sup>2</sup> (González Castillo & De pinho Di Maio, 2015) lo que genera un área superficial total de 29104 m<sup>2</sup>, en cuanto a la población que interactúa en el campus, la institución cuenta con 13484 alumnos y una plantilla de trabajadores conformada por 15355 individuos (Sanchis & Zubillaga, 2005).

En Julio 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).

## 2.2 REQUERIMIENTOS DE AGUA

Reconociendo que el agua potable es esencial para la supervivencia del hombre, el acceso al recurso hídrico es un asunto de alta prioridad. La resolución 64/292, emitida por la Asamblea General de las Naciones Unidas publicada en junio del 2010 y la cual lleva por título, *El derecho humano al agua y el saneamiento*, establece que *“el derecho al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos”*. Por consecuente de los diversos usos que se le pueden dar al agua, el suministro urbano tiene la prioridad (Bolinaga, Proyectos de Ingeniería Hidráulica, 1999). Para garantizar este derecho humano, es necesario planificar y construir una serie de obras hidráulicas con el fin de lograr abastecer a las poblaciones.

En la fase de planificación de un sistema de abastecimiento de agua potable es necesario hacer un estudio para determinar la cantidad de agua que es requerida para satisfacer las necesidades de los usuarios, también conocida como demanda. El nivel de detalle de este estudio varía de acuerdo a lo que se quiera proyectar. Para determinar la demanda en una edificación es necesario referirse a la *Norma Sanitaria para proyecto, construcción, reforma y mantenimiento de edificaciones 4.004*, la cual establece en su capítulo VII las estimaciones del consumo promedio diario de agua de acuerdo con el uso que se le dé, a esto se le conoce como dotación. De acuerdo con esta definición las unidades de dotación suelen venir en litro persona día o en litros por metro cuadrados diario. En el caso que una edificación cuente con varios usos simultáneamente se deberá calcular la totalidad de los usos y sumar la dotación correspondiente a cada uno de ellos. (Anexo 2)

### 2.3 LAS DIPONIBILIDADES DEL AGUA Y SU CONCEPCIÓN A TRAVÉS DE LA HIDROLOGIA.

El agua circula la hidrosfera en un laberinto de caminos que no tiene principio ni fin, a esto se le conoce como ciclo hidrológico. (Chow, Maidment, & Mays, 2000). En el estudio de las distintas etapas que lo conforman (Ilustración 2.1) se pueden determinar posibles fuentes para un aprovechamiento. Una vez determinada la fuente, esta debe ser definida en cantidad o volumen, calidad, ubicación y cronología de ocurrencia (Bolinaga, Proyectos de Ingeniería Hidráulica, 1999). Por lo general, en lo que respecta al uso por el hombre, el agua en la naturaleza se encuentra clasificada en dos grupos: superficiales y subterráneas cada una de ellas con diferentes aspectos cualitativos y cuantitativos (Tabla 2.1 y Tabla 2.2).

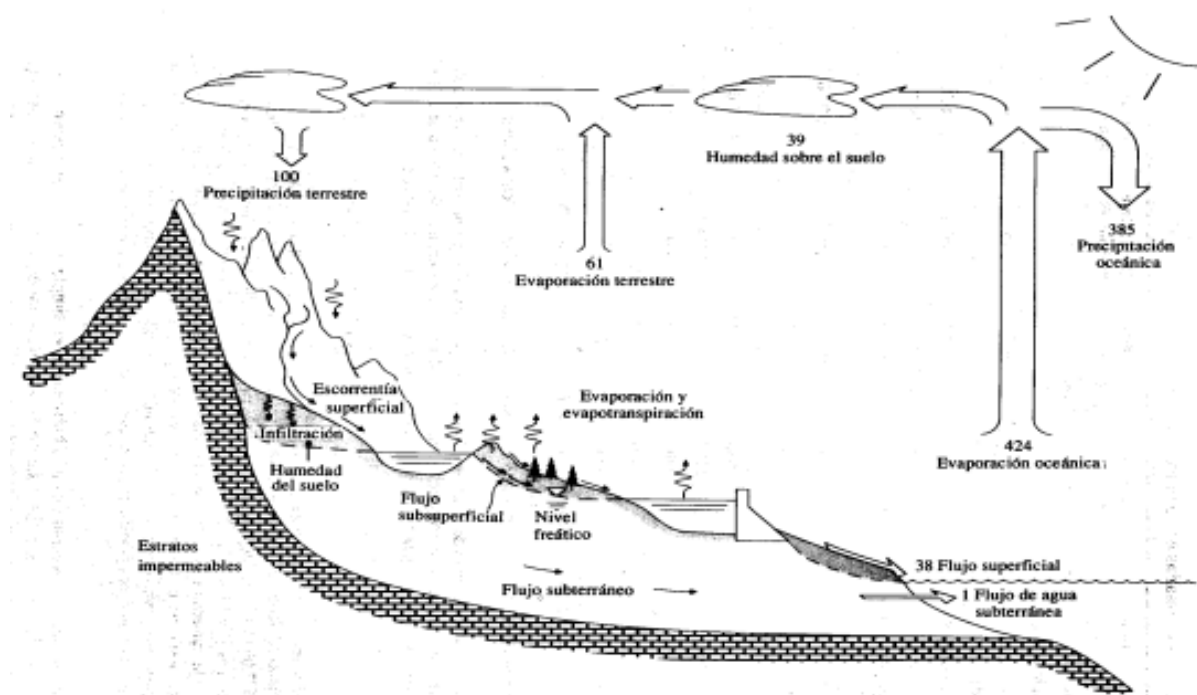


Ilustración 2.1 Ciclo hidrológico con el balance promedio anual gradual en unidades relativas a un valor de 100 para la tasa de precipitación terrestre. (Chow, Maidment, & Mays, 2000)

| <b>Aguas superficiales</b>                                            | <b>Aguas Subterráneas</b>                                   |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Generalmente aportan mayores caudales.                                | Generalmente sólo disponen de caudales relativamente bajos. |
| Caudales variables.                                                   | Poca variabilidad del caudal .                              |
| No siempre precisan bombeo.                                           | Generalmente requieren bombeo.                              |
| Generalmente la captación debe hacerse distante del sitio de consumo. | Permite más cercanía al sitio de utilización.               |
| Costos de bombeos relativamente bajos.                                | Costos de bombeo más altos.                                 |

Tabla 2.1 Aspectos cuantitativos y de explotación. (Arocha, 1979)

| <b>Característica</b>            | <b>Aguas superficiales</b>              | <b>Aguas subterráneas</b>                    |
|----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Turbiedad</b>                 | Variable (baja o muy alta)              | Prácticamente ninguna.                       |
| <b>Color</b>                     | Variable.                               | Constante, bajo o ninguno.                   |
| <b>Temperatura</b>               | Variable.                               | Constante.                                   |
| <b>Mineralización</b>            | Variable, generalmente muy alta.        | Constante y dependiente del subsuelo         |
| <b>Dureza</b>                    | Generalmente baja.                      | Dependiente del suelo.<br>Generalmente alta. |
| <b>Estabilización</b>            | Variable, generalmente algo corrosivas. | Constante, generalmente algo incrustantes.   |
| <b>Contaminación</b>             | Variable,                               | Constante.                                   |
| <b>Bacteriológico</b>            | generalmente contaminadas.              | Generalmente poca o ninguna.                 |
| <b>Contaminación radiológica</b> | Expuestas a contaminación directa.      |                                              |

Tabla 2.2 Aspectos cualitativos de la explotación

Para determinar la cantidad y cronología de ocurrencia de una fuente, existen distintos modelos hidrológicos que buscan representar la relación de las variables que conforman las distintas fases del ciclo hidrológico, por medio de suposiciones y ecuaciones matemáticas (Bolinaga, Proyectos de Ingeniería Hidráulica, 1999).

### **2.3.1 MÉTODO RACIONAL.**

Es un método utilizado principalmente para el cálculo de gastos máximos en cuencas pequeñas. Cuenta con una serie de limitaciones y puede dar resultados exagerados cuando no se cumplen sus premisas: (i) la lluvia es uniforme en el tiempo y en el espacio: intensidad constante sobre toda la superficie de la cuenca, (ii) Coeficiente de escurrimiento es constante durante toda la tormenta, (iii) El efecto de almacenamiento temporal en depresiones y cualquier otro sitio (Franceschi, 1984).

Debido a todas estas limitaciones es recomendable aplicar este método bajo las siguientes recomendaciones: área tributaria menor a 200ha, duración máxima de tormentas 30min. La formulación matemática se basa en la solución de la fórmula racional:

Ecuación 2.1  $Q=C \cdot i \cdot A$ .

Donde Q es el gasto máximo instantáneo en litro por segundo, C es el coeficiente de escurrimiento, i es la intensidad de la precipitación en lps/ha para una duración igual al tiempo de concentración y A el área en hectáreas. Por tiempo de concentración ( $t_c$ ) 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 donde L es la longitud del cauce principal en m y h el desnivel máximo en m. (Bolinaga J. , 1979):

$$\text{Ecuación 2.2 } t_c = 0,0195 \left( \frac{L^3}{h} \right)^{0,385}$$

### **2.3.2 MÉTODO DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES (NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICES).**

Es un método empírico desarrollado en los Estados Unidos por el *Soil Conservation Service*, con el cual se puede determinar la escorrentía superficial que produce una precipitación ocurrida en cuencas con área tributaria hasta 2590km<sup>2</sup>.

El método se basa en las siguientes premisas: (i) Conservación de la masa: la precipitación será igual a la escorrentía más las pérdidas por infiltración en el suelo, la cual se divide en dos abstracciones iniciales y continuas; (ii) Considera una relación empírica entre la infiltración y la escorrentía potencial y los valores reales de ambos, (iii) El suelo tiene una capacidad máxima de almacenamiento la cual se determina en función del método de número de curvas, (iv) La abstracción inicial será igual al 20% de la capacidad máxima de almacenamiento del suelo, (v) El *número de curvas* NC depende de la condición hidrológica del suelo (Anexo 3) (potencial de escurrimiento) y el tipo de uso que tenga el suelo, (vi) El número de curvas puede verse afectado según la condición de humedad previa a los 5 días; (vii) Para que ocurra escorrentía la precipitación tiene que ser mayor a las abstracciones Iniciales del suelo; (viii) Una vez que comienza la escorrentía, las abstracciones continuas aumentaran proporcionalmente con la precipitación hasta que se alcance la máxima capacidad de almacenamiento del suelos. (Natural Resources Conservation Service, 2004) En la Tabla 2.3 se muestran las ecuaciones basadas en estas premisas.



|                                                                                                                                                                                                                             | Ecuación                                                   | Observaciones                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ecuación 2.3                                                                                                                                                                                                                | $Q = P - Ia - Fa$                                          | P= precipitación<br>Q= escorrentía superficial<br>Ia= abstracciones Iniciales<br>Fa= Abstracciones continuas |
| Ecuación 2.4                                                                                                                                                                                                                | $Ia = 0,2S$                                                | S = Capacidad máxima de almacenamiento del suelo                                                             |
| Ecuación 2.5                                                                                                                                                                                                                | $S = \frac{25400}{Nc} - 254$                               | S en milímetros                                                                                              |
| Ecuación 2.6                                                                                                                                                                                                                | $Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$                        | Para P > Ia                                                                                                  |
| Ecuación 2.7                                                                                                                                                                                                                | $Nc II$                                                    | Nc II = Numero de curvas para condición normal del suelo                                                     |
| Ecuación 2.8                                                                                                                                                                                                                | $Nc I = \frac{4,20 NcII}{10 - 0,058 NcII}$                 | NcI = Numero de curvas para condición seca del suelo                                                         |
| Ecuación 2.9                                                                                                                                                                                                                | $Nc III = \frac{23 NcII}{10 + 0,13 NcII}$                  | NcIII = Numero de curvas para condición húmeda del suelo                                                     |
| Ecuación 2.10*                                                                                                                                                                                                              | $Fa = \frac{S(P - Ia)}{(P - Ia + S)}$                      |                                                                                                              |
| Ecuación 2.11**                                                                                                                                                                                                             | Parámetros de humedad de los suelos a los 5 días previos.* | Condición I : 0 – 36mm<br>Condición II : 36 -53mm<br>Condición III : >53mm                                   |
| Observaciones<br>*Asumir que Fa aumenta proporcionalmente con P , carece de sentido físico.<br>** En una cuenca donde gobierna la escorrentía superficial, no aplica variar el NC en función a la humedad del suelo previa. |                                                            |                                                                                                              |

Tabla 2.3 Resumen de Ecuaciones del Método NRCS (NRCS, 2004),Elaboración Propia

Con excepción de la Ecuación 2.3, todas las ecuaciones de este método fueron desarrolladas de manera empírica en cuencas instrumentadas en E.E.U.U, con las condiciones ambientales propias de los sitios donde se llevaron a cabo las mediciones. En 1985, Renato G. Quijada Martínez, Alejandro Ramos Castro elaboraron una tesis titulada: *Aplicación en cinco cuencas del modelo lluvia-escorrentía del Soil Conservation Service (S.C.S.)* en la que desarrollaron un modelo de lluvias-escorrentías para estudiar la Cuenca del río Macoruca en el Estado Falcón, Venezuela. Estos estudios llegaron a la conclusión que los parámetros expuestos

en la Ecuación 2.4 y la Ecuación 2.11 son correctos y pueden aplicar para cualquier cuenca en Venezuela.

## **2.4 SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.**

Al conjunto de instalaciones, equipos y accesorios encargados de llevar el agua desde la fuente hasta los usuarios se conoce como sistema de abastecimiento. Para lograr esto es necesario una serie de obras de ingeniería que: según las características del terreno, disponibilidad de la fuente, y la población a suministrar; su diseño y operatividad varían. (Bolinaga, Proyectos de 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)

### **2.4.1 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 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:

- (i) Nivel de entrada de las aguas debe quedar a la máxima altura posible para evitar ser alcanzada por los sedimentos, (ii) El área de captación debe protegerse contra el paso del material grueso.
- (iii) La velocidad de la corriente en las cercanías debe ser tal que no provoque excesiva

sedimentación, (iv) Debe ofrecer seguridad al volcamiento y deslizamiento mediante anclajes firmes y seguros. (Arocha, 1979)

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 río en el sitio de captación son importantes para el diseño.

#### **2.4.2 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 pudieran 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)

#### **2.4.3 OBRAS DE TRATAMIENTO**

La calidad del agua de la fuente el uso que 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 vaya a dar (Tabla 2.4).

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) Su diseño generalmente se basa en función del tamaño de la partícula, peso, forma, viscosidad del líquido y la temperatura.

|                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo 1</b> Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él. |                                                                                                                                                  |
| <b>Sub Tipo 1A:</b>                                                                                                                                                                                                      | Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.                                     |
| <b>Sub Tipo 1B:</b>                                                                                                                                                                                                      | Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. |
| <b>Sub Tipo 1C:</b>                                                                                                                                                                                                      | Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.                                                               |
| <b>Tipo 2</b> Aguas destinadas a usos agropecuarios                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                  |
| <b>Sub Tipo 2A:</b>                                                                                                                                                                                                      | Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.                                                                                      |
| <b>Sub Tipo 2B:</b>                                                                                                                                                                                                      | Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                  |

Tabla 2.4 clasificación de las aguas tipos 1 y 2 (Republica de Venezuela, 1995)

#### 2.4.4 OBRAS DE ALMACENAMIENTO

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 acumular el agua cuando se puede captar la precipitación de manera que el usuario puede utilizarla cuando lo requiera.

## **2.4.5 OBRAS DE FILTRACIÓN**

Las obras de filtración tienen como función mejorar la calidad del fluido entre otras cosas evitando el paso partículas 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.

### **2.4.5.1 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 potencia si el agua será transportada en tuberías diferentes a las de drenaje.

### **2.4.5.2 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 materia coloidal presente en un flujo de agua que se hará pasar a través de él mejorando la calidad del mismo (Gil, Khan P, & Hernández, 2001) 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 (Anexo 4). Los filtros convencionales se dividen principalmente en dos grupos:

Los filtros rápidos se desarrollaron en los Estado Unidos de América a principios del siglo XX, La características esenciales de este tipo de filtro son tres, la primera de ellas es el cuidadoso pretratamiento del agua disminuyendo su turbiedad, la velocidad de filtración normalmente se encuentra entre 5 y 10 m/seg y el proceso de limpieza a través de flujo invertido

que permite remover el sucio y otras impurezas que se quedaron estancadas en la arena. (McGhee, 2007).

Los filtros lentos utilizados son los más antiguos del mundo, este tipo de filtración copia los procesos de purificación de la naturaleza simulando la penetración del agua de lluvia en los estratos de la corteza terrestre, a diferencia de los filtros rápidos de arena en la que los microorganismo se almacenan en los intersticios hasta que se vierten por retrolavado este tipo de filtro consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que eliminan los organismos patógenos del agua, este tipo de filtros cuentan con velocidades de filtración entre 0,10 y 0,20 m/h entre los beneficios de este tipo de sistemas se encuentra que no requiere controladores de velocidad y con controles mediante la implementación de un vertedero. (Solona & Méndez, 2002)

#### **2.4.5.3 FILTRO ECOLÓGICO**

En el año 2006 el profesor Dr Yuefeng Xie de la Universidad Estatal de Penn desarrollo 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 perdidas 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)

## 2.5 LA SUSTENTABILIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES.

En 1987 la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo le dio nacimiento al término desarrollo sostenible o sustentabilidad el cual se entiende “... *como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” con el fin de generar conciencia en las sociedades y gobiernos para que actúen de manera responsable y consiente con el ambiente.

Al hacer referencia a los recursos naturales se debe conocer que existen dos subdivisiones, “*Los recursos naturales renovables son aquellos que, aunque sean extraídos, tienen la capacidad de reponerse de manera natural como es el caso de los organismos, el suelo, el agua. En contraste, los recursos naturales no renovables no se reconstituyan al ser extraídos de la naturaleza de modo que menguan poco a poco, tal es el caso de los minerales y entre éstos, el petróleo*” (Valverde , Meave , Carabias, & Cano-Santana, 2005).

Es obligación de los humanos reducir las proporciones en que se utilizan los recursos naturales para así generar un consumo responsable que se entiende como “*la elección de los productos y servicios no sólo en base a su calidad y precio, sino también por su impacto ambiental y social, y por la conducta de las empresas que los elaboran*”. Algunos gobiernos consideran que es necesario fomentar el consumo responsable “*todos podemos ayudar, cada gota ayuda a solucionar el problema.*” (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2009)

### 2.5.1 COMPARACIÓN ENTRE LA CAPTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS 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 (Tabla 2.5) “*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).*

|                            |                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recursos convencionales    | <div>----- Agua superficial -----</div> <div>----- Agua subterránea -----</div>                                                                                                                                                          |
| Recursos no convencionales | <div>----- Escorrentía -----</div> <div>----- Agua residual regenerada -----</div> <div>----- Agua de mar desalinizada -----</div> <div>----- Agua salobre desalinizada -----</div> <div>----- Transportes no convencionales -----</div> |

*Tabla 2.5 Recursos tradicionales y sustentables (Díaz Delgado, 2003)*

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 empleado sea sustentable, para determinar si lo es se deben considerar varios factores entre los que se puede tomar en cuenta cual es el 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.

## **2.6 LA 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 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 o/y 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 la sitio en el que es requerido.

El segundo medio para sustituir el consumo de agua proveniente del acueducto es el tratamiento de las aguas servidas *“para poder proceder a reutilizar este recurso se requieren las tecnologías adecuadas y unos estudios previos detallados... Si la evaluamos la reutilización parece presentar unas ciertas ventajas para su uso como agua de riego, aunque se requieren cálculos y herramientas de toma de decisión adaptados a cada circunstancia”* los usos del agua podrían variar dependiendo de si la sustitución de esos usos produce el despilfarro de la misma o si se consiguen soluciones diferentes. (Díaz Delgado, 2003)

En el año 2000 el Consejo De Construcción Sustentable al nivel Nacional Para Los Estados Unidos, por sus siglas en ingles USGBC, desarrolló *“un programa de certificación independiente y es el punto de referencia al nivel nacional aceptado para el diseño, la construcción y la operación de construcciones y edificios sustentables de alto rendimiento.”* (LEED, 2012). Dicha certificación son las conocidas normas LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) . Esta certificación no solo aplica para edificios en los Estados Unidos de América sino que también es una norma de referencia mundial en el área de la construcción de edificaciones sustentables, el sistema mediante el cual se verifica si las edificaciones califican para la certificación es en base a una lista de 100 puntos necesitando solo 40 puntos para obtenerla y de ahí en adelante se puede alcanzar la certificación plata, oro y platino. La certificación cuenta con siete categorías en base a la cual se realiza el otorgamiento de puntos estos son: Sitios Sustentables (SS), Ahorro de Agua (WE), Energía y Atmósfera (EA), Materiales y Recursos (MR) y Calidad Ambiental de los Interiores (IEQ), Innovación en el Diseño (ID) y Prioridad Regional. (LEED, 2012)

En lo concerniente a este trabajo de grado la categoría WE que tiene como propósito *“Maximizar la eficiencia en agua en los edificios para reducir la carga del suministro municipal de agua potable y los sistemas de aguas residuales”* y en base a esto se realiza el otorgamiento

de puntos (Tabla 2.6) y en base a esto se verificará si es posible alcanzar la certificación en algún nivel. (LEED, 2012)

| Porcentaje de Reducción | Puntos |
|-------------------------|--------|
| 30%                     | 2      |
| 35%                     | 3      |
| 40%                     | 4      |

Tabla 2.6 Tabla de otorgamiento de puntos LEED según su porcentaje de reducción. (*Spain Green Building Council, 2009*)

La calidad del agua se determinará según las características de la zona en la que se produzca el contacto del recurso con la superficie (Tabla 2.7 y Tabla 2.8) y se respaldará con los parámetros propuestos en la norma respectiva.

| Tipos de sistemas de captación                   |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de sistema                                  | Dependiendo de la forma que escurre                                                                                                                  | Dependiendo al uso que se le da al agua                                            | Descripción                                                                                                                                                                                                                                               | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sistema Captación de Agua de Lluvia SCALL        | Escurrimiento superficial captado especialmente a través de tejados o superficies terrestres para ser almacenada luego en diversos tipos de cisterna | Consumo humano y consumo domestico                                                 | Captación de los techos, recolección y conducción en canaletas, tratamiento a través de filtro de arena y grava graduada, almacenamiento en cisterna de diferentes materiales y formas, sistema de distribución por bombeo si es posible.                 | Se minimiza la contaminación del agua. Alta calidad físico química del agua. Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas. Empleo de mano de obra y/o materiales locales. No se requiere de energía para operación del sistema. Fácil de dar mantenimiento. Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia. | Costos iniciales pueden impedir la puesta en práctica por familias de escasos recursos económicos. Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación. En el sistema con cisternas hace necesario el uso de bombas lo cual aumenta los costos. |
| Captación de Agua de Niebla                      | Captación de partículas de agua provocadas por la condensación de humedad (neblina).                                                                 | Consumo humano y consumo domestico                                                 | Captación a través de capta nieblas, recolección y conducción en canaleta y manguera respectivamente, almacenamiento en pequeños depósitos (garrafones).                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Mini represas en caravanas                       | Escurrimientos superficiales en terreno natural para su almacenamiento en presas de tierra estanques, jagüeyes y aljibes                             | Riego<br>Disminución de la erosión del suelo Lugares despropiados para abrevaderos | Captación en pequeños embalses, recolección y conducción a través de los escurrimientos naturales bajo el concepto de micro captación, no se requiere un tratamiento especial de filtración y sistema de distribución se requiere es a través de canales. | Aumenta la producción agrícola. Previenen la erosión del suelo. Regulan los caudales. Aumentan las posibilidades de crecimiento vegetal y animal. No se requiere energía para su funcionamiento. Aumenta la retención de humedad del suelo.                                                                                                                        | Capacidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación. Requieren de áreas más grandes de captación.                                                                                                                                              |
| Lagunas revestidas con polietileno               |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Dique con gaviones                               |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Dique con sacos de arena y plástico en quebradas |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Atajados                                         |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Hondadas o Terrazas individuales                 |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Surcado pre-plantación para cultivos             |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Anillos de captación en cerros                   |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Terrazas de cultivo                              |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Zanjas Cubiertas con plástico                    |                                                                                                                                                      |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Tabla

## 2.7 Tipos de Sistemas de Captación (Herrera Monroy, 2010)

| Tipos de sistemas de captación      |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de sistema                     | Dependiendo de la forma que escurre                                   | Dependiendo al uso que se le da al agua                                                                                                                             | Descripción                                                                                                                                                                                                                                         | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Desventajas                                                                                                                                                      |
| Superficies o Pavimentos Permeables | Escurrimientos superficiales en terreno natural para su infiltración. | Infiltración de forma natural del agua al acuífero para así conseguir una mejora en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos almacenados en el subsuelo | Captación en pequeños embalses para su infiltración, recolección y conducción a través de cunetas o escurrimientos naturales, filtración natural a través de las capas de suelo                                                                     | Protegen los sistemas naturales y mejoran el ciclo del agua en entornos urbanos. Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje maximiza el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno. Protegen la calidad del agua en escorrentías urbanas. Minimizan el costo de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno. La reducción de volúmenes de escorrentía y caudales punta puede solucionar la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma. Mantiene el equilibrio hídrico en zonas ecológicas y zonas de conservación. Restaurar la sobreexplotación de acuíferos en un mediano y largo plazo. Almacenar en el subsuelo los escurrimientos superficiales no regulados controlando de alguna manera las inundaciones provocadas por la presencia de gastos extraordinarios. Tratamiento primario de depuración antes de ser inyectado. En el agua pluvial captada por los pozos de infiltración queda almacenado en el acuífero y este a su vez funciona como una red de distribución, reduciendo los costos de transportación, almacenamiento o bombeo de agua subterránea. Las aguas almacenadas en el subsuelo están menos expuestas a la contaminación y pérdida por evaporación, que las agua en la superficie. | Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación. Altos costos de excavación. Requieren de áreas más grandes de captación. |
| Franjas Filtrantes                  |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Drenes Filtrantes o Franceses       |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Cuentas Verdes                      |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Depósitos de infiltración           |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Depósitos de Detención              |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Estanques de Retención              |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Humedales                           |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Cubiertas vegetadas                 |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Pozos de absorción                  |                                                                       | Infiltración de forma natural del agua al acuífero para así conseguir una mejora en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos almacenados en el subsuelo | Captación en poros perforadas para su infiltración recolección y conducción a través de pavimentos, cunetas o escurrimientos naturales, filtración primaria a través de capas de grava graduada antes de la infiltración al subsuelo y al acuífero. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |
| Pozos de infiltración               |                                                                       |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                  |

Tabla 2.8 Continuación de Tipos de Sistemas de Captación (Herrera Monroy, 2010)

## **2.7 MARCO LEGAL**

Este punto tiene como finalidad resaltar algunas de las leyes y planes nacionales que respalda el uso de métodos sustentables para fomentar el cuidado del ambiente en el desarrollo de la nación así como garantizar el aprovechamiento de recurso hídrico.

Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela.

Artículo 128: El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento.

Artículo 299. ...El Estado, conjuntamente con la iniciativa privada, promoverá el desarrollo armónico de la economía nacional con el fin de generar fuentes de trabajo, alto valor agregado nacional, elevar el nivel de vida de la población y fortalecer la soberanía económica del país, garantizando la seguridad jurídica, solidez, dinamismo, sustentabilidad, permanencia y equidad del crecimiento de la economía, para lograr una justa distribución de la riqueza mediante una planificación estratégica democrática, participativa y de consulta abierta.

Artículo 304: Todas las aguas son bienes de dominio público de la Nación, insustituibles para la vida y el desarrollo. La ley establecerá las disposiciones necesarias a fin de garantizar su protección, aprovechamiento y recuperación, respetando las fases del ciclo hidrológico y los criterios de ordenación del territorio.

Ley de Aguas.

Artículo 1. Esta Ley: tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen 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.

Artículo 4. Objetivos de la gestión integral de las aguas. La gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos:

1. Garantizar la conservación, con énfasis en la protección, aprovechamiento sustentable y recuperación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, a fin de satisfacer las necesidades humanas, ecológicas y la demanda generada por los procesos productivos del país.

2. Prevenir y controlar los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes.

Artículo 10. Conservación y aprovechamiento sustentable. La conservación y aprovechamiento sustentable de las aguas tiene por objeto garantizar su protección, uso y recuperación, respetando el ciclo hidrológico, de conformidad con lo establecido en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, en esta Ley y en las demás normas que las desarrollen.

Artículo 18. Manejo de aguas y conservación de cuencas. El manejo de las aguas comprenderá la conservación de las cuencas hidrográficas, mediante la implementación de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales.

La conservación de las cuencas hidrográficas considerará las interacciones e interdependencias entre los componentes bióticos, abióticos, metales, económicos y culturales que en las mismas se desarrollan.

Artículo 88. Objetivos. El Sistema Económico Financiero para la gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos:

1.- Asegurar el adecuado financiamiento de los instrumentos de gestión previstos en esta Ley.

2.- Estimular el uso eficiente de las fuentes de agua para contribuir con la sustentabilidad del recurso.

Artículo 93. Financiamiento de la conservación y uso. Los usuarios o las usuarias de las aguas, en sus fuentes superficiales y subterráneas, participarán en el financiamiento de la conservación y uso sustentable del recurso y de sus cuencas de captación, de conformidad con las previsiones establecidas en esta Ley y en las normas que la desarrollen.

Plan Estratégico Metropolitano, Sección: Ambiente Sostenible, Sub-Sección: Gestión integrada de los recursos hídricos

Objetivo 1: Mejorar la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas de cloacas y drenajes, promoviendo la adecuada recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas y pluviales.

## **CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO**

Es oportuno mencionar que el tipo de investigación a realizar es Proyectiva: 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 implica ir en la planificación de la propuesta desde el presente hacia el futuro.

### **3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La primera fase de este trabajo fue la recopilación de la información necesaria para determinar la lámina de lluvia media diaria que se precipita en la zona en estudio. 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 en estudio; Hacienda Mamera, Hacienda Montalbán y La Rinconada adicionalmente se obtuvo la información del Observatorio Cajigal, que es la más antigua de la ciudad.

Simultáneamente se procedió a recolectar la información cartográfica existente de la Universidad Católica Andrés Bello. La oficina de servicios generales facilitó los planos del campus universitario en escala 1:500. Fuera de la institución se acudió al Instituto Geográfico Simón Bolívar, donde se obtuvo un plano en mayor escala (1:5000) con más información sobre la topográfica para el estudio de las cuencas. Adicionalmente se realizó la recopilación de imágenes satelitales del área a través de *Google Earth*, con el fin de obtener imágenes actualizadas.





Ilustración 3.1 Mapa de ubicación de las estaciones solicitadas.

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 sistemas de acueductos. 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.

## **3.2 DESARROLLO DEL TRABAJO.**

### **3.2.1 ESTABLECIMIENTO, DELIMITACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LAS ÁREAS A SER ESTUDIADAS.**

Para facilitar el proceso de determinar la factibilidad del sistema de aguas pluviales, se separará el campus universitario en distintas zonas utilizando como referencia el trabajo especial de grado de De Pinho y Gonzalez, 2015. Dicha metodología se basó primeramente en determinar las cuencas (Ilustración 3.2) que se encuentran dentro del campus, y en función de esas cuencas se fragmento la universidad en 9 zonas (Ilustración 3.3)

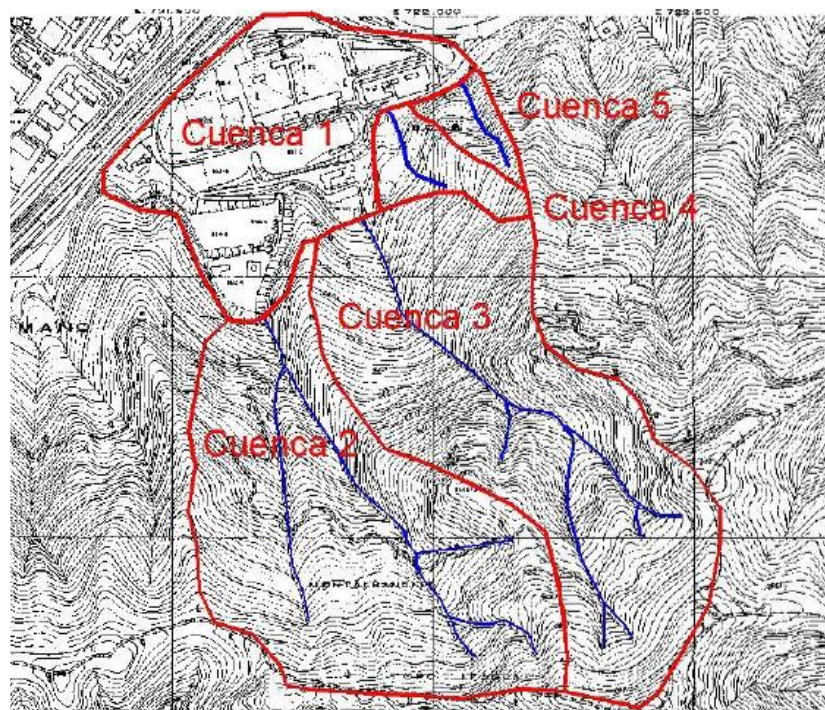


Ilustración 3.2 . Cuencas en la UCAB. (De Pinho Di Maio & Gonzalez Castillo, 2015)

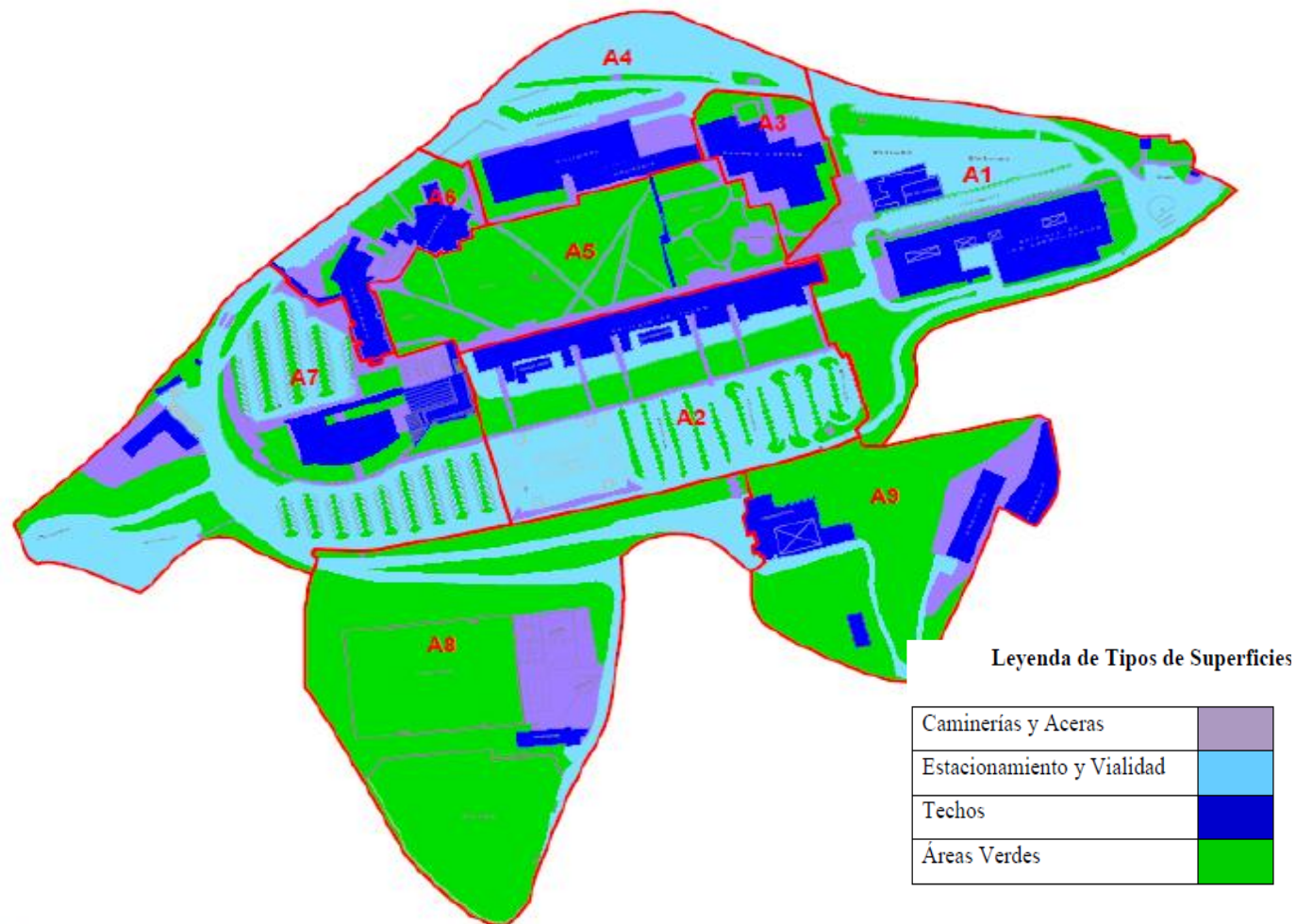


Ilustración 3.3 Plano de Zonificación. Fuente (De Pinho Di Maio & Gonzalez Castillo, 2015)



|    |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1 | Entrada de la universidad, edificio de Laboratorios, casa del estudiante, Solárium, parte de estacionamiento de profesores, estacionamiento lateral de Edificio de Laboratorios, estacionamiento detrás de Solárium y áreas verdes adyacentes a los mismos. |
| A2 | Edif. De Módulos, estacionamiento de profesores, Sala Padre Plaza, Edif. de estacionamiento, estacionamiento frente a Módulos y áreas verdes cercanas a los mismos.                                                                                         |
| A3 | Edif. Centro Loyola, Iglesia, caminerías y zonas verdes cercanas.                                                                                                                                                                                           |
| A4 | Nuevo Edif. de Biblioteca y su área de estacionamiento, Antigua biblioteca, estacionamiento de "Playa", áreas verdes y caminerías adyacentes.                                                                                                               |
| A5 | Jardines centrales de la Universidad con sus respectivas caminerías y Pasillo que conecta la antigua Biblioteca con el Edif. de Módulos.                                                                                                                    |
| A6 | Edif. de Rectorado, Edif. de Postgrado, estacionamiento detrás de los mismos, caminerías, áreas verdes adyacentes y pasarela de la entrada peatonal.                                                                                                        |
| A7 | Edif. Cincuentenario, Feria, Edif. de Servicios Generales, salida de la universidad, estacionamiento en la parte superior e inferior del Edif. Cincuentenario, estacionamiento de Esequibo, caminerías y áreas verdes cercanas a los mismos.                |
| A8 | Vías que conecta Edif. Cincuentenario con canchas deportivas y residencia de padres, campo de béisbol y fútbol, cancha de fútbolito, básquet y voleibol, cafetín, caminerías y áreas verdes del lugar.                                                      |
| A9 | Residencia de Padres y su respectiva vía que se comunica Archivos Generales y Terraza Vivero, caminerías y áreas verdes adyacentes.                                                                                                                         |

Tabla 3.1 Descripción de las zonas. (De Pinho Di Maio & Gonzalez Castillo, 2015)

### 3.2.2 DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL ACUEDUCTO DE LA UNIVERSIDAD

Previo a la conceptualización del sistema de recolección de aguas pluviales, es necesario un estudio del sistema actual de acueducto del campus con la finalidad de determinar los principales conductos de distribución y la ubicación de los tanques de almacenamiento. Dicha información se encuentra en el trabajo especial de grado realizada por Sanchis & Zubillaga, 2005, que lleva por título *Actualización del sistema de acueducto de la Universidad Católica Andrés Bello – Sede Montalbán* realizada en el año 2005.

### **3.2.3 DETERMINACIÓN DE DOTACIONES, DEMANDA Y CONSUMO**

Previamente a la determinación de las dotaciones es necesario estimar la población actual y el área destinada a oficinas y comercios en el campus universitario. La información poblacional fue suministrada por distintas direcciones de la institución y en cuanto a la información de usos de instalaciones y sus áreas se establecerán empleando los datos desarrollados por Sanchis & Zubillaga, para la cual se estableció un factor de mayoración para estimar la expansión o crecimiento de cada área. Finalmente, se realizará el cálculo de dotaciones globales, como se estipula en la Gaceta oficial N° 4.044.

El consumo se determinará directamente de los montos facturados por la empresa HIDROCAPITAL, empresa responsable del suministro del agua potable en la ciudad de Caracas. Estas facturas serán suministradas por el departamento de servicios generales de la UCAB.

### **3.2.4 DISPONIBILIDAD Y USOS DE LA FUENTE PLUVIAL VS. LA DEMANDA DE AGUA EN EL CAMPUS**

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

#### **3.2.4.1 FUENTE PLUVIAL EN EL CAMPUS.**

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

##### **3.2.4.1.1 CANTIDAD Y OCURRENCIA**

La cantidad de agua se determinará a partir de la lámina de lluvia diaria empleando las metodologías del NRCS (Ecuación 2.6) y la del Método Racional (Ecuación 2.1). Para las

cuenas naturales se aplicará el NRCS de dos formas: con un único número de curvas  $NC$  (Ecuación 2.7), y variando el  $NC$  en función de la precipitación de los 5 días previos (Ecuaciones 2.8, 2.9 y 2.11). Para las superficies impermeables la variable a cambiar será la atracción inicial  $Ia$  (Ecuación 2.4) para un primer caso donde  $Ia = 0,2S$  y en un segundo caso donde  $Ia=0$ . El método racional será aplicado sin ninguna modificación a excepción del coeficiente de escorrentía, el cual está definido en función de la pendiente y características del terreno. Ambas metodologías se expresaran de forma volumétrica para su posterior análisis.

Una vez obtenidos los datos de volumen se procederá a determinar su probabilidad por medio de la ecuación de Weibul. Donde la ocurrencia  $P$  en función del rango  $m$  y del número de valores  $n$  mediante quedan relacionados de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación 3.1 } P = \frac{m}{n+1}$$

#### 3.2.4.1.2 CALIDAD Y UBICACIÓN.

La calidad del agua está relacionada directamente con el sitio donde sea captada, se dividirán según la penetración del agua en la zona calificándose en: impermeables, techos y vialidad y superficies permeables, cuenca tributaria de las quebradas. (Tabla 3.3).

| <b>Superficie</b>     | <b>Tipo 1:</b> destinadas al uso doméstico | <b>Tipo 2:</b> Destinadas a uso pecuario |
|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Techos</b>         | Sub Tipo 1 <sup>a</sup>                    | Sub Tipo 2B                              |
| <b>Vialidad</b>       | Sub Tipo 1B o Sub Tipo 1C                  | Sub Tipo 2B                              |
| <b>Cauce quebrada</b> | Sub Tipo 1 <sup>a</sup>                    | Sub Tipo 2B                              |

Tabla 3.2 Calidad del agua según la superficie de contacto del agua pluvial. Elaboración Propia

En todas las superficies de recolección el empleo del recurso recolectado puede ser utilizado para abastecer las demandas de riego existentes en el campus, por este motivo el agua que pueda captarse siempre podrá ser aprovechada.

En caso de que el agua provenga de una superficie impermeable tipo techo o de una superficie permeable tipo quebrada, 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.

Otra opción de empleo del agua captada es la posibilidad de utilizarla para un sistema de abastecimiento de agua grises los que no se requiera potabilización, como puede ser el abastecimiento de las áreas de mantenimiento, excusados, entre otros, es decir que la calidad del agua obtenida no es apto para el consumo humano.

### **3.2.4.2 USOS EN LOS QUE SE EMPLEARÁ AGUA PLUVIAL**

La posibilidad del uso del agua captada en las diferentes superficies, permeables e impermeable, existentes en la Universidad Católica Andrés Bello serán definida principalmente por el aporte que produce la el volumen de agua captada al volumen total consumido en cada zona, que para efecto de este estudio se identificará como Grado de Abastecimiento.

El criterio para determinar los usos se basaran en: la calidad de la fuente, la factibilidad de potabilización del agua captada. Dichos criterios se basaran en las Tablas: 2.4, 2.7 y 2.8. .

### **3.2.4.3 CONCEPCIÓN DE TABLA COMPARATIVA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS ZONAS MÁS APROPIADAS PARA LA RECOLECCIÓN 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 un sistema de recolección de aguas de lluvia. (Tabla 3.4).

| Zona | Punto de recolección           | Vol. recolectado<br>m <sup>3</sup> | Facilidad de captación | Nivel de tratamiento | Vol Abastecido<br>m <sup>3</sup> | Grado de abastecimiento<br>% | Califica     |
|------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------|
| N°   | Techos/<br>Vialidad/<br>Cuenca |                                    | Buena                  | Alto                 |                                  |                              | Califica     |
|      |                                |                                    | Regular                | Medio                |                                  |                              | Condicionada |
|      |                                |                                    | Mala                   | Bajo                 |                                  |                              | No Califica  |

Tabla 3.3 Prefactibilidad de utilización de aguas pluviales en las diferentes zonas del campus Elaboración propia

- 1) Zonas de estudio: Área en la que se produce el contacto entre el Agua de lluvia y la superficie.
- 2) Las superficies de recolección: Separadas por calidad y ubicación de la fuente.
- 3) Volumen disponible de la fuente pluvial.
- 4) Estimado de las demandas por zona.
- 5) Porcentaje abastecido: Porcentaje abastecido de la columna 4 por el 3
- 6) En función de la superficie de contacto Alto para estacionamientos, Bajo para techos y cuencas.
- 7) Se adoptará el siguiente criterio:
  - Para construcciones los drenajes estén empotrados: Baja
  - Para construcciones donde los drenajes no estén empotrados: Alto
- 8) Para determinar si una zona califica se evaluarán los parámetros de las columnas señalados en las columnas 5, 6, y 7 con el siguiente criterio:

| Grado de abastecimiento | Nivel de tratamiento | Facilidad de captación | Observaciones                                                                                                          |
|-------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | x                    | x                      | Como el grado de abastecimiento no cumple se considera que No Califica                                                 |
| x                       |                      | x                      | Como el factor que no cumple con los requerimientos es el Nivel de Tratamiento queda a consideración del ente ejecutor |
| x                       | x                    |                        | Como el factor que no cumple con los requerimientos es Facilidad de captación queda a Consideración del ente ejecutor  |
| x                       | x                    | x                      | Como todos los factores cumple se considera que la zona Califica                                                       |

Tabla 3.4 Factores que pueden considerarse positivos. Elaboración Propia

### 3.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS COMPONENTES DEL SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA.

El desarrollo de los sistemas de recolección de agua pluvial será desarrollado en las zonas A8 y A9 conocidas como las instalaciones deportivas y la residencia de los padres respectivamente.

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 min de duración para un periodo de retorno (Tr)



de 5 años como lo establece la norma sanitaria 4044. La misma norma establece a 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.

Cuando se trate de un sistema ubicado en una quebrada natural se diseñará para el caso (Ilustración 3.2), referido en el punto anteriormente en las obras de tratamiento, de un sistema de abastecimiento en el cual la fuente es una quebrada con flujo no permanente sin regulación en un terreno montañoso.

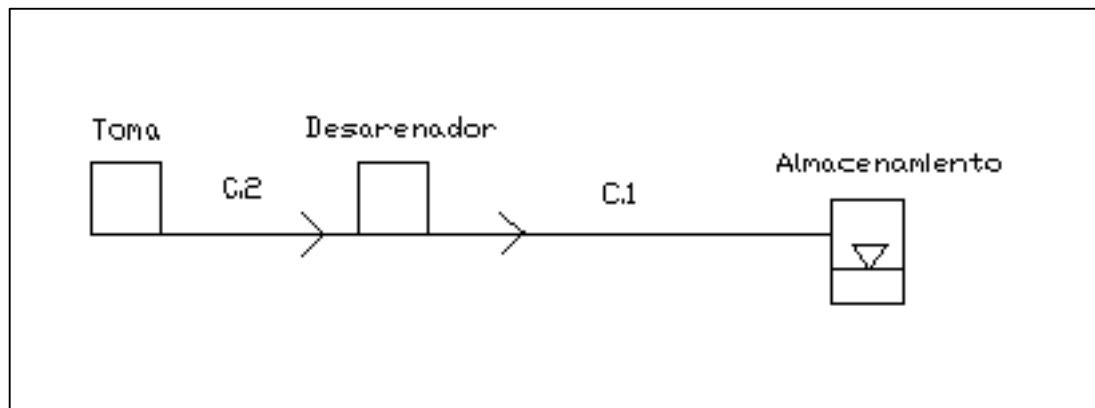


Ilustración 3.4 Esquema del sistema recolección de lluvia

Se procederá a predimensionar los componentes siguiendo el orden contrario al flujo como se explica a continuación:

- 1) Fijar un tiempo de llenado de tanques para determinar un caudal de diseño.
- 2) El conducto 1 (C1) conectará el desarenador con el tanque de almacenamiento.

Su diámetro se diseñara para flujo normal por medio de la ecuación de Manning (Ecuación 3.3)

$$\text{Ecuación 3.2 } Q = A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot n^{-1}$$

- 3) Predimensionar el desarenador según la metodología de “Teoría y diseño de abastecimiento de agua” Arocha, Simón . (1975).

- 4) El conducto 2 (C2) conectará la toma con el desarenador. Se diseñará de igual forma que el C1. .
- 5) En la obra de la captación se utilizara la metodología de “Diseño Hidráulico”

Krochin, Sviatoslav (1968) para predimensionar una reja que permita captar el caudal deseado.

### **3.4 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA ESTABLECER EL ANALISIS DE LOS RESULTADOS.**

El proceso mediante el cual se analizaran los resultados seguirá el siguiente orden:

#### **3.4.1 ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD DE CAPTACIÓN EN EL CAMPUS.**

A nivel global de todo el campus universitario, para el caso que se potabilice el agua y se aproveche todas las áreas impermeables para integrarlo a la red de distribución de agua potable actual, se comparará volumétricamente a nivel global de todo el campus el porcentaje de agua abastecido y el ahorro que esto implicaría.

En lo que respecta a cada zona expuesta previamente en la Tabla 3.2, para el caso que no se potabilice el agua, se determinará si es factible un aprovechamiento de la fuente pluvial para abastecer la demanda de riego de las áreas verdes por medio del análisis de la tabla 3.1

#### **3.4.2 DEFINICIÓN DE FACTIBILIDAD EN LA RESIDENCIA DE LOS PADRES Y EN LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS.**

A este nivel se estudiarán las Zonas A8 y A9 para llegar a un nivel de estudio de mayor detalle. Dicho estudio se basará en: establecer las necesidades de agua, definir la fuente pluvial, determinar los usos y predimensionado del sistema de aprovechamiento. La factibilidad se determinará mediante un balance volumétrico entre el volumen captado de la fuente pluvial y el volumen abastecido

## **CAPÍTULO 4 DESARROLLO.**

Este capítulo presentará los resultados obtenidos y el análisis de los mismos con el fin de llegar a las propuestas de perfectibilidad y factibilidad de las zonas anteriormente mencionadas.

### **4.1 SITUACIÓN ACTUAL.**

#### **4.1.1 SISTEMA DE ACUEDUCTO.**

La Universidad Católica Andrés Bello cuenta con dos fuentes de abastecimiento: una por medio de la toma domiciliada del sistema de acueducto de Caracas y el sistema de extracción del pozo subterráneo. El sistema principal, proveniente del acueducto de Caracas, cuenta con una presión de 50 m.c.a. que es suficiente para realizar el llenado de dos tanques que cuentan con una capacidad de 150.000 litros cada uno. El agua proveniente del pozo es extraída, filtrada y bombeada hacia un tanque enterrado que cuenta con una capacidad de 180.000 litros, esta es finalmente clorada y bombeada por medio de un sistema hidroneumático que se encarga de llevar el agua del tanque hasta las instalaciones deportivas. La ubicación de todas estas estructuras se encuentran en el Anexo 5.

#### **4.1.2 DETERMINACIÓN DE DOTACIONES DEMANDA Y CONSUMO.**

Con base a la recolección de la información poblacional existente en la institución entre los años 2000 y 2005 (Tabla 4.1) se realizó una proyección demográfica para determinar el comportamiento poblacional en los años posteriores a la fecha en estudio (Grafica 4.1).

|             |                                  | N° de personas |           |           |           |           |           |
|-------------|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|             |                                  | 2000-2001      | 2001-2002 | 2002-2003 | 2003-2004 | 2004-2005 | 2014-2015 |
| Estudiantes | Administración y Contaduría      | 1566           | 1838      | 1877      | 2162      | 2117      | 2608      |
|             | Ciencias Sociales                | 751            | 811       | 819       | 989       | 963       | 496       |
|             | Comunicación Social              | 960            | 954       | 935       | 955       | 998       | 2640      |
|             | Derecho                          | 1516           | 1461      | 1313      | 1354      | 1375      | 488       |
|             | Economía                         | 467            | 424       | 454       | 387       | 441       | 719       |
|             | Educación                        | 1367           | 1394      | 1431      | 1342      | 1417      | 623       |
|             | Filosofía                        | 43             | 53        | 57        | 56        | 57        | 46        |
|             | Letras                           | 176            | 168       | 167       | 162       | 177       | 847       |
|             | Psicología                       | 386            | 369       | 370       | 375       | 348       | 664       |
|             | Ingeniería Civil                 | 436            | 433       | 434       | 419       | 430       | 922       |
|             | Ingeniería Industrial            | 971            | 954       | 934       | 960       | 795       | 779       |
|             | Ingeniería Informática           | 705            | 755       | 870       | 999       | 1104      | 153       |
|             | Ingeniería en Telecomunicaciones | -              | 233       | 554       | 791       | 915       | 659       |
|             | Postgrado                        | 1244           | 1251      | 1779      | 1595      | 2348      | 2500      |
|             | Sub-Total                        | 10588          | 11098     | 11994     | 12546     | 13485     | 14144     |

|          |                  |      |      |      |      |      |      |
|----------|------------------|------|------|------|------|------|------|
| Personal | Personal docente | 882  | 925  | 1004 | 1394 | 1481 | 1945 |
|          | Profesionales    | 85   | 89   | 96   | 100  | 131  | 186  |
|          | Empleados        | 158  | 166  | 178  | 209  | 248  | 257  |
|          | Residentes       | 9    | 9    | 9    | 11   | 11   | 11   |
|          | Sub-Total        | 1134 | 1189 | 1287 | 1714 | 1871 | 2399 |

|                |        |        |        |       |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| N° de personas | 11,722 | 12,287 | 13,281 | 14,26 | 15,356 | 16,543 |
|----------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|

Tabla 4.1 Estudio Poblacional entre el año 2000 y el 2005. (Sanchis & Zubillaga, 2005) e Información Poblacional de 2015.

Con la población suministrada para el año 2015 se determinaron factores de distribución (Tabla 4.2)

| 2015                  |                 |                        |                       |
|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
|                       | Población Total | Factor de Distribución | Población Distribuida |
|                       | Usuarios        | %                      | Usuarios              |
| N° Total de Alumnos   | 16.543          | 85,50%                 | 14.144                |
| Personal no Residente |                 | 14,44%                 | 2.389                 |
| Personal Residente    |                 | 0,07%                  | 11                    |

Tabla 4.2 Población Total en el Campus y su división según su estatus. Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenida la población se procedió a calcular las dotaciones totales en unidades de litros/días (Tabla 4.3)

| 2015                  |                    |                           |                          |                      |                |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|----------------|
|                       | Población<br>Total | Factor de<br>Distribución | Población<br>Distribuida | Dotación<br>Unitaria | Dotación Total |
|                       | Usuarios           | %                         | Usuarios                 | lts/per/día          | lts/día        |
| N° Total de Alumnos   | 16.543             | 85,50%                    | 14.144                   | 40,00                | 565.760,00     |
| Personal no Residente |                    | 14,44%                    | 2.389                    | 50,00                | 119.450,00     |
| Personal Residente    |                    | 0,07%                     | 11                       | 200,00               | 2.200,00       |
|                       |                    |                           |                          | Total (lts/día)      | 687.410,00     |

Tabla 4.3 Dotación diaria estimada para la población de 2015. Elaboración Propia

Posteriormente se determinó la dotación requerida por las edificaciones según los usos de cada área (Tabla 4.4). A partir de esta información se determinará que instalación podría sustituir su abastecimiento del acueducto por

|                        | Unidades       | Factor de crecimiento | Superficie 2005 | Superficie 2015 | Dotación Unitaria (lts/día/unid) | Dotación Total (lts/día) |
|------------------------|----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|
| Oficinas               | m <sup>2</sup> | 1,250                 | 6.762,59        | 8.453,24        | 6,00                             | 50.719,43                |
| Depositos              |                | 1,200                 | 5.027,47        | 6.032,96        | 0,50                             | 3.016,48                 |
| Cafetines              |                | 1,100                 | 1.316,64        | 1.448,30        | 60,00                            | 86.898,24                |
| Centros de Fotocopiado |                | 1,075                 | 262,18          | 281,84          | 20,00                            | 5.636,87                 |
| Capilla                |                | 1,050                 | 546,29          | 573,60          | 0,50                             | 286,80                   |
| Banco                  |                | 1,050                 | 118,14          | 124,05          | 20,00                            | 2.480,94                 |
| Librerías              |                | 1,125                 | 177,79          | 200,01          | 20,00                            | 4.000,28                 |
| Gimnasio               |                | 1,125                 | 54,40           | 61,20           | 6,00                             | 367,20                   |
| Auditorios             | N° Asientos    | 1,150                 | 1.305,00        | 1.500,75        | 3,00                             | 4.502,25                 |
|                        |                |                       |                 |                 | Total (lts/día)                  | 157.908,48               |

Tabla 4.4 Dotación requerida por instalación basándose en el Factor proyectado en 2005. Elaboración Propia.

Finalmente, se estableció la demanda total requerida por la institución (Tabla 4.5) equivalente a 845.318,48 lts/día y una aproximación de la distribución porcentual de consumo por área. (Tabla 4.6) destacándose que el consumo de las aulas representa 44,86%

| Dotacion   | Dotación | Población | Dotación      | Dotación Final<br>para el año<br>2015 |
|------------|----------|-----------|---------------|---------------------------------------|
| lts/día    | lts/seg  | pers.     | ltr/pers./día | m <sup>3</sup> /mes                   |
| 845.318,48 | 9,99     | 16.543    | 51,10         | 25.359,55                             |

Tabla 4.5 Dotación total requerida por la instalación. Elaboración Propia.

|                                       | Distribución<br>de Consumo<br>(%) | Dotación (lps) |      |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------|------|
|                                       |                                   | 2005           | 2015 |
|                                       |                                   | 9,05           | 9,99 |
| Laboratorios                          | 17,26                             | 1,56           | 1,72 |
| Aulas                                 | 44,86                             | 4,06           | 4,48 |
| Post Grado                            | 9,59                              | 0,87           | 0,96 |
| Cincuentenario                        | 17,32                             | 1,57           | 1,73 |
| Rectorado                             | 0,91                              | 0,08           | 0,09 |
| Biblioteca                            | 2,84                              | 0,26           | 0,28 |
| Centro Loyola                         | 1,04                              | 0,09           | 0,10 |
| Feria                                 | 3,46                              | 0,31           | 0,35 |
| Casa del Estudiante                   | 0,78                              | 0,07           | 0,08 |
| Residencia de los<br>Padres           | 1,88                              | 0,17           | 0,19 |
| Mantenimiento                         | 0,06                              | 0,01           | 0,01 |
| Incendio hidrante más<br>desfavorable | 0                                 | 0,00           | 0,00 |

Tabla 4.6 Dotación distribuida entre las edificaciones existentes en el campus. Elaboración propia.

#### 4.1.3 COSTOS INVOLUCRADOS EN EL CONSUMO DE AGUA POTABLE PROVENIENTE DEL ACUEDUCTO.

Con base en la información obtenida de la facturación del agua potable, se realizaron los cálculos de los gastos involucrados con las mencionadas dotaciones respaldándose en los costos por m<sup>3</sup> establecidos por el ente rector, HIDROCAPITAL, (Tabla .4.7) para la factura del mes de Septiembre de 2014 (Tabla 4.8 y Anexo 6) en la que se refleja un consumo real de 8.233,00 m<sup>3</sup>/mes para el mes e implica un costo de Bs. 117.549,12.

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| Costo hasta la dotacion (Bs.)          | 4,275 |
| Costo desde dot. Hasta 1,5x dot. (Bs.) | 7,6   |
| Costo después de 1,5x dotación (Bs.)   | 13,3  |

Tabla 4.7 Costos de agua estipulados por HIDROCAPITAL

|                                     | Asignada<br>actualmente |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Dotación (m <sup>3</sup> /mes)      | 383,00                  |
| Consumo Real (m <sup>3</sup> /mes)  | 8.233,00                |
| Pago fijo (Bs.)                     | 273,60                  |
| Pago hasta la dotacion (Bs.)        | 1.637,33                |
| Pago 1,5 dotacion (Bs.)             | 1.459,20                |
| Pago después de 1,5x dotación (Bs.) | 101.858,05              |
| Pago total (Bs.)                    | 104.954,58              |
| Pago con Impuesto (Bs.)             | 117.549,12              |

Tabla 4.8 Factura de HIDROCAPITAL.

## 4.2 DISPONIBILIDADES DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE ORIGEN PLUVIOMETRICO

### 4.2.1 ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA PARA LAMINA LLUVIA DIARIA

Se determinó que para los datos de lámina de lluvia diaria la mejor estación de meteorología es el Observatorio Cajigal, ya que es el que cuenta con más registros y mayor consistencia en sus datos. Las otras 3 estaciones restantes, aparte de tener menor año de registros, presentan una gran cantidad de inconsistencias de datos especialmente en meses de época de lluvia.

| Estación             | Número de Meses Registrados con Lámina Diaria | Tiempo de Registro (años) |
|----------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|
| Hacienda Mamera      | 156                                           | 12                        |
| Hacienda Montalbán   | 276                                           | 25                        |
| La Rinconada         | 204                                           | 16                        |
| Observatorio Cajigal | 1068                                          | 83                        |

Tabla 4.9 Registros obtenidos por estación. Elaboración propia.

#### 4.2.2 ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA PARA ESTUDIO DE INTENSIDADES, FRECUENCIA, DURACIÓN.

De manera análoga se estudiaron las 4 estaciones antes mencionadas y nuevamente la que presentaba mayor número registros es la estación de Observatorio Cajigal pero para lluvias de duración de 1hr en adelante. Esto representa un inconveniente ya que el tiempo de concentración de las cuencas es de 5min. La estación de La Rinconada sí cuenta con registro de lluvias de 5min de duración en adelante y como se puede apreciar (Tabla 4.10, Tabla 4.11, Gráfico 4.1 y 4.2) los datos para lluvias mayores a 1hr entre las estaciones de Cajigal y La Rinconada dan resultados en el mismo orden. Por este motivo se determinó que para los estudios de intensidad frecuencia duración se utilizaran los datos de La Rinconada.

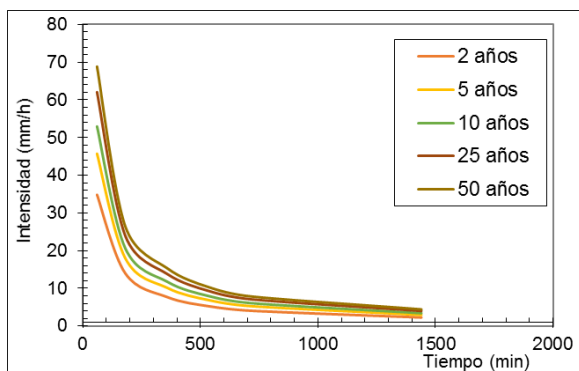
| INTENSIDADES (mm/h) |   |    |    |    |      |     |      |      |      |     |      |
|---------------------|---|----|----|----|------|-----|------|------|------|-----|------|
| Tr (años)           | 5 | 10 | 15 | 30 | 60   | 120 | 180  | 360  | 540  | 720 | 1440 |
| 2                   |   |    |    |    | 34,8 |     | 14   | 7,6  | 5,2  | 4   | 2,3  |
| 5                   |   |    |    |    | 45,7 |     | 18   | 10,1 | 6,8  | 5,3 | 2,9  |
| 10                  |   |    |    |    | 52,9 |     | 20,6 | 11,7 | 7,9  | 6,1 | 3,4  |
| 25                  |   |    |    |    | 62,1 |     | 24   | 13,7 | 9,2  | 7,1 | 4    |
| 50                  |   |    |    |    | 68,8 |     | 26,5 | 15,3 | 10,2 | 7,8 | 4,4  |

Tabla 4.10 Análisis de intensidad de lluvia en Observatorio Cajigal, Elaboración propia

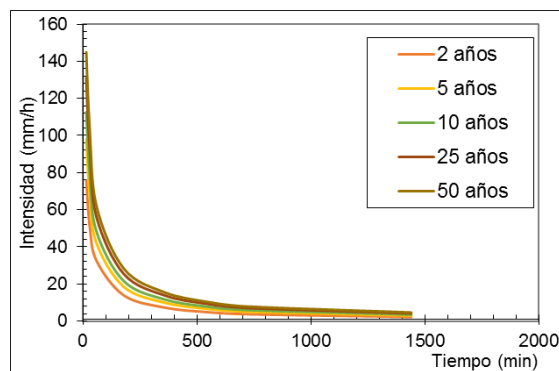
| INTENSIDADES (mm/h) |       |       |       |       |      |     |      |      |      |     |      |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|-----|------|
| Tr (años)           | 5     | 10    | 15    | 30    | 60   | 120 | 180  | 360  | 540  | 720 | 1440 |
| 2                   | 111,8 | 93,7  | 75,6  | 51    | 32,5 |     | 13,8 | 7,3  | 4,9  | 3,7 | 2,2  |
| 5                   | 136,8 | 119,6 | 97,8  | 67,7  | 41,9 |     | 18,4 | 9,9  | 6,7  | 5,1 | 3    |
| 10                  | 153,4 | 136,8 | 112,5 | 78,8  | 48,1 |     | 21,5 | 11,6 | 7,9  | 5,9 | 3,5  |
| 25                  | 174,3 | 158,5 | 131,1 | 92,8  | 56   |     | 25,3 | 13,8 | 9,4  | 7,1 | 4,1  |
| 50                  | 189,9 | 174,6 | 144,9 | 103,2 | 61,8 |     | 28,2 | 15,4 | 10,5 | 7,9 | 4,6  |

Tabla 4.11 Análisis de intensidad de lluvia en La Rinconada, Elaboración propia.





Gráfica 4.1 I.F.D. Estación Observatorio Cajigal



Gráfica 4.2 I.F.D. Estación La Rinconada

#### 4.2.3 DISPONIBILIDADES DE LLUVIA PARA SUPERFICIES IMPERMEABLES.

Se analizaron un total de 32.142 días durante los años de 1900 y 1987 años. De este registro son notorio algunos datos en particular (Tabla 4.12). Nótese como el 66% de los datos son iguales a cero y sólo el 34% de los datos cuentan con precipitación, de los cuales el 25% es mayor a 1mm y el 9% es menor a 1mm. Ese 9% de datos cuenta con una gran fuente de error debido muchos factores: errores de medición, apreciación del pluviómetro, distribución de la lluvia en el día y hasta factores como la tensión superficial del agua y las otras variables climatológicas etc. De forma general, un pluviómetro no está diseñado para reportar décimas de milímetros y son las lluvias pequeñas las que pueden dar un mayor porcentaje de garantía.

| %         | Nº datos     | Observación                    |
|-----------|--------------|--------------------------------|
| 100       | 32142        | Totales                        |
| 66        | 21016        | iguales a 0                    |
| <b>34</b> | <b>11126</b> | <b>Datos con precipitación</b> |
| 9         | 2903         | Entre 1 y 0 mm                 |
| 25        | 8223         | mayores a 1mm                  |

Tabla 4.12 Porcentajes de Datos relevantes. Elaboración propia

Para el método del NRCS, cuando  $I_a = 0,2 S$  (Tabla 4.10), se ordenaron los resultados de la siguiente forma: dado un área de recolección (superficie de techo o vialidad) y un área que se desee regar o un volumen que se desea obtener, se obtenga un porcentaje de garantía en el tiempo. El mismo procedimiento se repitió para el caso en el que  $I_a = 0$  (Tabla 4.11). La variación

de las abstracciones iniciales ( $I_a$ ) tiene como finalidad comparar 2 casos: uno donde la superficie tenga unas pérdidas iniciales conservadoras y otro donde no exista dichas pérdidas. Se tomó la media aritmética entre ambos para los resultados definitivos (Tabla 4.15 y Tabla 4.16).

| Área regable (m <sup>2</sup> ) | Área de Recolección (m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                |                                       | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                | 100                                   | 12  | 18  | 20   | 21   | 22   | 23   | 23   | 24    |
|                                | 500                                   | 4   | 12  | 15   | 18   | 19   | 20   | 21   | 21    |
|                                | 1000                                  |     | 9   | 12   | 15   | 17   | 18   | 19   | 20    |
|                                | 2000                                  |     |     | 9    | 12   | 15   | 17   | 18   | 19    |
|                                | 4000                                  |     |     |      | 9    | 12   | 14   | 15   | 16    |
|                                | 6000                                  |     |     |      |      | 9    | 12   | 13   | 15    |
|                                | 8000                                  |     |     |      |      |      | 11   | 12   | 13    |
|                                | 10000                                 |     |     |      |      |      |      | 11   | 12    |

Tabla 4.13 Método NRCS para  $I_a=0,2*S$  para Área Regable, Elaboración Propia.

| Volumen disponible (m <sup>3</sup> ) | Área de Recolección(m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                      |                                      | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                      | 0,2                                  | 12  | 18  | 20   | 21   | 22   | 23   | 23   | 24    |
|                                      | 1                                    | 4   | 12  | 15   | 18   | 19   | 20   | 21   | 21    |
|                                      | 2                                    |     | 9   | 12   | 15   | 17   | 18   | 19   | 20    |
|                                      | 4                                    |     |     | 9    | 12   | 15   | 17   | 18   | 19    |
|                                      | 8                                    |     |     |      | 9    | 12   | 14   | 15   | 16    |
|                                      | 12                                   |     |     |      |      | 9    | 12   | 13   | 15    |
|                                      | 16                                   |     |     |      |      |      | 11   | 12   | 13    |
|                                      | 20                                   |     |     |      |      |      |      | 11   | 12    |

Tabla 4.14 Método NRCS para  $I_a=0,2*S$  para Volumen Disponible, Elaboración Propia.

| Área regable (m <sup>2</sup> ) | Área de Recolección (m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                |                                       | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                | 100                                   | 13  | 20  | 23   | 25   | 26   | 27   | 27   | 28    |
|                                | 500                                   | 5   | 13  | 17   | 20   | 22   | 23   | 24   | 25    |
|                                | 1000                                  |     | 10  | 13   | 17   | 19   | 21   | 22   | 23    |
|                                | 2000                                  |     |     | 10   | 13   | 17   | 19   | 20   | 21    |
|                                | 4000                                  |     |     |      | 10   | 13   | 15   | 17   | 18    |
|                                | 6000                                  |     |     |      |      | 10   | 13   | 15   | 17    |
|                                | 8000                                  |     |     |      |      |      | 12   | 13   | 15    |
|                                | 10000                                 |     |     |      |      |      |      | 12   | 13    |

Tabla 4.15 Método NRCS para  $0<I_a<0,2$  para Área Regable, Elaboración Propia.

| Volumen disponible (m <sup>3</sup> ) | Área de Recolección(m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                      |                                      | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                      | 0,2                                  | 13  | 20  | 23   | 25   | 26   | 27   | 27   | 28    |
|                                      | 1                                    | 5   | 13  | 17   | 20   | 22   | 23   | 24   | 25    |
|                                      | 2                                    |     | 10  | 13   | 17   | 19   | 21   | 22   | 23    |
|                                      | 4                                    |     |     | 10   | 13   | 17   | 19   | 20   | 21    |
|                                      | 8                                    |     |     |      | 10   | 13   | 15   | 17   | 18    |
|                                      | 12                                   |     |     |      |      | 10   | 13   | 15   | 17    |
|                                      | 16                                   |     |     |      |      |      | 12   | 13   | 15    |
|                                      | 20                                   |     |     |      |      |      |      | 12   | 13    |

Tabla 4.16 Método NRCS para  $0<I_a<0,2$  para Volumen Disponible; Elaboración Propia.

| Volumen disponible (m <sup>3</sup> ) | Área de Recolección(m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                      |                                      | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                      | 0,2                                  | 14  | 22  | 25   | 28   | 29   | 30   | 31   | 31    |
|                                      | 1                                    | 5   | 14  | 18   | 21   | 24   | 26   | 27   | 28    |
|                                      | 2                                    |     | 10  | 14   | 18   | 21   | 23   | 24   | 25    |
|                                      | 4                                    |     |     | 10   | 14   | 18   | 20   | 21   | 23    |
|                                      | 8                                    |     |     |      | 10   | 14   | 16   | 18   | 20    |
|                                      | 12                                   |     |     |      |      | 10   | 14   | 16   | 18    |
|                                      | 16                                   |     |     |      |      |      | 12   | 14   | 16    |
|                                      | 20                                   |     |     |      |      |      |      | 12   | 14    |

Tabla 4.17 Método NRCS para  $I_a=0$  para Área Regable, Elaboración Propia

| Área regable (m <sup>2</sup> ) | Área de Recolección (m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                |                                       | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                | 100                                   | 14  | 22  | 25   | 28   | 29   | 30   | 31   | 31    |
|                                | 500                                   | 5   | 14  | 18   | 21   | 24   | 26   | 27   | 28    |
|                                | 1000                                  |     | 10  | 14   | 18   | 21   | 23   | 24   | 25    |
|                                | 2000                                  |     |     | 10   | 14   | 18   | 20   | 21   | 23    |
|                                | 4000                                  |     |     |      | 10   | 14   | 16   | 18   | 20    |
|                                | 6000                                  |     |     |      |      | 10   | 14   | 16   | 18    |
|                                | 8000                                  |     |     |      |      |      | 12   | 14   | 16    |
|                                | 10000                                 |     |     |      |      |      |      | 12   | 14    |

Tabla 4.18 Método NRCS para  $I_a=0$  para Volumen Disponible, Elaboración Propia.

| Área regable (m <sup>2</sup> ) | Área de Recolección (m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                |                                       | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                | 100                                   | 20  | 30  | 32   | 34   | 35   | 35   | 35   | 35    |
|                                | 500                                   | 5   | 20  | 26   | 29   | 32   | 34   | 34   | 34    |
|                                | 1000                                  |     | 10  | 20   | 26   | 29   | 31   | 32   | 32    |
|                                | 2000                                  |     |     | 10   | 20   | 26   | 28   | 29   | 30    |
|                                | 4000                                  |     |     |      | 10   | 20   | 23   | 26   | 28    |
|                                | 6000                                  |     |     |      |      | 10   | 20   | 23   | 24    |
|                                | 8000                                  |     |     |      |      |      | 12   | 20   | 23    |
|                                | 10000                                 |     |     |      |      |      |      | 12   | 20    |

Tabla 4.19 Método Racional C=0,95 para Área Regable, Elaboración Propia.

| Volumen disponible (m <sup>3</sup> ) | Área de Recolección(m <sup>2</sup> ) |     |     |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
|                                      |                                      | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
|                                      | 0,2                                  | 20  | 30  | 32   | 34   | 35   | 35   | 35   | 35    |
|                                      | 1                                    | 5   | 20  | 26   | 29   | 32   | 34   | 34   | 34    |
|                                      | 2                                    |     | 10  | 20   | 26   | 29   | 31   | 32   | 32    |
|                                      | 4                                    |     |     | 10   | 20   | 26   | 28   | 29   | 30    |
|                                      | 8                                    |     |     |      | 10   | 20   | 23   | 26   | 28    |
|                                      | 12                                   |     |     |      |      | 10   | 20   | 23   | 24    |
|                                      | 16                                   |     |     |      |      |      | 12   | 20   | 23    |
|                                      | 20                                   |     |     |      |      |      |      | 12   | 20    |

Tabla 4.20 Método Racional C=0,95 para Volumen Disponible, Elaboración Propia.

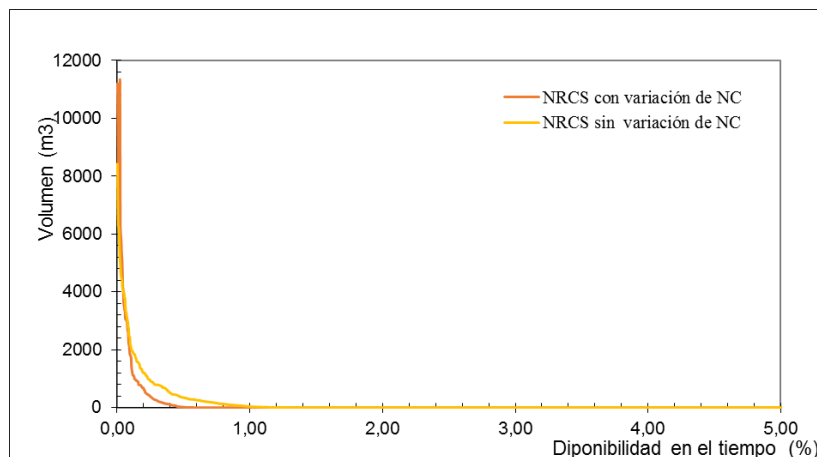
Debido al gran error que puede haber en las lluvias pequeñas (menores a 1mm), los resultados obtenidos por el método racional aparentemente están por encima de lo esperado. Ya que la única abstracción de este método lo representa el coeficiente de escorrentía, el cual se puede interpretar, para superficies impermeables  $c=0,95$ , que la escorrentía es el 95% de la precipitación. Situación que en eventos máximos pueden ser verdaderos, pero cuando las láminas están en el orden del milímetro no necesariamente es así. Por este motivo los resultados finales de la disponibilidad y ocurrencia de lluvia son los del NRCS, para el caso intermedio de las abstracciones iniciales (Tablas 4.15 y 4.16).

#### 4.2.4 DISPONIBILIDADES DE LLUVIA PARA SUPERFICIES PERMEABLES.

Las cuencas 2 y 3 (Ilustración 3.2) presentan características muy similares: sus áreas tributarias son 371.657 m<sup>2</sup> y 366.286 m<sup>2</sup> respectivamente, cuentan con un tiempo de concentración de 5min y vegetación abundante en ambos casos. Para determinar el porcentaje de disponibilidad (Tabla 4.21, Gráfica 4.3), se utilizaron los mismos datos de lámina de precipitación diaria que en el estudio de las superficies impermeables. Se fijaron las variables de volumen de los tanques destinados a riego (18.000 mil litros de capacidad) y se estableció una área tributaria general de 387.000m<sup>2</sup>.

| Método                   | Disponibilidad |
|--------------------------|----------------|
| NRCS con variación de NC | 0,50%          |
| NRCS sin variación de NC | 1%             |
| Racional                 | 33,63          |

Tabla 4.21 Disponibilidad en el tiempo para las cuencas, Elaboración Propia



| Vol | Disponibilidad |        |          |
|-----|----------------|--------|----------|
|     | NRCS 1         | NRCS 2 | racional |
| 50  | 0,45           | 0,96   | 30,17    |
| 20  | 0,48           | 1,06   | 33,63    |
| 15  | 0,49           | 1,09   | 33,63    |
| 10  | 0,51           | 1,13   | 33,63    |
| 5   | 0,53           | 1,21   | 33,63    |
| 1   | 0,57           | 1,29   | 33,63    |

Grafica 4.3 Disponibilidad en el tiempo en las cuencas. Elaboración propia

Nuevamente los resultados del método racional se encuentran fuera del orden. Esto debido a que la pérdida asociada al coeficiente de escorrentía, es válida cuando el suelo está saturado, situación que no llega a alcanzarse con cualquier lluvia. Por ejemplo al ocurrir la mínima lluvia registrada (0,1mm) con un coeficiente de escorrentía de 0,5, se reporta un volumen 18.500 litros. Esto debido a la extensa área que tributa a la cuenca (370.000m<sup>2</sup>). Esta situación carece de sentido físico, ya que una lluvia tan pequeña no genera dicho volumen.

Los resultados de garantía del NRCS con variación de NC y sin variación de NC son prácticamente iguales. Esto debido a que cuando se evalúa la condición previa de humedad del suelo a los 5 días previos del evento, la mayoría de las veces entra en la condición seca y esto implica que el número de curvas asciende. Un ejemplo de cálculo sería evaluar lo que sucede entre los días del 16 y el 21 de mayo de 1975 (Tabla 4.22). Nótese como a pesar que el día 20 de mayo tiene una precipitación de 35,8mm ese día no reporta escorrentía debido a que la condición previa de humedad del suelo a los 5 días anteriores al evento suman 24,9mm, por lo cual entra en la condición de NC I (seco) y las abstracciones iniciales en ese caso son de 65,12mm las cuales son inferiores a las precipitaciones de dicho día. Para el día 21 de mayo, la condición de humedad previa aumenta a 56,6 por lo cual entra en la condición de NC III (húmeda) y las abstracciones iniciales para ese caso son menores que la precipitación de ese día y por ello reporta una escorrentía de 11,11mm. Para el caso en que no se varíe el número de curvas, entre los días del 20 y 21 de mayo únicamente reportaría escorrentía el 20 de mayo ya que la lámina de 35,8 supera las abstracciones iniciales para NC II y de manera contraria la precipitación del 21 de mayo no las supera.

| Condición inicial * |       |
|---------------------|-------|
| suelo seco          | 0-36  |
| suelo normal        | 36-53 |
| suelo húmedo        | >53   |

\*5 días previos

| Número de curva |        | S     | $I_a = 0,2 * S$ |
|-----------------|--------|-------|-----------------|
| seco            | Nc I   | 43,82 | 325,641026      |
|                 | Nc II  | 65,00 | 136,769231      |
| húmedo          | Nc III | 81,03 | 59,4648829      |

| Color                                                                               | Descripción |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|  | Escorrentía |
|  | $P > 11,89$ |
|  | $P > 27,35$ |

Tabla 4.22 parte 1. Ejemplo de cálculo para el año 1975 para el NRCS con variación de NC. Elaboración Propia.

| año      | 1975 |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      | año            | 1975 |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |
|----------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| día/ mes | 1    | 2   | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | día .v/ mes .h | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9     | 10   | 11   | 12   |
| 1        | 0,0  | 4,2 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 2,7  | 0,4  | 0,0  | 53,3 | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 1              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2        | 0,0  | 0,4 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 3,6  | 0,0  | 0,0  | 2,3  | 0,0  | 3,8  | 2              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3        | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 21,7 | 0,9  | 12,4 | 15,9 | 17,4 | 0,0  | 11,8 | 3              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7,19  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4        | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 3,3  | 24,2 | 3,8  | 0,7  | 23,6 | 0,8  | 1,2  | 7,6  | 4              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 13,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5        | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 1,6  | 4,5  | 11,7 | 3,5  | 13,4 | 0,0  | 7,5  | 5              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6        | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,2  | 0,0  | 0,0  | 4,1  | 0,7  | 4,9  | 7,3  | 6              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 7        | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,8  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 7              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 8        | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 5,0  | 0,0  | 0,0  | 9,6  | 8              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9        | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,6  | 0,0  | 1,3  | 13,0 | 11,8 | 9              | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,9  | 0,0  | 26,6 | 1,4  | 0,2  | 10             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 11       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 3,1  | 0,0  | 1,4  | 0,6  | 0,0  | 11             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 12       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,3  | 0,0  | 0,0  | 3,2  | 0,0  | 6,8  | 40,5 | 1,3  | 12             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 13       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 14,9 | 2,6  | 0,0  | 0,3  | 0,7  | 13             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 14       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 6,7  | 13,2 | 9,2  | 15,7 | 2,3  | 0,5  | 14             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 15       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 13,0 | 0,3  | 0,3  | 0,0  | 8,2  | 15             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 16       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 24,8 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 2,3  | 11,2 | 0,0  | 0,0  | 16             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 17       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,8  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 17             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 18       | 0,1  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 33,0 | 13,7 | 0,0  | 8,3  | 0,0  | 0,0  | 18             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 19       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 8,0  | 0,0  | 0,5  | 36,0 | 0,0  | 3,3  | 19             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 20       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 35,8 | 17,2 | 1,1  | 0,0  | 23,2 | 0,0  | 0,0  | 0,4  | 20             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 21       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 20,7 | 0,4  | 0,0  | 33,8 | 3,3  | 1,4  | 0,0  | 0,0  | 21             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 22       | 0,0  | 0,2 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 3,0  | 0,0  | 0,0  | 7,8  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 22             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 23       | 4,2  | 1,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,3  | 0,8  | 23             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24       | 1,0  | 0,5 | 0,0 | 0,0  | 2,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,8  | 1,2  | 0,0  | 4,1  | 24             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,4  | 0,3  | 0,0  | 0,1  | 3,5  | 0,0  | 17,9 | 0,0  | 1,5  | 25             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 26       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,3  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 2,0  | 0,0  | 0,9  | 0,9  | 4,7  | 26             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 27       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 1,0  | 0,0  | 0,0  | 0,2  | 0,0  | 8,2  | 11,2 | 0,4  | 1,5  | 27             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 28       | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 28             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 29       | 0,0  |     | 0,0 | 19,5 | 3,2  | 0,0  | 0,2  | 0,0  | 0,5  | 0,0  | 0,3  | 0,0  | 29             | 0,00 |      | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 30       | 0,0  |     | 0,0 | 1,0  | 0,7  | 1,1  | 0,0  | 16,2 | 1,1  | 9,9  | 0,0  | 0,0  | 30             | 0,00 |      | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 31       | 0,0  |     | 0,0 |      | 0,0  |      | 0,0  | 47,2 |      | 5,3  |      | 1,0  | 31             | 0,00 |      |      |      | 0,00  |      | 0,00 | 0,00 |       | 0,00 |      | 0,00 |

Tabla 4.22 parte 2. Ejemplo de cálculo para el año 1975 para el NRCS con variación de NC. Elaboración Propia

### 4.3 PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL.

#### 4.3.1 SUPERFICIES IMPERMEABLES

Con el fin de analizar las capacidades de recolección de agua pluvial en las diferentes zonas del campus, de los posibles usos riego, consumo humano y mantenimiento en los que se puede utilizar el agua de lluvia, se procedió a evaluar el área total que requiere riego por zona y en base a la capacidad de recolección de la zona, con el fin de establecer inicialmente los se determinó el porcentaje de tiempo en el que se puede sustituir el consumo, la facilidad de captación y el nivel de tratamiento requerido para este uso. (Tabla 4.23) el factor de peso para la toma de decisiones es la Disponibilidad en el tiempo.

| Zona | Superficie de recolección | Área a regar m² | Área recolectar m² | Disponibilidad en el tiempo % | Nivel de tratamiento | Facilidad de captación | Califica       |
|------|---------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|----------------|
| N°1  | Techo                     | 8.901,77        | 6.019,81           | 11                            | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 12.042,07          | 14                            | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°2  | Techo                     | 5.077,61        | 4.645,31           | 12                            | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 13.674,78          | 17                            | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°3  | Techo                     | 1.659,20        | 2.406,37           | 15                            | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 0                  | -                             | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°4  | Techo                     | 1.439,39        | 3.553,48           | 16                            | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 9.355,25           | 21                            | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°5  | Techo                     | 13.115,87       | 244,55             | 0                             | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 0                  | -                             | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°6  | Techo                     | 1.600,05        | 2.844,48           | 16                            | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 1.360,72           | 12                            | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°7  | Techo                     | 8.428,92        | 3.641,81           | 8                             | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 16.674,50          | 16                            | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°8  | Techo                     | 28.408,28       | 423,56             | 0                             | bajo                 | baja                   | Consideración  |
|      | Vialidad                  |                 | 4.928,79           | 3                             | alto                 | baja                   | No Califica    |
| N°9  | Techo                     | 12.810,97       | 3.915,34           | 6                             | medio                | media*                 | Consideración* |
|      | Vialidad                  |                 | 1.360,33           | 2                             | alto                 | baja                   | No Califica    |

Tabla 4.23 Análisis de la prefactibilidad de aprovechamiento pluvial en las diferentes zonas del campus.

Al analizar la factibilidad de la utilización del agua captada se pudo observar que en lo que respecta a la disponibilidad del tiempo en la que se puede realizar la captación, ninguno de los resultados obtenidos cumple con lo estimado para optar a la certificación LEED pero de igual modo es posible sustituir parte del consumo de agua de riego realizado por la institución (Tabla 4.24) esta situación se repite en la mayoría de las zonas en la que se subdividió el campus con excepción de la Zona 5, la vialidad de la Zona 3 y el techo de la Zona 8 lo que las descalifica inmediatamente.

|                                                          |        |                     |
|----------------------------------------------------------|--------|---------------------|
| Volumen generado por zonas impermeables según la demanda | 162,88 | m <sup>3</sup> /día |
| Grado de abastecimiento                                  | 13,50  | %                   |

Tabla 4.24 Volumen y grado de abastecimiento del agua captada en todas las superficies impermeables para abastecer las demandas de riego. Elaboración propia.

El análisis del agua proveniente de los techos de las instalaciones nos arroja un resultado positivo en la mayoría de los casos, puesto que el nivel de tratamiento para esta superficie de contacto es bajo y cuenta con un grado de abastecimiento razonable (Tabla 4,25), esta observación se basa en lo observado en la Tabla 2.7 donde se refiere que el agua captada en los techos es apta para el consumo humano ya que cuenta con un nivel de contaminación mínimo lo que implica que puede utilizarse para riego sin mayor tratamiento adicionalmente se respalda esta información con lo estipulado en el Decreto 883 donde se indica que el agua proveniente de los techos entra en la calidad Tipo 1, Sub-Tipo 1A, el inconveniente que se presenta para este tipo de captación es la intervención que debe hacerse a los bajantes, ya que implica la remodelación de algunas zonas de la edificaciones y es por esta razón que se califica a consideración del ente ejecutor. El análisis del área techada de la Zona A9 se realizará de manera más detallada en otro punto.

|                                                  |        |                     |
|--------------------------------------------------|--------|---------------------|
| Volumen generado por los techos según la demanda | 162,88 | m <sup>3</sup> /día |
| Grado de abastecimiento                          | 7,40   | %                   |

Tabla 4.25 Volumen y grado de abastecimiento del agua captada en los techos para abastecer las demandas de riego. Elaboración propia



Cuando se evalúa la factibilidad del agua captada en la vialidad de las diferentes zonas de la institución la situación es diferente a la existente en los techos ya que su calidad es baja por lo que requiere un alto nivel de tratamiento para eliminar los aceites y grasas y posibles restos de combustible adicional a esto la facilidad de captación para estas superficies es baja, tanto por su falta de variación de cotas y porque implica la intervención de la vialidad para asegurar el buen funcionamiento del sistema además de establecer la redirección del mismo por lo que se considera que el agua proveniente de este tipo de superficies No Califica.

Si se comparan los resultados obtenidos al calcular el volumen de demanda de agua potable del campus sobre la red de acueductos (Tabla 4.26) con el volumen de riego requerido (Tabla 4,25), el segundo nos arroja una diferencia volumétrica de 731% por debajo.

|                                |         |                     |
|--------------------------------|---------|---------------------|
| Volumen de demanda del campus  | 1191,00 | m <sup>3</sup> /dia |
| Grado de abastecimiento Techos | <1      | %                   |

Tabla 4.26 Volumen pluvial recolectado en todas las, Elaboración propia.

Considerando que el grado de abastecimiento en el tiempo para los requerimientos de riego realizados por captaciones en los techos de los edificaciones de las institución arroja un porcentaje de 7,40% y que el volumen de abastecimiento para riego es significativamente menor que el volumen de las demandas de agua potable, se establece que el grado de abastecimiento para los requerimientos de agua potable será menor al 1%.

#### 4.3.2 SUPERFICIES PERMEABLES

Al referirnos a superficies permeables, se hace referencia a las cuencas naturales ubicadas hacia el este del campus (ilustración 3.2). Las cuencas cuentan con grandes áreas de captación, y un nivel de tratamiento bajo como consecuencia de la baja intervención humana existentes en ellas. Sin embargo, el criterio establecido en la Tabla 3.4, descarta las superficies con bajo grado de disponibilidad en el tiempo.

#### **4.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN PLUVIAL**

##### **4.4.1 INSTALACIONES DEPORTIVAS (ZONA A8)**

La zona deportiva, zona A8, es un área que está retirada hacia el lado sur este de la universidad. Su acceso es una vía de aproximadamente 300m de largo con 30m de desnivel. Está compuesta principalmente por zonas verdes: campos de fútbol, béisbol, y taludes con vegetación. Existe una edificación de 4 plantas donde se encuentra un gimnasio, zona de baños y duchas para los deportistas y la coordinación de deportes de la UCAB.

Para el abastecimiento de agua esta zona, se cuenta con dos sistemas: uno para abastecer de agua potable a la edificación, que cuenta con un tanque (a nivel del campo de fútbol) que se alimenta por una aducción a gravedad desde los tanques principales de la universidad. El otro sistema es para uso de riego, cuenta con dos tanques (a nivel del campo de béisbol) conectados que en conjunto tienen una capacidad aproximada de 18.000 litros, suficiente para regar 2-3 días, estos se alimentan por medio del bombeo proveniente directamente desde la toma del pozo. Ambos sistemas cuentan con su propia sala de hidroneumáticos.

Al pie de la montaña, parte posterior al jardín izquierdo del campo de béisbol, se encuentra una obra de drenaje de importancia compuesta por una torrentera y una alcantarilla la cual tiene como objetivo drenar el agua de las crecientes de una quebrada que tiene una cuenca natural de 386.949m<sup>2</sup> de área tributaria. La torrentera tiene 18 escalones para un total de 14,35m de desnivel, entre el final de la torrentera y la entrada de la alcantarilla se encuentra una estructura disipadora y la alcantarilla es una tubería de concreto de 1m de diámetro. ( Anexo 7).

Se realizó un levantamiento topográfico para determinar la diferencia de cota entre unos puntos de particular interés para poder establecer la ubicación de los componentes del sistema para que este trabaje a gravedad (Anexo 8) (Ilustración 4.1). De dicho estudio se descartó la posibilidad de ubicar la toma a la entrada de la alcantarilla ya que no existe suficiente desnivel para poder llevar el fluido a los tanques por gravedad. Por ende se ubicó la toma aguas arriba a la torrentera. En este sitio se cuenta con suficiente espacio para ubicar la toma y el

desarenador de manera que este pueda descargar los sedimentos hacia la torrentera nuevamente (Anexo 9)

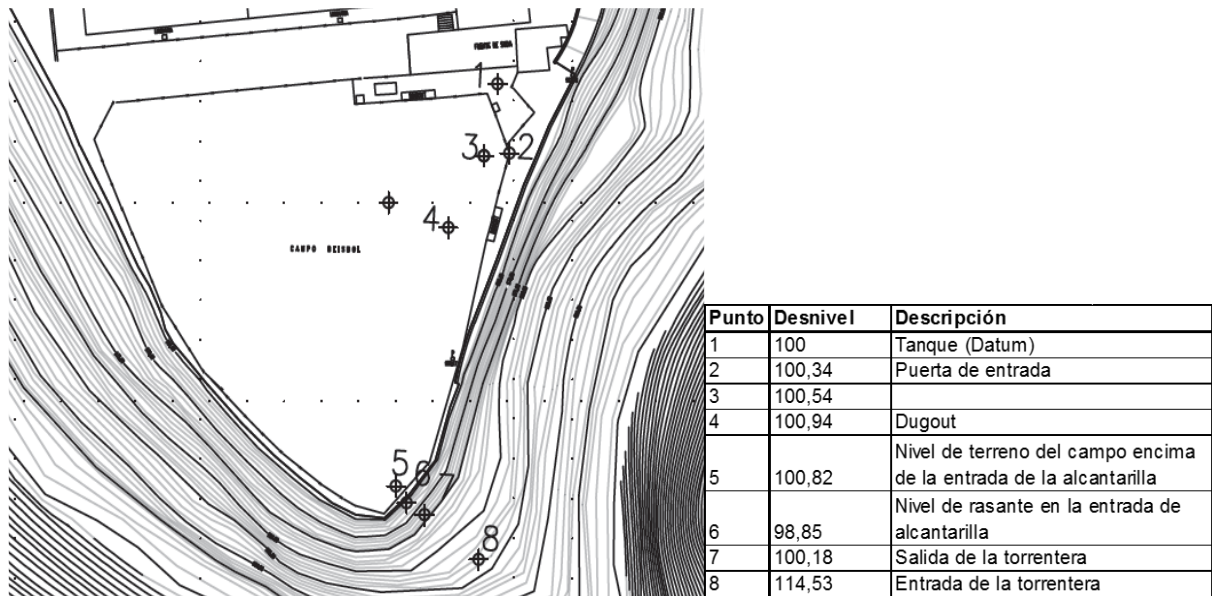


Ilustración 4.1 Puntos de medición topográfica en la zona A8

#### **4.4.1.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE LLUVIA EN CUENCAS.**

Se continuará con el esquema de la Ilustración 3.4. Es común en sistemas que trabajen por gravedad conseguir taquillas rompe cargas. No es necesario esta estructura ya que no se esperan presiones elevadas. El predimensionado busca establecer las dimensiones aproximadas de las distintas estructuras y verificar que en efecto se puedan construir en el espacio que se tiene previsto.

- Caudal de diseño

Para aprovechar al máximo, se fijó un tiempo de llenado de los tanques de 5min. Par un volumen de 18.000litros, se obtiene un caudal de diseño  $Q_d = 0,06m^3/s$

- Conducto 1 (C1) (Tabla 4.27).

| Diámetro del Tubo |        | Constante<br>$K=1/n \times Ax$<br>$R^{2/3}$ | Rugosidad<br>$n$ | S     | Capacidad | k         |
|-------------------|--------|---------------------------------------------|------------------|-------|-----------|-----------|
| pulgadas          | metros |                                             |                  |       |           |           |
| 12                | 300    | 0,8743                                      | 0,015            | 0,005 | 0,06      | 0,8485281 |

Tabla 4.27 Diámetro de C1 Elaboración propia

- Desarenador

El desarenador estará ubicado en la margen derecha de la torrentera (ver foto tal).

Los pasos de los cálculos se muestra en el (Anexo 10) 1231. Las dimensiones de la zona de sedimentación para una partícula de 0,1cm de diámetro un ancho de la zona de sedimentación (a) de 0,8m, un largo (L) de 3m y una profundidad (P) de 0,5m. Añadiéndole la zona de entra y de salida más los bordes de los muros 1m se debe dejar un área en planta para esta estructura de 2 x 4m.

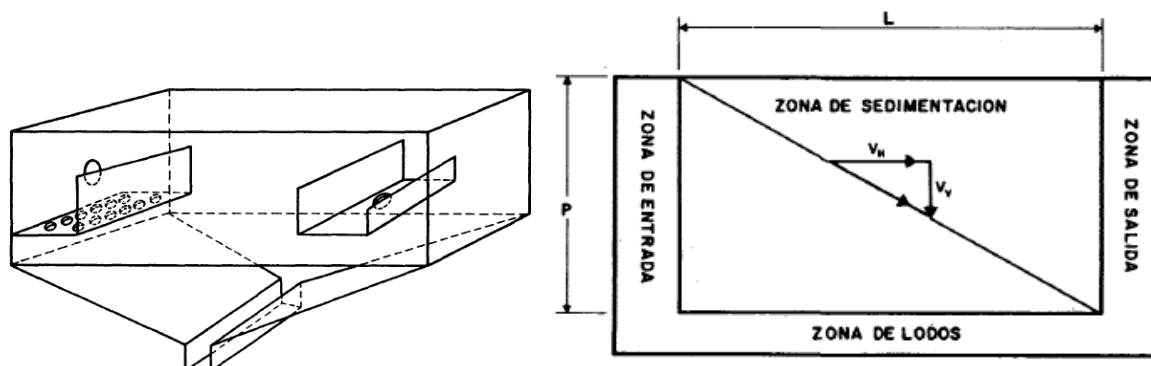


Ilustración 4.2 Esquema transversal del desarenador

- Conducto 2 (C2)

Este conducto dependerá directamente de la ubicación del desarenador con la toma. El diámetro de esta tubería debe ser mayor que el C1 para evitar que se queden sedimentos acumulados en él. Diámetro = 16 pulgadas

- Toma

La toma será una rejilla de fondo ubicada en el primer escalón aguas arriba de la torrentera, el cual debe ser modificado (Ilustración 4.3).

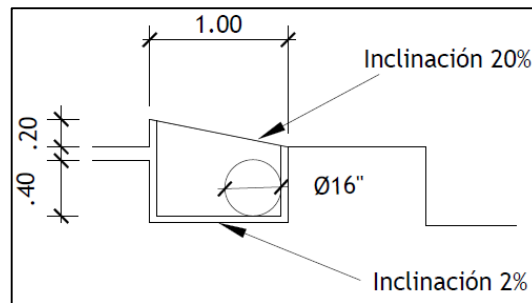


Ilustración 4.3 Vista lateral de la toma

La rejilla contará con las dimensiones y características se reflejan posteriormente (Tabla 4.28) (Anexo 11):

| Variable | Medida | Observación               |
|----------|--------|---------------------------|
| f (%)    | 20     | Porcentaje de obstrucción |
| t        | 3/8"   | Ancho de barras           |
| i        | 0,2    | Inclinación               |
| L        | 1m     | Longitud                  |
| b        | 0,3    | Ancho                     |
| a        | 5cm    | Apoyo                     |

Tabla 4.28 Dimensiones de la rejilla

#### 4.4.2 RESIDENCIA DE LOS PADRES (ZONA A9)

La Zona A9 cuenta con un acceso de 250m de largo y 10 m de desnivel, el área techada de esta zona presenta dos comportamiento distintos debido a que la superficie menciona se encuentra dividida en dos edificaciones diferentes, una de ellas en la Residencia de los Padres y la otra es el Archivos Generales (Tabla 4.10), las edificaciones se comunican a través de una vía de 160 m de largo y un desnivel de 15 m. El galpón de Archivos Generales se encuentra ubicado al mismo nivel que los tanques que almacenan el agua proveniente del acueducto en la universidad, es decir, una cota de 925 m.s.n.m. Al este de la Residencia de los Padres se encuentra un vivero y una cancha de frontón, detrás de la cual se encuentra dispuesta una obra de drenaje que tiene como objetivo desaguar las crecientes de la quebrada, la cual tiene un área tributaria de 389.489 m<sup>2</sup>. Sin embargo el acceso a este lugar está restringido por una barrera que delimita los terrenos de la universidad lo cual descarta su posibilidad de aprovechamiento.

#### 4.4.2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE LLUVIA EN EL TECHO DE ARCHIVOS GENERALES.

El estudio de intensidad frecuencia duración arroja que para una lluvia de duración de 10min y un periodo de retorno de 5 años, la intensidad es 120 mm/h, un techo de 980 m<sup>2</sup> (Ilustración 4.4) más el ancho de las canaletas de drenaje, ubicadas en lo lados de mayor longitud y los límites máximos establecidos en la norma 4044 (Tabla 4.29)

| intensidad de 120 lluvia mm/h |                                   |                 |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
|                               | Canal semicircular<br>10" (S= 1%) | Bajante<br>(4") |
| Área máxima m <sup>2</sup>    | 316                               | 300             |

Tabla 4.29 Áreas máximas de captación para canales y bajantes, elaboración propia fuente norma sanitaria

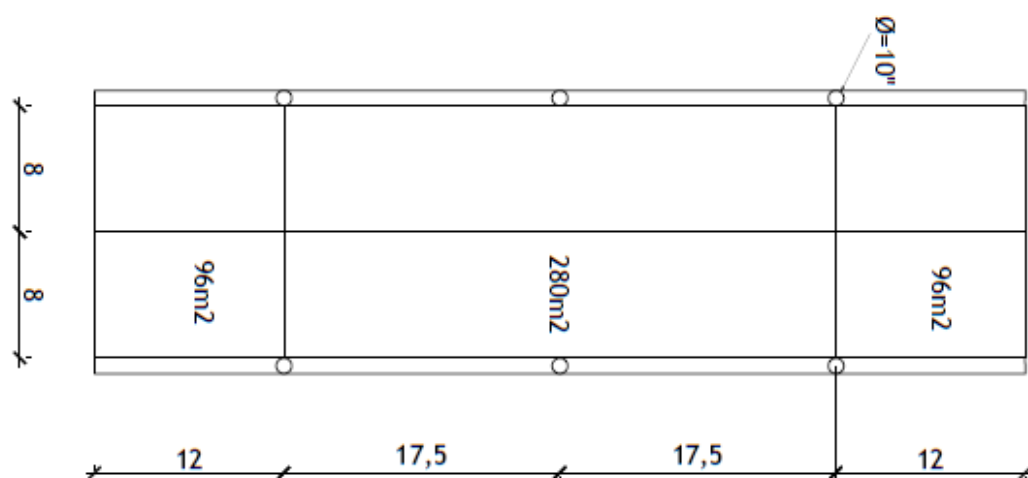


Ilustración 4.4 Dimensiones del techo de Archivo Generales.

En las superficies tipo techo se produce acumulación de hojas, restos orgánicos, entre otras cosas, lo que puede ser causa de la obstrucción del sistema de desagüe. Por este motivo se plantea la instalación de una serie de rejillas en las canaletas de drenaje ubicada en el techo del galpón y en el canal a través del cual actualmente se incorporan el agua al drenaje (Ilustración 4.), del mismo modo es requerido el redireccionamiento de las aguas a un filtro que se encargue

de eliminar, entre otras cosas, las partículas suspendidas que pueden generar la obstrucción del sistema de abastecimiento, la reducción del volumen de captación. Por ultimo será necesaria la construcción tanque de almacenamiento con la capacidad  $2 \text{ m}^3$  que es equivalente a un día de riego.

Se proponen dos sitios para la ubicación de los tanques, uno de ellos al oeste del galpón de Archivos Generales la inexistente diferencia de cota entre la zona de captación y la zona de almacenamiento obligaría a la implementación de un tanque subterráneo, el segundo sitio seria en la zona montañosa que se encuentra al sureste de la cancha de frontón.(Ilustración 4.5)

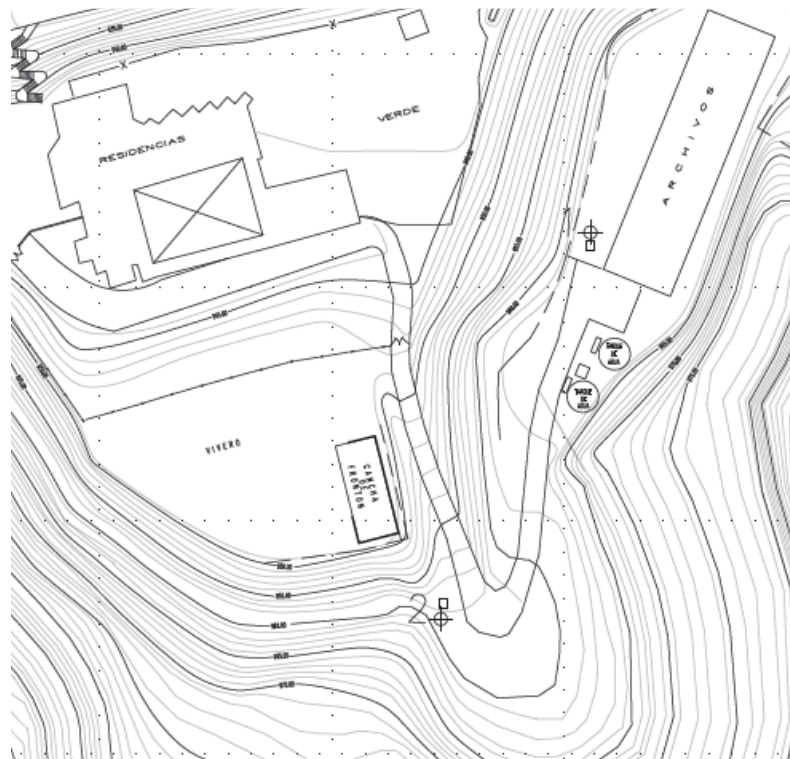


Ilustración 4.5 Sitios sugeridos para la instalación del sistema

#### **4.5FACTIBILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA CAPTADA.**

En este punto se establecerá el análisis de la factibilidad de la utilización de agua pluvial en las zonas A8 y A9.

#### **4.5.1 INSTALACIONES DEPORTIVAS (ZONA A8)**

##### **4.5.1.1 FACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL ÁREA PERMEABLE.**

El caso que se presentó en la cuenca como medio para explicar los métodos aplicados es común para todas las cuencas ubicadas en el campus universitario (Ilustración 3.2). El comportamiento obtenido de las quebradas arroja alrededor del 1% del tiempo con flujo lo que califica estas quebradas como intermitentes, una característica particular de ellas es que las veces que cuenta con flujo, debido al alto contenido de humedad de suelo lo que implica escurrimiento, la quebrada cuenta con caudales gran magnitud.

El porcentaje del 1% del tiempo descarta la opción de recolectar el agua escurrida en la Cuenca 2 ya que se considera despreciable.

##### **4.5.1.2 FACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL ÁREA IMPERMEABLE.**

Al referirnos a superficies impermeables, se hace referencia a los techos y vialidad existentes. Según las superficies analizadas para esta zona se obtuvo una disponibilidad en el tiempo de 0% y 3% respectivamente, por lo que se descarta la opción de utilizar esta superficie como una fuente de captación.

#### **4.5.2 RESIDENCIA DE LOS PADRES (ZONA A9)**

##### **4.5.2.1 FACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL ÁREA PERMEABLE**

Al igual que los casos anteriores de superficies permeables, esta zona no es factible para un aprovechamiento de la fuente pluvial debido a la baja disponibilidad en el tiempo del recurso hídrico.



#### 4.5.2.2 FACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL ÁREA IMPERMEABLE

Una vez obtenidas las áreas de ambos techos, se entró a la Tabla 4.14 con el fin de determinar la disponibilidad de tiempo en la que se puede abastecer las demandas de riego del vivero que del total de las zonas verdes fue la que se consideró más apropiada para el análisis de este estudio. Los resultados obtenidos arrojaron como la zona más factible para recolección al techo del galpón de Archivos Generales ya que cuenta con un sistema de drenaje externo a la estructura por lo que la intervención del mismo es altamente factible adicionalmente cuenta con una disponibilidad de tiempo del 13,84% lo que resulta aceptable para esta investigación ya que representa 2 meses de abastecimiento por captación de agua pluvial (Tabla 4.30).

| Zona | Superficie de recolección | Área a regar m <sup>2</sup> | Área recolectar m <sup>2</sup> | Disponibilidad en el tiempo % | Nivel de tratamiento | Facilidad de captación | Califica      |
|------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|---------------|
| Nº9  | Techo Res. de los Padres  | 1.000,00                    | 2.935,34                       | 19,43                         | bajo                 | baja                   | Consideración |
|      | Techo del Deposito        |                             | 980                            | 13,84                         | bajo                 | alta                   | Califica      |

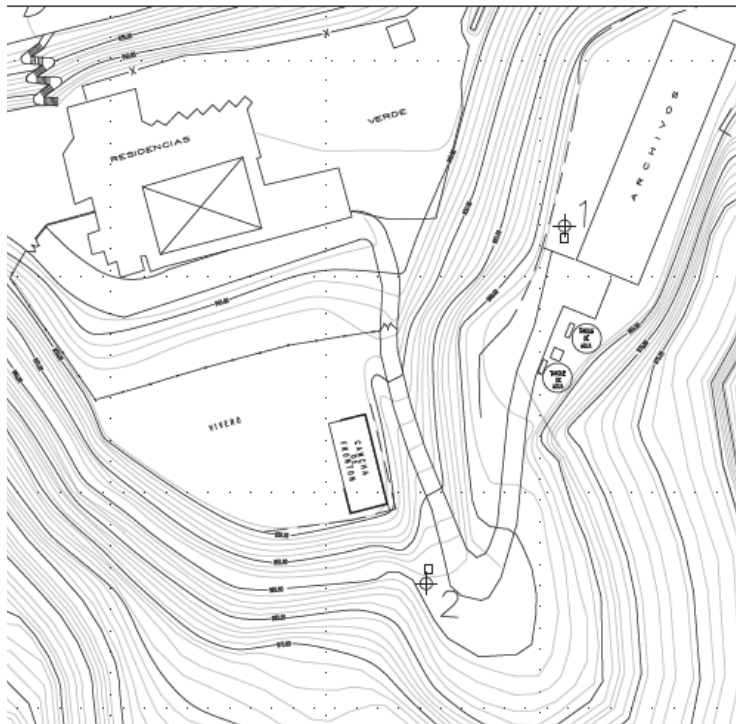
Tabla 4.30 Comparación entre los diferentes techos de la Zona A9.

Como es sabido en la superficies tipo techo se produce acumulación de hojas, restos orgánicos, entre otras cosas, lo que puede ser causa de la obstrucción del sistema de desagüe y por consiguiente la falla del sistema de captación de agua pluvial, es por este motivo que se plantea la instalación de una serie de rejillas en las canaletas de drenaje ubicada en el techo del galpón y en el canal a través del cual actualmente se incorporan el agua al drenaje (Ilustración 4.6), del mismo modo es requerido redireccionamiento de las aguas a un filtro que se encargue de eliminar, entre otras cosas, las partículas suspendidas que pueden generar la obstrucción del sistema de abastecimiento y la reducción del volumen de captación y por ultimo será necesaria la construcción tanque de almacenamiento con la capacidad 2 m<sup>3</sup> que es equivalente a un día de riego.



*Ilustración 4.6 Ejemplo de Rejilla en una canaleta de techo*

Se proponen dos sitios para la ubicación de los tanques, uno de ellos (sitio 1) en la zona donde se encuentran los dos tanques de almacenamiento de agua de la institución, la inexistente diferencia de cota entre la zona de captación y la zona de almacenamiento obligaría a la implementación de un tanque subterráneo, el segundo sitio (sitio 2) sería en la zona montañosa que se encuentra al sureste de la cancha de frontón. (Ilustración 4.7).



*Ilustración 4.7 Lugares sugeridos para la ubicación de las estructuras de almacenamiento y tratamiento.*

*Elaboración propia.*

## **CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.**

Se determinó que el techo del galpón de archivos generales es el sitio más factible para el aprovechamiento de la fuente pluvial. En este se puede desarrollar un sistema de aprovechamiento de fácil construcción y con la capacidad de captar un 13% del tiempo el volumen de agua requerido para satisfacer las demandas de riego del vivero de la Residencia de los Padres.

El potencial de aprovechamiento de aguas pluviales para abastecer las demandas totales de riego, determinó que en el campus existe una disponibilidad de captación en el tiempo de 13,50% que equivale a casi dos meses al año, considerando que todas las fuentes impermeables se emplearan como captación para abastecer las demandas de riego. Si se toma únicamente los techos como fuente de captación este porcentaje disminuye al 7,60% que es aproximadamente un mes al año, y si se decide emplear el agua para abastecimiento humano el porcentaje estaría por debajo del 1% que es menos de cuatro días de demanda. Adicionalmente se establece que aprovechamiento en las superficies impermeables del campus se dificulta ya que podría ser necesaria la modificación de los sistemas de drenaje existentes ya que la mayoría de ellos se encuentran empotrados en las edificaciones o en la vialidad.

En cuanto al aprovechamiento pluvial de las cuencas naturales no es factible ya que solo se puede captar agua el 1% del tiempo lo que es equivalente a casi cuatro días en un año.

Utilizado el método del NRCS para una condición intermedia de abstracciones iniciales (Ia), se estableció que cada metro cuadrado de superficie de recolección puede abastecer la demanda de riego de un metro cuadrado con una disponibilidad del 13% del tiempo.

Los componentes de los tipos sistemas de aprovechamiento de la fuente pluvial se diferencian en función de la superficie en la cual se desee captar. Para el aprovechamiento en techos, los componentes lo integran el drenaje de agua de lluvia, como lo establece la norma sanitaria 4044, y adicionalmente se direcciona el colector de los bajantes a un sistema de

tratamiento y almacenamiento. Para el aprovechamiento en cuencas naturales los componentes de los sistemas son similares a los de un sistema de abastecimiento en el cual la fuente es un río intermitente, sin regulación en un terreno montañoso.

Los usos que se le pueden dar a la fuente pluvial dependen de la calidad del agua y esta a su vez de la superficie donde se capte. El agua captada en los techos y las cuencas requieren filtración para eliminar las partículas suspendidas y evitar las obstrucciones en las tuberías y en caso de ser utilizada para consumo humano es necesario aplicar cloración para potabilizar el recurso, en caso de emplear el agua captada en las superficies viales para el riego se requerirá un filtro por el mismo motivo explicado el agua captada en las superficies viales no podrá ser empleada para el consumo humano.

Los sistemas de recolección de agua pluvial conllevan al ahorro de recursos hídricos, eléctricos y económicos, ya que en su mayoría se busca que el proceso sea lo más accesible y fácil de implementar, ya que se evitan los mecanismos de bombeo. Otra ventaja de los sistemas de recolección de agua pluvial es que el recurso hídrico se consume en el mismo sitio en el que se precipitó por lo que se aprovecha una fuente que antes de la implementación del sistema de captación no iba a ser utilizada, por esta razón se considera que estos sistemas son sustentables.

## **CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES**

En caso de plantearse la implementación del sistema propuesto 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.

Para estimar de manera más adecuada el porcentaje de garantía de la fuente pluvial es necesario tener alguna medición en sitio. Si efectivamente se logra el aprovechamiento en el techo de archivos generales, adicionalmente se podrían colocar algunos instrumentos que permitan medir los volúmenes generados por las lluvias que producen menos de un milímetro diario de precipitación, de manera de generar un modelo de lluvias escorrentías continuo para un análisis más preciso. De un techo instrumentado se podría sacar mucha información que se pudiera extrapolar para cualquier otra localidad de la ciudad.

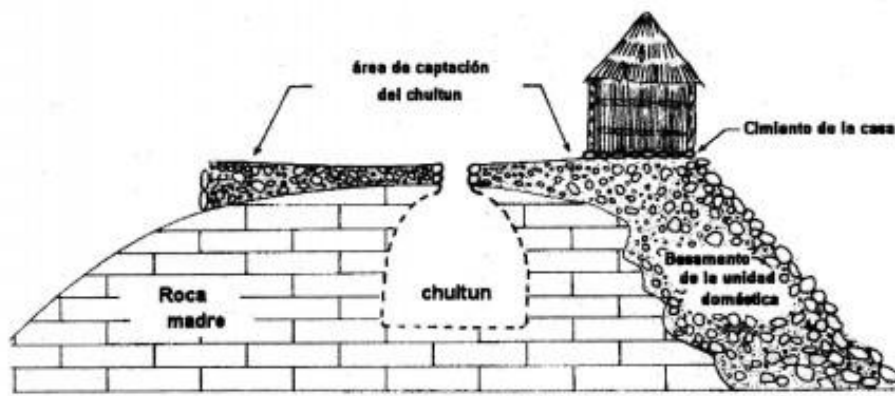
Los datos de lluvia analizados del INAMEH cuentan con poca consistencia y con pocos registros. Por este motivo la colocación de una estación hidrológica dentro del campus universitario podría ayudar a mejorar la data existente de las distintas variables hidrológicas.

Este tipo de estudio se puede continuar cambiando la metodología: se pudiera utilizar el método de hidrogramas con los registros de lluvias máximas y un estudio más elaborado enfocado a determinar el costo de construcción de estos sistemas.

En los últimos dos años la dirección de sustentabilidad ambiental en conjunto con la escuela de ingeniería civil e ingeniería industrial, han desarrollado diversos trabajos especiales de grado en el área de sustentabilidad. Techos verdes, drenajes sustentables, paneles solares, sistemas de aguas grises y el presente trabajo de aprovechamiento de la fuente pluvial, son tópicos que se deben considerar para el futuro crecimiento de la infraestructura del campus universitario.

Se sugiere la introducción de una materia o electiva de Sustentabilidad aplicada a la Ingeniería Civil en el pensum académico de esta carrera, establecer una relación entre las distintas áreas de conocimiento que se imparten en la escuela y la sustentabilidad.

## **ANEXOS**



Anexo 1 Diagrama de la ubicación de un chultún, Maya, fuente (Prieto, 2015)



Anexo 2 Dotaciones para edificaciones, fuente (*República de Venezuela, 1988*)

**DOTACIONES DE AGUA PARA EDIFICACIONES DESTINADAS A  
VIVIENDAS MULTIFAMILIARES**

| Número de dormitorios de cada<br>unidad de vivienda | Dotación de agua correspondiente<br>por unidad de vivienda, en litros por día |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                   | 500                                                                           |
| 2                                                   | 850                                                                           |
| 3                                                   | 1200                                                                          |
| 4                                                   | 1350                                                                          |
| 5                                                   | 1500                                                                          |
| más de 5                                            | 1500 l/día más 150 l/día por cada<br>dormitorio en<br>exceso de cinco         |

**Artículo 110**

Las dotaciones de agua para edificaciones destinadas a instituciones de uso público o particular, se determinarán de acuerdo con lo que se indica a continuación:

- A. Centros Asistenciales:
  - A.1 Con Hospitalización 800 litros/día/cama
  - A.2 Con Consulta Externa 500 litros/día/consultorio
  - A.3 Con clínicas Dentales 1000 litros/día/unidad dental
- B. Planteles Educativos:
  - B.1 Con alumnado externo 40 litros/alumno/día
  - B.2 Con alumnado semi-interno 70 litros/alumno/día
  - B.3 Con alumno interno o residente 200 litros/alumno/día
  - B.4 Por personal residente en el  
plantel 200 litros/persona/día
  - B.5 Por personal no residente 50 litros/persona/día
- C. Cuarteles 300 litros/persona/día
- D. Cárceles 200 litros/persona/día
- E. Iglesias 0.5 litros/día/m<sup>2</sup> área pública neta
- F. Oficinas Públicas 6 litros/día/m<sup>2</sup> área de local
- G. Otras instituciones de

**Artículo 111**

Las dotaciones de agua para edificaciones destinadas a comercio, se determinarán de acuerdo con lo que se indica a continuación:

- a. Oficinas en general 6 litros/día/metros<sup>2</sup> de local destinado a oficina

- |     |                                                                                |                                                                                           |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| b.  | Depósitos de materiales<br>equipos y artículos<br>manufacturados               | 0.50 litros/día/m <sup>2</sup> de área útil de<br>local y por turno de 8 horas de trabajo |
| c.  | Mercados                                                                       | 15 litros/día/m <sup>2</sup> de área de ventas                                            |
| d.  | Carnicerías, pescaderías<br>y similares                                        | 25 litros/día/m <sup>2</sup> de área de ventas                                            |
| e.  | Supermercados, casas de<br>abasto, locales comerciales<br>de mercancías secas. | 20 litros/día/m <sup>2</sup> de área de ventas                                            |
| f.  | Restaurantes                                                                   | 50 litros/día/m <sup>2</sup> de área útil de local                                        |
| g.  | Bares, cervecería, fuentes de<br>soda y similares                              | 60 litros/día/m <sup>2</sup> de área de local                                             |
| h.  | Centros comerciales                                                            | 10 litros/día/m <sup>2</sup> de área bruta de construcción<br>destinada a comercio        |
| i.  | Hoteles, moteles y similares                                                   | 500 litros/día/dormitorio                                                                 |
| j.  | Pensiones                                                                      | 350 litros/día/dormitorio                                                                 |
| k.  | Hospedajes                                                                     | 25 litros/día/m <sup>2</sup> de área destinada a dormitorio                               |
| l.  | Lavanderías al seco,<br>tintorerías y similares                                | 30 litros/kilo de ropa a lavar                                                            |
| m.  | Lavanderías (ropas en general)                                                 | 40 litros/kilo de ropa a lavar                                                            |
| n.  | Estacionamientos cubiertos<br>para vehículos de motor                          | 2 litros/día/m <sup>2</sup> de estacionamiento cubierto                                   |
| o.  | Estaciones para lavado<br>de vehículos:                                        |                                                                                           |
| o.1 | Con equipos de lavado<br>automáticos                                           | 12.800 litros/día/equipo automático de lavado                                             |
| o.2 | Con equipos de lavado<br>no automáticos                                        | 8.000 litros/día/equipo no automático de lavado                                           |
| p.  | Bombas de gasolina                                                             | 300 litros/día/equipo bomba instalada                                                     |
| q.  | Para otras edificaciones<br>no especificadas                                   | A juicio de la Autoridad Sanitaria Competente.                                            |

#### Artículo 115

La dotación de agua para riego de jardines y áreas verdes se calculará a razón de dos (2) litros por día y por metro cuadrado de área verde o de jardín a regar. No se requerirá incluir en el cálculo de esta dotación, las áreas pavimentadas, engrazonadas u otras áreas no sembradas.

**TABLA N° 9**  
**DOTACIONES DE AGUA PARA EDIFICACIONES E INSTALACIONES**  
**DESTINADAS A FINES**  
**RECREACIONALES, DEPORTIVOS, DIVERSION Y ESPARCIMIENTO**

| <b>Tipo de edificaciones<br/>e Instalaciones</b>                                                  | <b>Dotaciones de agua</b>                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Cines, teatros, auditorios y similares                                                            | 3 litros/día/asiento                                                            |
| Estadios, velódromos, plazas de toea,<br>hipódromos, circos parques de<br>atracciones y similares | 3 litros/día/espectador                                                         |
| Cabarets, casinos, salas de baile,<br>discotecas                                                  | 30 litros/día/m <sup>2</sup> de área neta del local                             |
| Parques                                                                                           | 0,25 litros/día/m <sup>2</sup>                                                  |
| Piscinas:                                                                                         |                                                                                 |
| a. Con recirculación                                                                              | 10 litros/día/m <sup>2</sup> de área de proyección<br>horizontal de la piscina  |
| b. sin recirculación                                                                              | 25 litros/día/m <sup>2</sup> de área de proyección<br>horizontal de la piscina  |
| c. con flujo continuo                                                                             | 125 litros/día/m <sup>2</sup> de área de proyección<br>horizontal de la piscina |
| Balnearios                                                                                        | 50 litros/día/usuario                                                           |
| Gimnasio                                                                                          | 10 litros/día/m <sup>2</sup> de área neta del local                             |
| Vestuario y salas sanitarias en piscinas                                                          | 30 litros/día/m <sup>2</sup> de área de proyección<br>horizontal de la piscina  |

**Table 2-2c** Runoff curve numbers for other agricultural lands <sup>1/</sup>

| Cover description                                                            |                      | Curve numbers for hydrologic soil group |    |    |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|----|----|----|
| Cover type                                                                   | Hydrologic condition | A                                       | B  | C  | D  |
| Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. <sup>2/</sup>    | Poor                 | 68                                      | 79 | 86 | 89 |
|                                                                              | Fair                 | 49                                      | 69 | 79 | 84 |
|                                                                              | Good                 | 39                                      | 61 | 74 | 80 |
| Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay. | —                    | 30                                      | 58 | 71 | 78 |
| Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. <sup>3/</sup>   | Poor                 | 48                                      | 67 | 77 | 83 |
|                                                                              | Fair                 | 35                                      | 56 | 70 | 77 |
|                                                                              | Good                 | 30 <sup>4/</sup>                        | 48 | 65 | 73 |
| Woods—grass combination (orchard or tree farm). <sup>5/</sup>                | Poor                 | 57                                      | 73 | 82 | 86 |
|                                                                              | Fair                 | 43                                      | 65 | 76 | 82 |
|                                                                              | Good                 | 32                                      | 58 | 72 | 79 |
| Woods. <sup>6/</sup>                                                         | Poor                 | 45                                      | 66 | 77 | 83 |
|                                                                              | Fair                 | 36                                      | 60 | 73 | 79 |
|                                                                              | Good                 | 30 <sup>4/</sup>                        | 55 | 70 | 77 |
| Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.                | —                    | 59                                      | 74 | 82 | 86 |

<sup>1/</sup> Average runoff condition, and  $I_a = 0.2S$ .

<sup>2/</sup> *Poor*: <50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

*Fair*: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

*Good*: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

<sup>3/</sup> *Poor*: <50% ground cover.

*Fair*: 50 to 75% ground cover.

*Good*: >75% ground cover.

<sup>4/</sup> Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations.

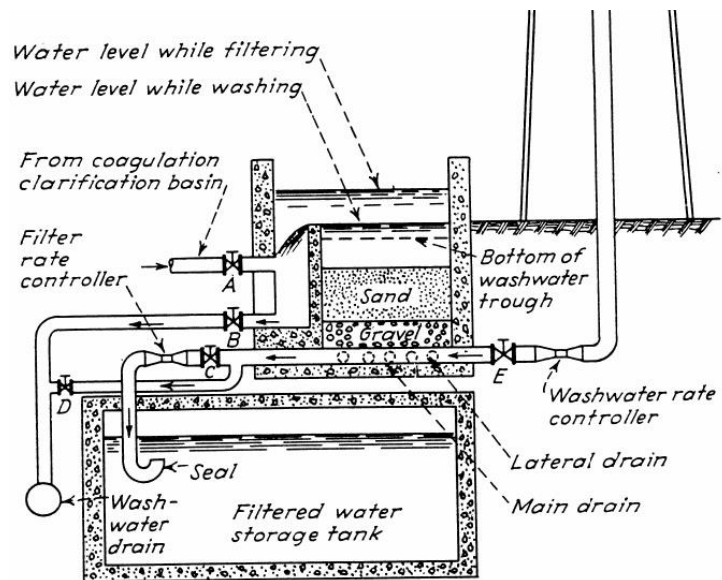
<sup>5/</sup> CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

<sup>6/</sup> *Poor*: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

*Fair*: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

*Good*: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

Anexo 3 Número de curvas NC. Fuente (NRCS, 2004)



Anexo 4 Diagrama de un sistema de filtración (McGhee, 2007)

Anexo 5 plano general del sistema de acueducto de la UCAB

Anexo 6 Factura de agua Septiembre 2014

85

Factibilidad del aprovechamiento de aguas pluviales en la Universidad Católica Andrés Bello sede  
Montalbán.





Salida de la torrentera



Estructura disipadora y cabezal de la  
alcantarilla

Anexo 7 Vista de la torrentera aguas abajo, estructura disipadora y alcantarilla. Elaboración propia



Anexo 8 Equipo de topografía Sokkia SET630R





Al margen derecho se puede observar el espacio destinado al desarenador.



Notase como existe el espacio para la rejilla de captación en el primer escalón

Anexo 9 Vista de Torrentera aguas arriba. Elaboración propia

| ZONA DE SEDIMENTACION |             | Corregido |             |
|-----------------------|-------------|-----------|-------------|
| vv (cm/s)             | 0,8         |           |             |
| d (cm)                | 0,01        |           |             |
| va(cm/s)              | 16,1        |           |             |
| fs                    | 0,25        | a         | 0,8         |
| vh(cm/s)              | 4,025       | P         | 1           |
| At                    | 1,49068323  | L         | 3           |
|                       |             | L/p       | 3           |
| a                     | 0,8         | At        | 0,8         |
| P                     | 1,863354037 | As        | 2,4         |
| L/p                   | 6           |           |             |
| L                     | 11,18012422 | vh(cm/s)  | 7,5         |
|                       |             | va(cm/s)  | 16,1        |
| As                    | 8,944099379 | fs        | 0,465838509 |
| vv (cm/s)             | 0,670833333 | vv (cm/s) | 2,5         |

Anexo 10 Cálculos del diseño del desarenador metodología de (Arocha, 1979). Elaboración Propia

| Barrotes asumidos |        |
|-------------------|--------|
| ANCHO t 3/8       | 0,9525 |
| ALTO e 1 1/4      | 3,175  |

| DATOS               |      |
|---------------------|------|
| Q m <sup>3</sup> /s | 0,06 |
| f (%)               | 20   |
| S (cm)              | 0,2  |
| i                   | 0,2  |

| TABLA N° 8 |
|------------|
| 2,72       |

| N° PEDAÇOS | LONG. PEDA | PROY. H | Lefec | L <sup>3/2</sup> | B REQ (m) |
|------------|------------|---------|-------|------------------|-----------|
|            |            |         |       |                  |           |
| 4          | 1,50       | 1,47    | 1,37  | 1,61             | 0,10      |
| 5          | 1,20       | 1,18    | 1,08  | 1,12             | 0,15      |
| 6          | 1,00       | 0,98    | 0,88  | 0,83             | 0,20      |
| 7          | 0,86       | 0,84    | 0,74  | 0,64             | 0,26      |
| 8          | 0,75       | 0,74    | 0,64  | 0,51             | 0,32      |

Anexo 11 Cálculo de la rejilla de captación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Acuña Perera, R. E., & Eztevéz Orán , C. A. (4 de Noviembre de 2013). FACTIBILIDAD, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN TECHO VERDE EN EL EDIFICIO DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO EN CARACAS. . Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- Alarcón, M. H., & Niño, C. E. (Octubre de 2011). METODOLOGÍA MÍNIMA RECOMENDABLE PARA LA DEFINICIÓN DE LOS PERFILES DE CONSUMO DE AGUA Y ENERGÍA EN INSTITUCIONES UNIVERSITARIAS PARA DESARROLLO DEL PROGRAMA CAMPUS SUSTENTABL. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- Arocha, S. (1979). *Abastecimientos de agua teoria y diseño*. Caracas: Vega s.r.l.
- Barrios Napurí, C., Torres Ruiz, R., Lampoglia , T. C., & Agüero Pittman, R. (2009). Guía de orientación en saneamiento básico para las alcaldías de centros rurales y pequeñas comunidades. Lima, Perú: Asociación Educativa de Centros Rurales SER.
- Bolinaga, J. (1979). *Drenaje Urbano*. caracas: Instituto Nacional de Obras Sanitaria.
- Bolinaga, J. J. (1999). *Proyectos de Ingeniería Hidráulica*. Caracas: Fundación Polar.
- Burkhard, R., A., Deletic, A., & Craig, A. (25 de Octubre de 2000). Techniques for water and wastewater management: a review of techniques and their integration in planning.
- Cañizalez V., M., & Noriega Ávila, N. (15 de Septiembre de 2015). Suministro de agua en la ciudad cayó 17,6% este año. *El Universal*.
- Castañeda, N. P. (2010). PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA. Medellin, Colombia.

- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2000). *Hidrologia Aplicada*. Colombia: McGraw -Hill.
- Corporación Andina de Fomento. (2011). *La Infraestructura en es Desarrollo de América Latina. Agua Potable y Saneamiento*. Paraguay.
- De Pinho Di Maio , K. A., & Gonzalez Castillo, W. D. (16 de Junio de 2015). FACTIBILIDAD PARA EL DESARROLLO DE DRENAJES SUSTENTABLES EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO . Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- Díaz Delgado, C. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. RIPDAT-CYTED.
- Franceschi, L. (1984). *Drenaje vial*. Caracas: Colegio de Ingenieros de Venezuela.
- García. (2012). *Problemática Ambiental de la Cuenca del Lago de Valencia*. Academia de Ingeniería y Habitat .
- Gil, J. A., Khan P, L., & Hernández, A. (07 de Julio de 2001). ARENAS DE RÍO PROCESADAS COMO FILTROS DE RIEGOS LOCALIZADOS. Maturín, Monagas, Venezuela.
- Hernández, E. (Abril de 2007). La desalación, alternativa viable para la obtención de agua. *Daphnia*.
- Herrera Monroy, L. A. (20 de Enero de 2010). Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Mexico, Distrito Federal, Mexico.
- Hidrocapital. (22 de Septiembre de 2015). *Hidrocapital*. Obtenido de <http://www.hidrocapital.com.ve/internet/index.php/poder/51-infraestructura-hidraulica/73-estaciones-de-bombeo>
- J. Espinós, P. M. (1987). *Así vivían los romanos*. Anaya.

- Lavola. (2015). *Canal Educa*. Obtenido de <http://www.canaleduca.com/documents/10157/248510/La+captaci%C3%B3n+del+agua>
- LEED, E. s. (2012). *USGBC*. Obtenido de <http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs10716.pdf>
- Malavé, R. J. (Enero de 2009). DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LAS COMUNIDADES DE SANTA FE Y CACHAPAL, PÍRITU, ESTADO ANZOTEGUI. Puerto La Cruz, Anzoátegui, Venezuela.
- McGhee, T. (1 de Mayo de 2007). *Water Supply and Sewerage*. Texas, Estados unidos: McGraw Hill.
- Natural Resources Conservation Service. (2004). *Part 630 Hydrology National Engineering Handbook*. Washington.
- Pasek de Pinto, E. (14 de Julio de 2003). AMBIENTAL, HACIA UNA CONCIENCIA. *Articulos Arbitrados*. Valera, Trujillo, Venezuela.
- Petri S. Juuti, T. S. (2007). *Enviromental history of water: global views on community water supply and sanitation*. IWA publishing.
- República de Venezuela. (8 de septiembre de 1988). Normar Sanitarias para proyecto, contrucción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones. caracas, Venezuela.
- Republica de Venezuela. (11 de Octubre de 1995). Gaceta Oficial 883. *Normas para la clasificaci Normas para la clasificación y el control de la calidad de n y el control de la calidad de*. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- Sanchis, J. A., & Zubillaga, J. A. (08 de Junio de 2005). ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO - SEDE MONTALBÁN. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.

Spain Green Building Council. (Octubre de 2009). *Spain Green Building Council*. Obtenido de <http://www.spaingbc.org/files/LEED%202009%20NC%20Nov%202008%20ESP.pdf>

The Jesuit Curia in Rome. (20 de Junio de 2008). *The Jesuit Curia in Rome*. Obtenido de <http://www.sjweb.info/news/index.cfm?Tab=8&PubID=12528>

U.S. Geological Survey. (2004). *Using Crumb Rubber Filtraton for Ballas Water Treatment*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de [http://water.usgs.gov/wrri/02-03grants\\_new/prog-compl-reports/2003PA11B.pdf](http://water.usgs.gov/wrri/02-03grants_new/prog-compl-reports/2003PA11B.pdf)

Universidad Católica Andrés Bello. (Julio de 2011). *Sitio oficial de la institución*. Obtenido de <http://w2.ucab.edu.ve/acerca-del-plan-estrategico.html>

Universidad de Castilla- La Mancha. (09 de septiembre de 2015). *Escuela de Ingenieros Agronomos*. Obtenido de [https://www.uclm.es/area/ing\\_rural/AsignaturaProyectos/Tema%203.pdf](https://www.uclm.es/area/ing_rural/AsignaturaProyectos/Tema%203.pdf)

USGS. (2005). *USGS Science for a changing world*. Obtenido de <http://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>