



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

REDUCCIÓN DEL USO DE AGUA POTABLE A TRAVÉS DEL DISEÑO  
E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ECO - SANITARIO MEDIANTE  
APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniera Ambiental, Prevención y Remediación

Profesor Guía

Ing. Carlos Banchón

Autora

Sandra Isabel Montúfar Bernal

Año

2013

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

.....

Carlos Luis Banchón Bajaña

Ingeniero Químico

C.I. 091805918-9

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo de titulación es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución han respetado las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

.....  
Sandra Isabel Montúfar Bernal

CI. 171610707-1

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera agradecer a mi madre, por creer en mí y utilizar toda su audacia para ayudarme a moldear mis sueños y logros. Gracias por siempre respetar mi autonomía, eso me ha enseñado mucho más de responsabilidad que cualquier sermón.

Gracias a mi hermano Andrés por ser un enorme ejemplo de lealtad y compromiso.

A mi hermano Sebastián, por ser la más grande expresión de bondad, estoicismo y humildad que la vida me pudo regalar. Por enseñarme a valorar las pequeñas cosas y con ejemplo enseñarme que no hay nada que no pueda hacer.

Gracias a Lucho por ser mi compañero incondicional en las buenas y en la tesis. Tú eres el impulso que me faltaba.

A Denih y Morocha por siempre estar presentes sin importar el medio, llenando de sonrisas y ocurrencias mi día a día.

A Jaque por esas incontables noches largas de tesis que llenamos de vida y psicología. A Harry, Ody y Katy por ser un gran apoyo durante la carrera.

A cada uno de los maestros que me han ayudado a ampliar mi visión del mundo y enseñarme a ver toda situación desde varias perspectivas. Especialmente agradezco al Ingeniero Carlos Banchón por la paciencia y tiempo invertidos en la tutoría de este trabajo.

Gracias a todos por ser parte de mi vida y darme las herramientas que me permiten crecer como profesional y ser humano.

**DEDICATORIA**

A las personas que decidieron estudiar Ingeniería Ambiental para contribuir con el bienestar del planeta y no por una billetera llena.

## RESUMEN

Con la creciente problemática de la baja disponibilidad del agua en el planeta, se busca una alternativa de ahorro del recurso por medio de un método alternativo: recolección de agua de lluvia. El presente trabajo basa sus objetivos en el ahorro del 25% del gasto del recurso específicamente en residencias de la ciudad de Quito. Para alcanzar este propósito, se ha realizado un estudio de las características y cantidad de la precipitación en el Norte de Quito, posteriormente comparando los resultados del agua de lluvia pertinentes con los límites máximos permisibles de agua de la legislación nacional para obtener los posibles usos del agua siendo: Agua para riego y agua para limpieza. En base a los resultados de estos datos, se estudió la factibilidad y posibles diseños para un sistema de recolección de agua de lluvias con mayor eficiencia, menor costo y menor impacto ambiental que los sistemas instalados en el pasado en la ciudad. Una vez instalado el sistema se realizó un seguimiento mensual de la reducción del consumo de agua para el estudio económico y de eficiencia de la implementación; también se realizaron análisis de los parámetros de potencial hidrógeno (pH), dureza y sólidos sedimentables del agua que recoge el sistema para la obtención de un filtro adecuado para mejorar la calidad del agua y evitar el daño del sistema eco- sanitario. Como resultado de la investigación e implementación se ha conseguido la reducción de un 32,85% del uso de agua potable a través del diseño e implementación de un prototipo eco - sanitario mediante aprovechamiento de agua lluvia, con lo que se puede deducir un desempeño exitoso y eficiente de la recolección de agua de lluvias como método alternativo de ahorro del recurso vital.

## ABSTRACT

Due to the growing problem of fresh water scarcity on the planet an alternative water saving method is being searched: rain water gathering. This thesis supports its objectives on the 25% saving of this resource expense specifically in the residences of the city of Quito. To achieve this goal studies about the nature and amount of rain in the northern side of Quito were made. Then, the results were compared with the national legislation limits to establish the potential water uses: irrigation and cleansing. The studies of feasibility and possible designs were based on the obtained data to accomplish a more efficient, cheaper and more eco – friendly system compared with the former installed systems in the city. Once installed, the system was monitored on a monthly basis on water consumption reduction. These results were used to make the economic study and the implementation efficiency report. The parameters of potential hydrogen (pH), water hardness and water settleable solids were also analyzed on the water samples collected from the system to obtain a suitable filter to improve water quality and prevent damage on the eco-sanitary system.

The results were the 32,85% reduction of potable water usage thanks to the implementation of an eco-sanitary prototype which works with rain water. Hence, we can say that it is a successful and efficient alternative method to save fresh water which is a vital resource.

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
<b>1. Marco de Referencias.....</b>	<b>8</b>
1.1 Marco Teórico .....	8
1.1.1 Recolección de agua de lluvia en el mundo y sus beneficios .....	8
1.1.1.1 Europa .....	9
1.1.1.2 Asia .....	11
1.1.1.3 Oceanía .....	14
1.1.1.4 África.....	14
1.1.1.5 América .....	15
1.1.1.5.1 Ecuador .....	18
1.1.2 Mecanismos de sistemas de recolección de agua de lluvia disponibles.....	20
1.2 Marco geográfico .....	23
1.3 Marco Legal .....	24
1.3.1 Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización .....	26
1.3.2 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego .....	27
<b>2. Levantamiento de información regional.....</b>	<b>30</b>
2.1 Levantamiento de información de las características regionales del agua de lluvia.....	30
2.1.1 Toma de datos de diferentes puntos de muestreo .....	30
2.1.2 Parámetros de medición realizados por INHAMI y CICAM .....	32
2.1.2.1 Datos de Potencial Hidrógeno (pH) por un periodo de 12 años.....	32
2.1.2.2 Datos de conductividad por un periodo de 12 años.....	33
2.1.2.3 Datos de Sólidos Totales Disueltos (STD) por un periodo de 7 años.....	35
2.1.3 Promedios de precipitación de la estación Ñaquito (Quito Norte) ..	37



2.2	Problemática actual en la ciudad de Quito para generar implementación y mantenimiento de los Sistemas de Recolección de agua de lluvia .....	43
2.2.1	Costo del agua potable .....	43
2.2.2	Carente promoción de la recolección de agua de lluvia .....	44
2.2.2.1	Falta de incentivos y legislación .....	44
2.2.2.2	Aprovechamiento negligente por falta de conocimientos técnicos.....	45
2.2.2.3	Información parcial .....	46
2.2.2.3.1	Museo del agua YAKU .....	47
2.2.3	Sistemas de recolección de agua de lluvia implementados en Quito.....	49
2.2.3.1	Residencia en Quito – Norte .....	49
2.2.3.2	Implementación en el edificio KeyBuilding.....	51
2.2.3.3	Vallejo y Araujo.....	53
3.	Diseño del sistema de recolección de agua de lluvias RALL-ECO .....	55
3.1	Determinación de los usos del agua recolectada .....	57
3.1.1	Potencial Hidrógeno (pH) como factor determinante para el destino del agua recolectada .....	57
3.1.2	Conductividad como factor determinante para el destino del agua recolectada .....	59
3.1.3	Sólidos totales disueltos (STD) como factor determinante para el destino del agua recolectada.....	60
3.2	Distribución del uso de agua por persona .....	62
3.3	Detalle de la selección de materiales y diseño para el sistema RALL-ECO .....	63
3.3.1	Selección de los materiales del sistema eco- sanitario .....	63
3.3.1.1	Ahorro de consumo de energía.....	63
3.3.1.2	Reducción de uso de materiales.....	65
3.3.1.2.1	Reutilización de materiales .....	65
3.3.1.3	Reducción de consumo de agua .....	65
3.3.2	Modelo matemático de recolección de agua para el RALL- ECO en la estructura .....	67

3.3.3 Resistencia de la superficie portadora del tanque de recolección ..	69
3.3.4 Selección del tamaño del tanque.....	69
3.4 Propuestas de diseño del sistema RALL-ECO.....	71
4. Implementación del Sistema eco- sanitario de recolección de agua de lluvia (RALL-ECO) .....	75
4.1 Materiales necesarios .....	75
4.2 Metodología de la implementación del sistema .....	76
4.2.1 Preparación del área de implementación.....	77
4.2.2 Adecuación del tanque .....	77
4.2.3 Direccionamiento de la recolección de agua .....	77
4.2.4 Unión del sistema de lluvias al sistema sanitario.....	78
5. Análisis físico-químico del agua recolectada.....	81
5.1 Metodología de los análisis de los parámetros en el agua recolectada .....	81
5.1.2 Medición de sólidos totales sedimentables del agua recolectada por el RALL-ECO .....	82
5.1.3 Medición de la dureza en el agua recolectada por el RALL-ECO...	84
5.1.4 Temperatura del agua en el tanque de recolección .....	86
6. Resultados experimentales y análisis.....	87
6.1 Resultados experimentales.....	87
6.1.1 Resultados de los análisis físico-químicos del agua recolectada del RALL- ECO.....	87
6.1.2 Resultados de ahorro de agua generado por el RALL-ECO .....	91
6.1.3 Resultados de ahorro de recursos en la implementación del RALL-ECO.....	92
6.2 Análisis de los resultados experimentales del sistema.....	93
6.2.1 Análisis físico-químicos del agua recolectada.....	93
6.2.2 Discusión de resultados experimentales del sistema .....	94
6.2.3 Análisis de reducción del impacto ambiental del RALL-ECO .....	95
6.3 Comparación técnica con los sistemas pre existentes .....	97

7.	Análisis económico del proyecto de implementación de recolección de agua de lluvias .....	99
7.1	Estudio económico de la Implementación del Proyecto .....	99
7.2	Análisis Costo/ Beneficio .....	101
7.2.1	Estado de consumo en la residencia previo a la implementación del sistema.....	101
7.2.1.1	Consumo de agua mensual.....	101
7.2.1.2	Destino y uso del agua .....	102
7.2.1.3	Consumo de agua por uso .....	103
7.2.2	Proyección de ahorro de agua.....	105
7.2.2.1	Recolección de agua de lluvia esperada .....	105
7.2.2.2	Consumo de agua esperado de acuerdo a las modificaciones de los inodoros .....	106
7.2.2.3	Proyección del ahorro por sustitución de agua potable por agua de lluvia.....	107
7.2.3	Eficiencia esperada del sistema.....	108
7.2.4	Recuperación proyectada.....	108
8.	Conclusiones y recomendaciones .....	110
8.1	Conclusiones .....	110
8.2	Recomendaciones .....	112
8.2.1	Recomendaciones en la implementación del sistema .....	112
8.2.2	Recomendaciones para el estudio .....	113
8.2.3	Recomendaciones para el mantenimiento .....	113
8.2.4	Recomendaciones para promover la recolección de agua de lluvia en Quito.....	114
	REFERENCIAS.....	116
	ANEXOS.....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países más desarrollados en sistemas de recolección de agua de lluvia en Europa .....	10
Tabla 2. Sistemas de recolección de agua de lluvia en países de Asia .....	12
Tabla 3. Lluvias y recolección en Australia .....	14
Tabla 4. Lluvias y recolección en Zimbabue y Kenia.....	15
Tabla 5. Recolección y usos de la lluvia en América.....	16
Tabla 6. Límites máximos permisibles del criterio de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización. Parámetros de importancia para la utilización de agua de lluvia. ....	26
Tabla 7. Límites máximos permisibles del Criterio de calidad de aguas de uso agrícola o de riego. Parámetros de importancia para la utilización de agua de lluvia. ....	27
Tabla 8. Promedios de potencial Hidrógeno del agua de lluvia de la estación Iñaquito del año 2000 al 2012 .....	32
Tabla 9. Promedio anual de conductividad en la lluvia de la estación Iñaquito del año 2000 al 2012. ....	34
Tabla 10. Promedio anual de sólidos totales disueltos (STD) en la lluvia 2000 al 2007.....	36
Tabla 11. Promedios mensuales y sumatorias anuales de la precipitación de la estación Iñaquito, Quito. ....	41
Tabla 12. Límite máximo permisible de pH para agua de consumo humano y uso doméstico.....	57
Tabla 13. Límite máximo permisible de pH para agua de uso agrícola y riego.....	57
Tabla 14. Límite máximo permisible de conductividad para agua de uso agrícola y riego. ....	59
Tabla 15. Límite máximo permisible de STD para agua de consumo humano y uso doméstico. ....	60
Tabla 16. Límite máximo permisible de pH para agua de uso agrícola y riego.....	61
Tabla 17. Resultados de la implementación Eco – sanitaria. ....	66
Tabla 18. Resultados para la implementación del RALL-ECO.....	71
Tabla 19. Comparación de los diseños del RALL- ECO.....	73
Tabla 20. Análisis del agua recolectada en el RALL-ECO. ....	87
Tabla 21. Resultados del consumo de agua con el sistema RALL-ECO.....	91
Tabla 22. Resultados del sistema eco – sanitario. ....	92
Tabla 23. Huella Ecológica de los materiales.....	95

Tabla 24. Comparación de sistemas de recolección de agua de lluvia de Quito.....	97
Tabla 25. Descripción de costos de los materiales .....	99
Tabla 26. Costos de mano de obra .....	100
Tabla 27. Obtención del promedió de consumo de agua .....	102
Tabla 28. Estado inicial de uso y consumo de agua potable en la casa .....	104
Tabla 29. Cantidades de uso de agua al modificar los inodoros. ....	106
Tabla 30. Costos del agua y ahorro. ....	108
Tabla 31. Recuperación económica a 10 años. ....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Partes del sistema de recolección de agua de lluvia en una vivienda .....	21
<i>Figura 2.</i> Ejemplar de tanque de recolección superficial recomendado .....	22
<i>Figura 3.</i> Croquis de la ubicación de la residencia dentro de Quito. ....	23
<i>Figura 4.</i> Imagen de la vista externa de la residencia. ....	24
<i>Figura 5.</i> Esquema de la metodología experimental del RALL- ECO.....	29
<i>Figura 6.</i> Ubicación de la estación Ñaquito, punto de muestreo de agua de lluvia .....	31
<i>Figura 7.</i> Ubicación de los puntos de muestreo de agua de lluvia del CICAM .	31
<i>Figura 8.</i> Gráfico barra error del pH obtenido.....	33
<i>Figura 9.</i> Gráfico barra error de la conductividad anual obtenida.....	35
<i>Figura 10.</i> Gráfico barra error de los valores de sólidos totales disueltos. ....	37
<i>Figura 11.</i> Gráfico de sectores diferenciados por precipitación promedio anual.....	38
<i>Figura 12.</i> La ciudad de Quito diferenciada por los sectores de precipitación anual.....	39
<i>Figura 13.</i> Promedio de precipitación por meses de la estación Ñaquito del año 1982 al 2012. ....	40
<i>Figura 14.</i> Gráfico de precipitaciones promedio por mes de cada año. ....	42
<i>Figura 15.</i> Prototipo de recolector de agua de lluvias de San Carlos.....	45
<i>Figura 16.</i> Se muestra la tubería que dirige el agua recolectada a la lavadora.....	48
<i>Figura 17.</i> Recolección de agua de lluvias de la casa de ecológica del YAKU	48
<i>Figura 18.</i> Residencia con sistema de recolección de agua de lluvia para reducción de agua potable. ....	49
<i>Figura 19.</i> Sistema de recolección de agua de lluvia en la residencia .....	50
<i>Figura 20.</i> Sistema de recolección de agua de lluvias del edificio Key-building.....	52
<i>Figura 21.</i> Elemento decorativo con agua recolectada de lluvia y luces inactivo, edificio Keybuilding. ....	53
<i>Figura 22.</i> Sistema de recolección de agua de lluvias de Vallejo y Araujo, Sede la occidental. ....	54
<i>Figura 23.</i> Organigrama del capítulo IV.....	55
<i>Figura 24.</i> Límite mínimo de pH del agua en comparación al pH del agua de Quito.....	58
<i>Figura 25.</i> Comparación de la conductividad de la lluvia de Quito con el límite máximo permisible de agua para riego. ....	60
<i>Figura 26.</i> Límites máximos permisibles para STD en comparación al agua de lluvia de Quito.....	61

<i>Figura 27.</i> Ubicación del tanque de reserva para aprovechamiento de gravedad.....	64
<i>Figura 28.</i> Introducción de botellas para reducción de consumo de agua en cada descarga. ....	66
<i>Figura 29.</i> Promedio de recolección estimado por mes del sistema RALL-ECO.....	68
<i>Figura 30.</i> Tanque reutilizado.....	70
<i>Figura 31.</i> Segunda propuesta de implementación del RALL-ECO. ....	72
<i>Figura 32.</i> Diseño de la tercera opción de implementación.....	74
<i>Figura 33.</i> Proceso de implementación del RALL-ECO. ....	76
<i>Figura 34.</i> Modificación de las canaletas con la inserción de la te. ....	78
<i>Figura 35.</i> Unión de la tubería hacia las salientes de agua. ....	79
<i>Figura 36.</i> Perforación de la pared. ....	79
<i>Figura 37.</i> Sistema RALL-ECO. ....	80
<i>Figura 38.</i> Medición del pH.....	82
<i>Figura 39.</i> Cono imhoff. Medición de sólidos sedimentables. ....	83
<i>Figura 40.</i> Transformación de la medición de sólidos sedimentables (ml/l) a sólidos totales disueltos (mg/l).....	84
<i>Figura 41.</i> Pasos para la realización de la medición de dureza en el agua recolectada. ....	85
<i>Figura 42.</i> Concentraciones de los parámetros de análisis físico-químicos del agua de lluvia.....	88
<i>Figura 43.</i> Comparación de los límites mínimos permisibles de pH en el agua de acuerdo al TULAS. ....	89
<i>Figura 44.</i> Comparación del límite máximo permisible de sólidos en el agua de acuerdo al TULAS en comparación al agua del tanque de recolección .....	90
<i>Figura 45.</i> Comparación del límite máximo permisible de dureza con el resultado de dureza obtenido en el RALL-ECO .....	90
<i>Figura 46.</i> Consumo de agua potable en la residencia donde fue implementado el RALL-ECO .....	91
<i>Figura 47.</i> Planilla de consumo de agua potable del establecimiento. ....	101

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital cuya disponibilidad ha disminuido enormemente en el último siglo alrededor de todo el planeta. Se conoce que el agua aparte de ser indispensable para el funcionamiento de los seres vivos, también es la principal herramienta de la salubridad y la higiene. Estas dos, representan el 66,9% del consumo de agua doméstico, por lo que en ellas se pretende reemplazar el uso de agua potable gracias a la búsqueda de alternativas de obtención de agua.

En los últimos años se ha promovido la importancia de los sistemas de recolección de agua de lluvia en todo el planeta, tanto por motivos ambientales como por motivos económicos. En la ciudad de Quito, el consumo de agua por persona al día es de 198 litros (OMS, 2012), mientras tan solo son necesarios 50 y sólo el 33,1% de agua debe ser obtenido únicamente del agua potable. Por esto es que para el resto de usos, tales como descarga de sanitarios, riego de jardines, limpieza de exteriores, limpieza de vehículos, entre otros, se puede reemplazar con agua de lluvia recolectada. Aunque hay contadas excepciones, en base a las características físico - químicas del agua de la región, el agua potable seguirá siendo imprescindible en usos alimentarios o de higiene personal.

En el presente estudio, se propone el diseño de un prototipo eco-sanitario de recolección de agua de lluvia que permita la reducción aproximada del 25% del consumo de agua potable en descargas sanitarias, riego y limpieza. Como todo sistema, para su implementación es necesario realizar un análisis de las características de la estructura, análisis de la calidad del agua de lluvia, ubicación y factibilidad para su optimización. Tomando en cuenta que la implementación es específicamente evaluada para realizarse en una residencia de la ciudad de Quito (sector Iñaquito), el proyecto analiza las propiedades físico - químicas del agua lluvia de un periodo de tiempo mayor a 10 años y la precipitación por un tiempo de 30 años. De esta manera, se pretende alcanzar el desarrollo e implementación de un sistema de recolección de agua de lluvias personalizado, eficiente y de fácil mantenimiento.



## **Antecedentes**

Se conoce que el agua es un elemento esencial para la vida del ser humano y para el funcionamiento normal del ambiente. De acuerdo a la ONU (2012), el planeta está compuesto de agua en un 71%, de la cual el 97,5% es agua salada y tan solo el 2,5% es agua dulce. Indudablemente la contaminación indiscriminada y la destrucción de ecosistemas han disminuido la calidad de este pequeño porcentaje de agua dulce en todo el planeta. Es por esto que a lo largo de la historia se han implementado diversas prácticas que aumentan la disponibilidad de agua para consumo humano. Siendo uno de los más importantes el sistema de recolección de agua de lluvias. Todavía hoy en día muchas de esas prácticas siguen siendo utilizadas, en especial en regiones áridas o semiáridas, en las cuales su principal función es el almacenamiento del agua lluvia para usos agrícolas y limpieza (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006). Los sistemas de recolección de agua lluvia no tienen grandes variaciones entre sí, la mayoría constan básicamente de tres 3 componentes: captación, conducción y almacenamiento (Castañeda, 2010).

Con el pasar del tiempo, el uso de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias decreció paulatinamente debido a la imposición de métodos y obras para la utilización del agua potable y con ello también aumentó el consumo de agua en respuesta a la fácil accesibilidad. Al observar estos dos factores, se genera reducción del aprovechamiento del agua disponible.

Actualmente el ahorro de agua potable, reemplazándola con agua de lluvia, es un tema necesario en todo tipo de climas. Sin embargo las condiciones ambientales actuales no facilitan su aplicación como en el pasado. El uso del agua recolectada de lluvia presenta múltiples limitantes físicos y químicos, ya que con la creciente afectación ambiental también ha crecido la presencia de contaminantes. Estos reducen las opciones de uso de la precipitación y requieren de un sistema sanitario especializado para su funcionamiento.

En Quito, los sistemas de recolección de agua de lluvia aún son un tema nuevo al igual que la concientización del consumo responsable del agua. Las

condiciones de calidad del agua y el abastecimiento de agua, comienzan a ser un limitante del desarrollo económico y social de la ciudad.

### **Planteamiento del problema**

Alrededor de todo el planeta la falta de agua se ha convertido en un limitante muy representativo del desarrollo social y económico de las comunidades rurales. En un total mundial, más de 1 100 millones de personas carecen de las sistemas de abastecimiento de agua y la mayor parte de éstas residen en áreas rurales. En consecuencia, un promedio de 1,8 millones de personas mueren al año debido a enfermedades diarreicas, de las cuales 90% son niños menores de cinco años. De este total el 88% son producto de un abastecimiento de agua insalubre y de un saneamiento e higiene ineficientes (OMS, 2004).

Cada vez el agua disponible es menor tanto en zonas rurales como en urbanas, y en su gran mayoría el agua disponible está contaminada, por lo que los costos de tratamiento de agua para uso potable son cada vez más elevados. Es por esto que se busca alternativas para reducir el consumo de agua potable, siendo la recolección de agua de lluvia uno de los métodos más sencillos y efectivos. Aun así el óptimo funcionamiento de este sistema presenta varios limitantes, debido a la disponibilidad y características físico-químicas de la lluvia de la región, costos de implementación y mantenimiento. Factores que serán ampliados en capítulos posteriores en el presente trabajo para el diseño del sistema.

La problemática que presenta la recolección de agua de lluvias en la ciudad de Quito, se divide en 3 factores:

- Cantidad disponible, ya que Quito presenta una precipitación estacional (INHAMI).
- La lluvia ácida, con un promedio de 6,45 de pH (INHAMI y CICAM 2000-2012) y los sólidos totales (7ml/l) que el agua de lluvia arrastra hacia el

sistema, ya que estas contribuyen a la corrosión de los materiales del sistema y bajo rendimiento de la implementación, convirtiéndose en una amenaza para el funcionamiento eficaz y prolongado de un sistema de recolección de agua de lluvia (Environmental Protection Agency, 2012).

- Baja área superficial de recolección que presenta la estructura en comparación a las necesidades de agua de los habitantes.

### **Hipótesis**

Con el fin de brindar una solución a la problemática encontrada previamente se planteó la siguiente hipótesis:

Analizando las propiedades del agua de lluvia de la ciudad y la disponibilidad de materiales lo mayor ambientalmente amigables posibles y de mayor conveniencia se planteará un sistema eco – sanitario de recolección de agua de lluvia que permita su uso intermitente y eficiente, así reduciendo el consumo del agua potable de aproximadamente 5 m<sup>3</sup> al mes, llegando a una eficiencia de un 25% en un establecimiento de Quito.

### **Justificación del proyecto**

Indudablemente el agua es un elemento indispensable en la vida del ser humano y para el planeta. La contaminación, el crecimiento demográfico y mal uso del recurso, han limitado la disponibilidad de este recurso hasta niveles preocupantes a nivel mundial.

En la ciudad de Quito desde el año 1988, se han presentado temporadas de escasez de agua potable, llegando a afectar a más de 30 sectores distribuidos en la ciudad (SIPAE, 2008). Hasta el año 1998 los principales factores de esta escasez fueron la falla de una válvula en el sistema de captación de Papallacta, el mantenimiento del tanque de abastecimiento en el norte de la ciudad y el

estiaje que ha provocado el descenso del caudal en los ríos que alimentan las plantas de tratamiento de agua potable.

El gobierno ha incrementado los esfuerzos para mejorar los sistemas en Papallacta y en otras plantas, optimizando así la disponibilidad de agua para la ciudad de Quito. Sin embargo el estiaje es un problema que aumenta gradualmente con la degradación del ecosistema, principalmente con la expansión de la zona urbana, erosión del suelo de los páramos de las fuentes de agua del sistema y calentamiento del entorno por la elevada generación de dióxido de carbono (EMAAPQ, 2008).

La fuente de agua potable para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) proviene de la empresa metropolitana de agua potable y saneamiento (EMAAPQ) la cual se abastece de 4 fuentes de agua principales:

- La Mica – Quito Sur: Ésta capta las aguas de la zona del volcán Antisana, que también sirve como apoyo al Sistema Pita.
- El Sistema Conducciones Occidentales:  
Capta las aguas de los sub sistemas Atacazo, LLoa y Pichincha.
- El Sistema Papallacta Integrado:  
Capta, almacena y conduce agua que se produce en la reserva Antisana.
- El Sistema Conducciones Orientales:  
La principal fuente de abastecimiento de este sistema es el río Pita.  
(EMAAPQ, 2012)

De acuerdo a la información referida, la principal fuente de agua de la ciudad, proviene de nevados. Según los estudios realizados por el Banco Mundial (2009), Quito podría ver afectado su suministro de agua en el 2020 debido a la retracción de los glaciares Antisana y Cotopaxi, los cuales son responsables de la provisión de más del 30% de agua potable que recibe Quito. Esto bajo la

predicción de un aumento de temperatura del país de entre 0,4°C y 1,8°C en el año 2020. El mismo estudio advierte que de mantener los mismos niveles de emisiones de gases para el 2050 el aumento de temperatura podría variar entre 1° C y 4° C.

Esto pone a la ciudad en una situación alarmante, no sólo la disponibilidad de agua decrecerá en los próximos años, sino que también Quito ha presentado altos niveles de inmigración y un crecimiento poblacional de 2.59% (Secretaría de Planificación, 2010), así aumentando enormemente la demanda de agua.

La insistente necesidad de un mayor aprovechamiento del agua disponible, amerita la presencia de nuevos sistemas alternos de obtención de agua. Por tal motivo, el objetivo de esta tesis es el diseño e implementación de un sistema de recolección de agua de lluvia eficiente y de poco mantenimiento, con el fin de reducir el uso de agua potable orientados a usos específicos para que los pobladores de la zona del norte de Quito, sector Lñaquito, puedan implementar por tiempo indefinido, reduciendo así el agua potable usada con fines sanitarios, de riego, entre otros.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar e implementar un prototipo eco – sanitario que permita recolectar el agua de lluvia de la ciudad de Quito.

### **Objetivos específicos**

- Determinar las características del agua de lluvia de Quito mediante análisis de datos externos de características de la lluvia de la estación Ñaquito de un periodo mayor a 10 años y de precipitación por 30 años.
- Caracterizar el agua de lluvia y determinar las variables de diseño del prototipo Eco - sanitario de recolección.
- Diseñar e implementar el prototipo de recolección de agua de lluvia con las características adecuadas en un establecimiento en Quito.
- Analizar la eficiencia y funcionalidad del sistema implementado para promover la optimización del sistema.

## **1. MARCO DE REFERENCIAS**

En el presente capítulo se estudian tres temas previos al diseño, que se deben conocer para estructurar el proyecto de recolección de agua de lluvias. Para lo cual se considera relevante exponer:

- Marco teórico:

Métodos y aplicaciones de sistemas de recolección de agua de lluvia en el mundo de acuerdo a las características de cada continente.

Mecanismos disponibles de sistemas de recolección de agua de lluvia destacados para el uso independiente.

- Marco geográfico

Se muestra la ubicación en la que se realiza el proyecto, determinante para la selección del marco legal y el estudio posterior de las características de la lluvia y necesidades de la región.

- Marco legal

Límites máximos permisibles de acuerdo al Texto unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), que debe cumplir el agua de lluvia recolectada de acuerdo a su destino. Incluyendo los usos residenciales necesarios: Agua para consumo humano y limpieza; y agua para riego y jardines.

### **1.1 Marco Teórico**

#### **1.1.1 Recolección de agua de lluvia en el mundo y sus beneficios**

La recolección de agua de lluvia en el mundo se ha identificado como una solución sencilla y eficiente para el déficit de abasto de agua principalmente a

las grandes urbes. No solo por la escasez y el elevado costo económico del agua potable, sino también como garantía ante la inestabilidad climática que se vive en estos días.

Es necesario recalcar que el desarrollo urbano es uno de los factores agravantes en esta situación ya que para su crecimiento se han destruido los ecosistemas naturales que ayudan a absorber y reciclar naturalmente el agua de lluvia. Por tanto se ve que hoy en día muchos países se enfrentan a la falta de agua y otros efectos como lo son las inundaciones (Banco Mundial, 2013).

Dentro de los beneficios de la recolección de agua de lluvia y su aprovechamiento, no solo se toma en cuenta que nos permite tener agua de mediana calidad para usos no potables, también se obtiene un beneficio al mitigar el escurrimiento pluvial, se reduce la saturación de drenajes por lo que se reducen la generación y efectos de las inundaciones. A consecuencia de reducir las inundaciones en las áreas urbanas, se evita que el agua fluya por superficies contaminadas y genere arrastre de basura, previniendo la contaminación de cauces naturales no contaminados que pueden ser usados como fuente de agua potable (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

Se puede decir que el aprovechamiento de agua de lluvia presenta ventajas importantes, por lo que dentro de todo el mundo, se han implementado diferentes sistemas para maximizar su aprovechamiento. Ciertamente todos los sistemas no pueden seguir una guía exacta, ya que la lluvia en todo el planeta presenta características que hacen que cada región diseñe su sistema de acuerdo a sus necesidades (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006). A continuación se presentan las principales características de la precipitación y necesidades dentro de cada continente y algunos ejemplos en sus países.

#### **1.1.1.1 Europa**

Uno de los continentes donde se ha visto mayor presencia de este sistema es en Europa, ya que es conocido que en sus países el agua potable tiene los precios más elevados del mundo. Como referencia, los países con mayor costo



son Dinamarca con el precio de 1.84 Euros y Alemania 1.73 Euros por metro cúbico.

El país en donde más se ha desarrollado la captación de agua de lluvia es en Alemania, aunque Austria, Suiza, y Bélgica presentan también gran desarrollo en el tema. En el Este de Europa no se ha observado la presencia de un mayor desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de agua de lluvia debido a que el agua potable tiene precios relativamente bajos. Aunque la tendencia actual de sus gobiernos es administrar a sus gobiernos y ciudadanos de las tecnologías utilizadas por Alemania.

En la tabla 1 a continuación, se presentan las características y aplicaciones de recolectores de agua de lluvia presentando algunos de los ejemplos representativos de Europa.

Tabla 1. Países más desarrollados en sistemas de recolección de agua de lluvia en Europa

País	Motivación	Medidas	Precipitación Anual	Aplicación	Ejemplo
Alemania	Polución Industrial y alto precio del agua.	Presión del gobierno con sanciones e incentivos.	Varía entre 563 mm y 855mm	Usos no potables como descarga de sanitarios lavado y riego.	<i>Luedecke-Strasse Building, Berlín:</i> Recoge agua de techos con un área de 7000 m <sup>2</sup> , y escorrentía de 4200 m <sup>2</sup> . Después de ser tratada se usa para descarga de sanitarios y riego ahorrando 58% de agua.

Suiza	Desarrollo sustentable	Promoción e implementación por medio del gobierno	1537 mm	20% descarga sanitaria, 15% lavado de ropa y 10% lavado de autos,	<i>Ringdansen, Norrköping:</i> Se implementa un proyecto para que las tareas domésticas que necesitan agua de baja calidad utilicen agua de lluvia. Ahorrando al mes 6825 m <sup>3</sup> de agua al mes.
Reino Unido	Poca disponibilidad de agua potable y aumento desmedido de la población urbana.  Inundaciones.	Programa para reducir el consumo diario por persona de 150 litros a 80.  Cambio de Legislación.	1220 mm	Usos no potables como descarga de sanitarios lavado y riego.	Código de Hogares sustentables para disminuir el impacto del cambio climático por medio de construcciones adaptadas para el menor uso de recursos desde el 2006.

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptado de Ballén, Galarza y Ortiz, 2006; Banco Mundial, 2011.

Al observar la tabla # 1, se destaca el trabajo de recolección de *Luedecke-Strasse*, en la ciudad de Berlín. Notoriamente la ciudad presenta un promedio de precipitación mucho menor a otros países de Europa y resto del mundo sin embargo, es uno de los proyectos de recolección de agua de lluvia más exitosos del planeta con un 58% de ahorro de agua potable.

### 1.1.1.2 Asia

Asia es un continente muy grande por lo que no es fácil generalizar sus condiciones, pero como en todo el planeta presentan problemas de disponibilidad de agua potable. En la mayoría de las regiones, se observa que en época de lluvia hay graves inundaciones en época de verano, pasan por

severas temporadas de sequía por lo que la recolección de agua de lluvia representa una efectiva solución en caso de almacenamiento temporal. En la tabla # 2 a continuación, se presentan ejemplos de la aplicación de sistemas en el continente asiático.

Tabla 2. Sistemas de recolección de agua de lluvia en países de Asia

País	Motivación	Medidas	Precipitación Anual	Aplicación	Ejemplo
China	Escasez de agua potable, sequías. Genera migración y pérdidas económicas  Deficiencia en cosecha.	Gobierno: Promoción e implementación subsidiada.	300 mm al año (Tiene evaporación mayor a 1500 mm)	Agua únicamente para riego	Proyecto de apoyo a los agricultores: Se entrega sistema de recolección de agua lluvia a cada familia, con tan solo canaletas y un tanque de recolección.  Se logró dotar de riego suplementario para 1,2 millones hectáreas de tierra en 17 provincias.
Japón	Temporadas de exceso de lluvia y temporadas de Sequía.  Alto índice de población por m <sup>2</sup>	Sistemas de recolección de agua de lluvia en edificios	1380 mm	Riego, reservas para sequias y extinción de incendios (rural).  Desecho de sanitarios (Urbano)	Sistema Rojison:  Creado por la comunidad de Mukojima, para el aprovechamiento del agua recogida de los tejados ahora difundido en varias áreas rurales
India	Uno de los 6 países con mayor escasez de agua.  País más poblado del	Varios intentos de Organizaciones internacionales sin éxito.	1083 mm	Consumo humano, riego e higiene.	No disponibles actualmente por poca precipitación

	mundo, falta de cosecha y elevada contaminación.				
<b>Singapur</b>	Alta densidad poblacional y poca agua dulce	Gobierno apunta a la adquisición de nuevas tecnologías.	2497 mm	Descarga de sanitarios	La recolección ha sido implementada en el techo de edificios de 15 pisos o más.  El agua recogida es dirigida a dos tanques de almacenamiento. Tan solo esta implementación ha conseguido un ahorro del 13,7% del agua.
<b>Bangladesh</b>	Agua disponible contaminada con arsénico.	Gran avance y tecnología en los sistemas de captación en todo el país	2666 mm	La captación se utiliza para beber y cocinar ya que se acepta como una fuente segura.	En 1997 la ONG "Foro para el Agua y Saneamiento" instaló alrededor de 1000 sistemas de captación. Cada tanque puede recolectar de 500 a 3.200 litros.

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla.  
Adaptado de Ballén, Galarza y Ortiz, 2006; Banco Mundial, 2011.

De acuerdo a la información referida en la tabla 2, se contempla que Asia presenta tres problemas mayores en cuanto a disponibilidad del agua: Alta densidad poblacional, evaporación elevada en comparación a la precipitación y agua dulce contaminada. El ahorro promedio con recolección de agua de lluvia no es tan elevado como el porcentaje de Europa, y el destino del agua se enfoca en la agronomía.

### 1.1.1.3 Oceanía

Tanto en la zona rural como en la urbana de este pequeño continente se sufre de escasez de agua debido al crecimiento de la población y el fracaso para aumentar reservas, y el aumento de la evaporación anual debido al cambio climático. En la tabla 3 se presenta un ejemplo de la aplicación de los sistemas de recolección de agua de lluvias en el país de Australia.

Tabla 3. Lluvias y recolección en Australia

País	Motivación	Medidas	Precipitación Anual	Aplicación	Ejemplo
Australia	Alto crecimiento poblacional Aumento de evaporación por el cambio climático	Disminución de consumo de agua por habitante /día	534 mm	Riego, limpieza y descarga sanitaria	Desde el año 2005 en la ciudad de victoria se ha impuesto que toda nueva construcción tenga implementado un sistema de recolección de agua de lluvia con conexión descarga de sanitarios.

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptado de Ballén, Galarza y Ortiz, 2006; Banco Mundial, 2011.

### 1.1.1.4 África

África es el continente con mayor necesidad de sistemas de recolección de agua de lluvia, pero también es el país con mayor dificultad para obtenerlos.

Esto se debe a la poca disponibilidad de materiales, y los costos de los mismos. En tanto a la disponibilidad de agua, la lluvia en el continente es estacional y posee muchos desiertos (FAO, 2006). A continuación se presenta en la tabla # 4 la aplicación de los sistemas de aprovechamientos de agua de lluvias en dos países de África.

Tabla 4. Lluvias y recolección en Zimbabwe y Kenia

País	Motivación	Medidas	Precipitación Anual	Aplicación	Ejemplo
Zimbabwe	Poca disponibilidad hídrica, alta evaporación	Almacenaje de agua de lluvia, creados por la comunidad.	650 mm	Uso agrícola	“Fanya juus”, consiste en canaletas de dispersión de agua recolectada, sobre el plano horizontal
Kenia	Bajo acceso a agua potable.  Poca precipitación	Instalación de recolectores de agua de lluvia hechos por la comunidad	De 400 mm a 630 mm	Uso agrícola y limpieza	“Fundis”, consiste en diseño de métodos para recolectar agua de lluvia en base a prácticas antiguas.

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptado de Ballén, Galarza y Ortiz, 2006; Banco Mundial, 2011; y FAO, 2006.

Se observa en la tabla 4, la problemática basada en el bajo promedio de precipitación dentro del continente. Junto a la poca accesibilidad a la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvias, no se obtiene datos efectivos de aprovechamiento de la lluvia.

#### 1.1.1.5 América

Por el gran tamaño de este continente se comprende que entra en múltiples zonas climáticas; de igual manera los sistemas de recolección de agua de lluvia

son cada día más comunes, principalmente para abastecer a comunidades agrícolas y a las regiones más alejadas del abastecimiento de agua potable público (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

En América del Norte, la escasez de agua potable no es un problema debido a la presencia de nevados. Su constante deshielo representa la fuente principal de agua dulce de este territorio. De todas formas se han tomado iniciativas preventivas debido a la enorme contaminación como método de ahorro.

Sin embargo en América del Sur y Centro América se encuentra una gran cantidad de poblaciones sin acceso a agua potable e incluso aridez por lo que se han realizado varios esfuerzos para la implementación y buen uso de los sistemas de recolección de agua de lluvia. En la tabla 5 se presentan los casos de implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia en América.

Tabla 5. Recolección y usos de la lluvia en América

País	Motivación	Medidas	Precipitación Anual	Aplicación	Ejemplo
Canadá	Evitar sequía de verano	Incentivo económico y cambio de legislación.	537 mm	Riego: Suple el 40% del uso de agua en verano	Vancouver: Se ofrece subsidio a los tanques de recolección de agua de lluvia. Ahorro de 1300 galones  Healthy House: Casa autosuficiente.

<b>Estados Unidos</b>	Evitar sequía de verano	Independiente	715 mm	Riego de jardines	Texas: Implementación de recolectores en residencias, aprovechando su amplio techo.
<b>México</b>	Extensas zonas áridas	Acción municipal	752 mm	Descarga de inodoros, riego y limpieza	Techo-Cuenca: Almacenamiento municipal de agua de lluvia de hasta 500000 litros
<b>Brasil</b>	Solo en grandes ciudades: Medida de ahorro, y prevención de inundaciones.	Incentivo económico y cambio de legislación	1782 mm	Riego, limpieza, descarga sanitaria.	Implementación de tanques de recolección de agua de lluvia para beneficio de 5 millones de personas
<b>Ecuador</b>	Ahorro de agua, prevención en caso de ausencia de lluvias.	Independiente	2087 mm	Uso agrícola, higiene y descarga de sanitarios.	Vallejo y Araujo: Limpieza de autos con agua de lluvia recolectada.

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptado de Ballén, Galarza y Ortiz, 2006; Banco Mundial, 2011; Vallejo y Araujo, 2013.



#### **1.1.1.5.1 Ecuador**

Ecuador es un pequeño país con una gran variedad de microclimas y ecosistemas, por lo que en ciertas zonas el agua es abundante y en otras escasea. Sin embargo dentro del país no se han realizado reales esfuerzos para optimizar el aprovechamiento de agua de lluvia por lo que no hay disponibilidad de información en cuanto a proyectos previos. Los pocos lugares donde se han implementado estos sistemas es en empresas privadas y domicilios pequeños, sin embargo no es algo común entre la gente y en general los sistemas son poco eficientes.

Es posible que la falta de interés en los métodos alternativos de obtención de agua, se deba al muy bajo costo de la misma ya que el país subsidia una gran parte del total, y la gran disponibilidad de cauces naturales.

Por otro lado, con el mal manejo de recursos, crecimiento demográfico y contaminación descontrolada muchas de las fuentes de agua de los poblados han ido reduciendo la calidad de sus aguas, afectando al consumo humano, suelo de cultivos y a la naturaleza. Otro problema es la falta de abastecimiento de agua potable a las poblaciones pequeñas alejadas, muchas de ellas tienen acceso a cauces naturales, pero algunas otras están expuestas a cauces no aptos para el consumo humano, o se encuentran en áreas con poca disponibilidad del líquido vital.

Es por esto que en estos pequeños poblados del oriente ecuatoriano han optado por usar métodos artesanales y sencillos de recolección de agua de lluvia, principalmente para riego y limpieza.

De acuerdo al plan nacional del buen vivir, dentro del área urbana, la disponibilidad de agua ocasionalmente presenta inconvenientes, en los últimos años este problema se ha agravado en los meses de verano y en los meses de invierno las lluvias torrenciales han representado una gran amenaza con inundaciones generando enfermedades y pérdidas económicas (SENPLADES, 2010)

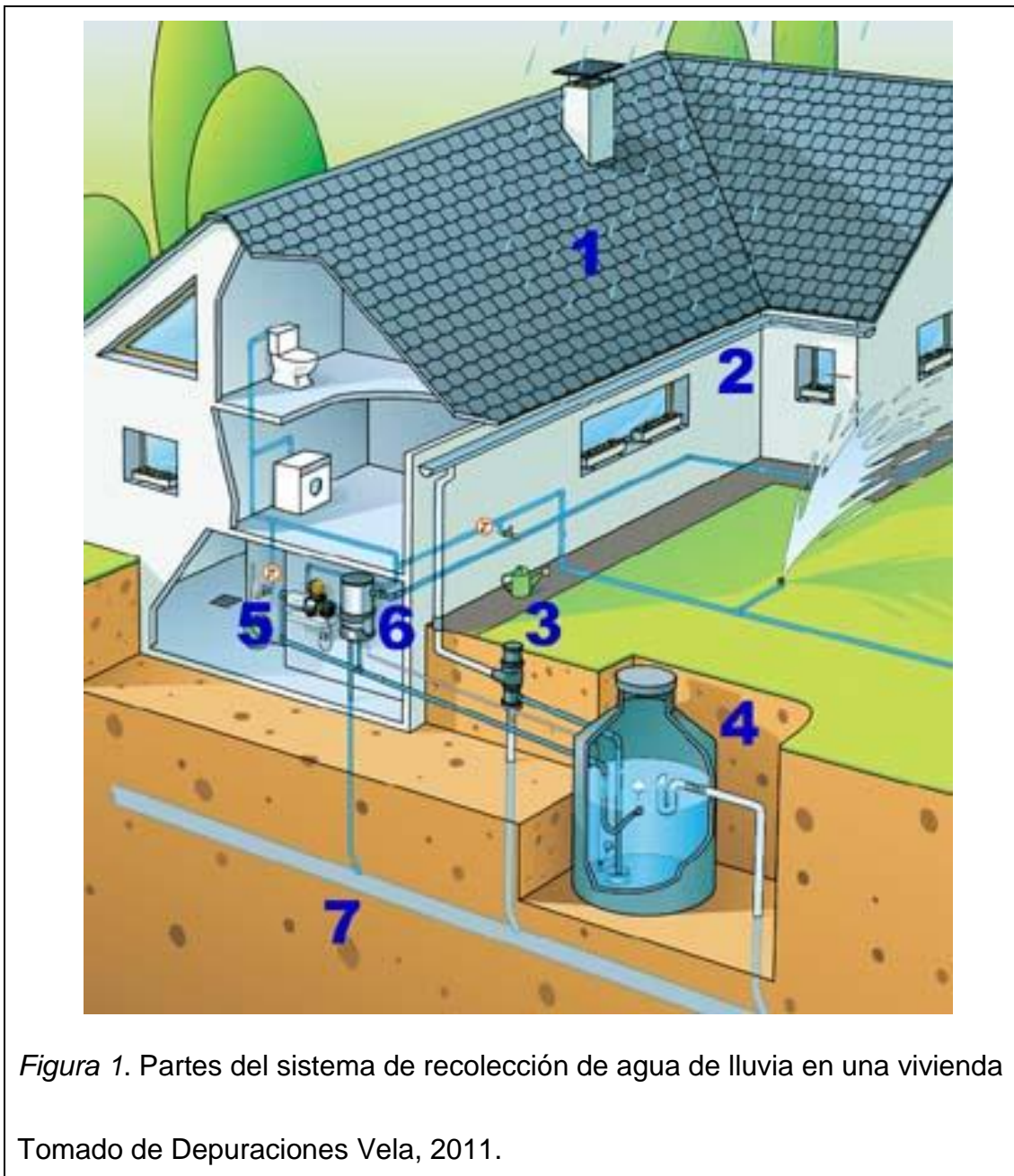
En la zona urbana solo se han implementado sistemas de recolección de agua de lluvia poco estructurados y muy pequeños, ejemplos de los cuales son mostrados en el capítulo II.

### **1.1.2 Mecanismos de sistemas de recolección de agua de lluvia disponibles**

En el mundo se han implementado varios de métodos de recolección de agua de lluvia. Sin embargo para la implementación dentro de una estructura residencial se ha destacado el uso de dos métodos.

- El primero se destaca por su sencillez, al aprovechar el agua de lluvia únicamente para riego de jardines y limpieza externa, para lo cual, el equipo se simplifica considerablemente. Quedando reducido a un tanque conectado a las bajantes de la estructura.
- En el segundo caso, que permite utilizar el agua de lluvia dentro de un establecimiento, es necesario que exista una red de agua para agua potable y otra para agua de lluvia, ya que nunca pueden mezclarse por la mala calidad del agua de lluvia. De darse el caso podría representar un riesgo para el humano. Previo a la entrada a la estructura, se debe implementar un sistema que controle cuando se dispone de agua de lluvia en el tanque de reserva, para que cuando no sea así, funcione con el abastecimiento normal de agua potable (Vela S.L. 2011).

En la figura #1 se indican los elementos proponentes en la implementación del sistema según la experimentada empresa española Depuraciones Vela. Sin embargo, al variar el diseño del sistema se puede prescindir de algunos de estos.



Dentro del sistema, se han localizado las partes esenciales señalando con un número cuyo nombre se ve a continuación:

1. Área de recolección - Techo
2. Canaletas
3. Filtro
4. Tanque de almacenamiento (Almacenaje del agua filtrada)

5. Bomba de agua.
6. Sistema de distribución
7. Sistema de drenaje

Para una correcta implementación del sistema, es necesario realizar un estudio previo de las necesidades y las opciones disponibles para optimizar el uso del sistema en cada inmueble. Se pueden instalar tanques de recolección de agua enterrados o superficiales, de diferentes tamaños y diferentes grupos de presión. Buscando en conjunto no solo el sistema más eficiente si no también un sistema que no afecte a la estética de la estructura. En la figura # 2 se presenta el ejemplo de un tanque superficial.



*Figura 2.* Ejemplar de tanque de recolección superficial recomendado

Tomado de Depuraciones Vela, 2011

## 1.2 Marco geográfico

El diseño del trabajo de titulación: “Reducción del uso de agua potable a través del diseño e implementación de un prototipo eco - sanitario mediante aprovechamiento de agua lluvia” se plantea bajo las características de la siguiente ubicación:

- Isla Isabela N 44-597 y Avenida 6 de Diciembre, Ciudadela Jipijapa. Quito, Ecuador.
- Coordenadas: -0.158596,-78.478477

En las figuras 3 y 4 se muestra el croquis con la ubicación del inmueble y la fachada externa de la casa:





*Figura 4.* Imagen de la vista externa de la residencia.

Isla Isabela N 44-597 y Avenida 6 de Diciembre, Ciudadela Jipijapa.

### **1.3 Marco Legal**

Para la recolección y uso del agua de lluvia, es necesario comprender que la calidad del agua recolectada puede ser variable y la ley establece que de acuerdo a su uso debe cumplir con determinados criterios.

Se ha establecido en el Texto unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, TULAS, libro XI Anexo 1 diferentes criterios según los usos que se le quiera dar al agua, señalando los siguientes:

Criterios de calidad por usos

- Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.
- Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.

- Criterios de calidad para aguas subterráneas.
- Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.
- Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
- Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
- Criterios de calidad para aguas de uso estético.
- Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
- Criterios de calidad para aguas de uso industrial.

La implementación de este sistema, no pretende suplir por completo el uso de agua potable, por lo cual se consideran solo los criterios de importancia para suplir las necesidades de agua exenta al agua de consumo humano para preparación de alimentos y bebidas e higiene personal, tomando así en cuenta el criterio #1 de agua de consumo humano y uso doméstico y el criterio #4 de aguas de uso agrícola o de riego.

Aunque se ha destacado que no se pretende utilizar el agua de lluvia para el consumo humano, se toma en cuenta este criterio porque en él se incluye “satisfacción de necesidades domésticas de higiene y limpieza”. Debido a que el destino del agua de lluvia incluye limpieza de suelos y descarga sanitaria, por lo que el agua debe cumplir con las normas del criterio de agua para consumo humano.



### 1.3.1 Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización

*“Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como, bebida y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, y fabricación o procesamiento de alimentos en general” (TULAS. Libro XI, Anexo 1).*

Esta norma se aplica a la captación del agua y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional. Se resaltan los parámetros de pH y sólidos disueltos que han sido estudiados por 11 años dentro de la ciudad de Quito que son de importancia para el estudio. En la tabla # 6 se detallan los límites establecidos por la norma.

Tabla 6. Límites máximos permisibles del criterio de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización. Parámetros de importancia para la utilización de agua de lluvia.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Potencial Hidrógeno	pH	-	6-9
Sólidos disueltos totales	STD	mg/l	500

*Nota:* Dentro de los límites máximos permisibles del criterio # 1 agua de uso humano, se incluyen una gran cantidad de parámetros cuyos datos no han sido estudiados o no se han considerados relevantes para el estudio. Por lo cual se ha generado esta tabla con los parámetros disponibles y necesarios. La tabla completa se incluye en anexos. Adaptado de TULAS, Libro XI, Anexo 1.

### 1.3.2 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

*“Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.”* (TULAS. Libro XI, Anexo 1)

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan a continuación:

Tabla 7. Límites máximos permisibles del Criterio de calidad de aguas de uso agrícola o de riego. Parámetros de importancia para la utilización de agua de lluvia.

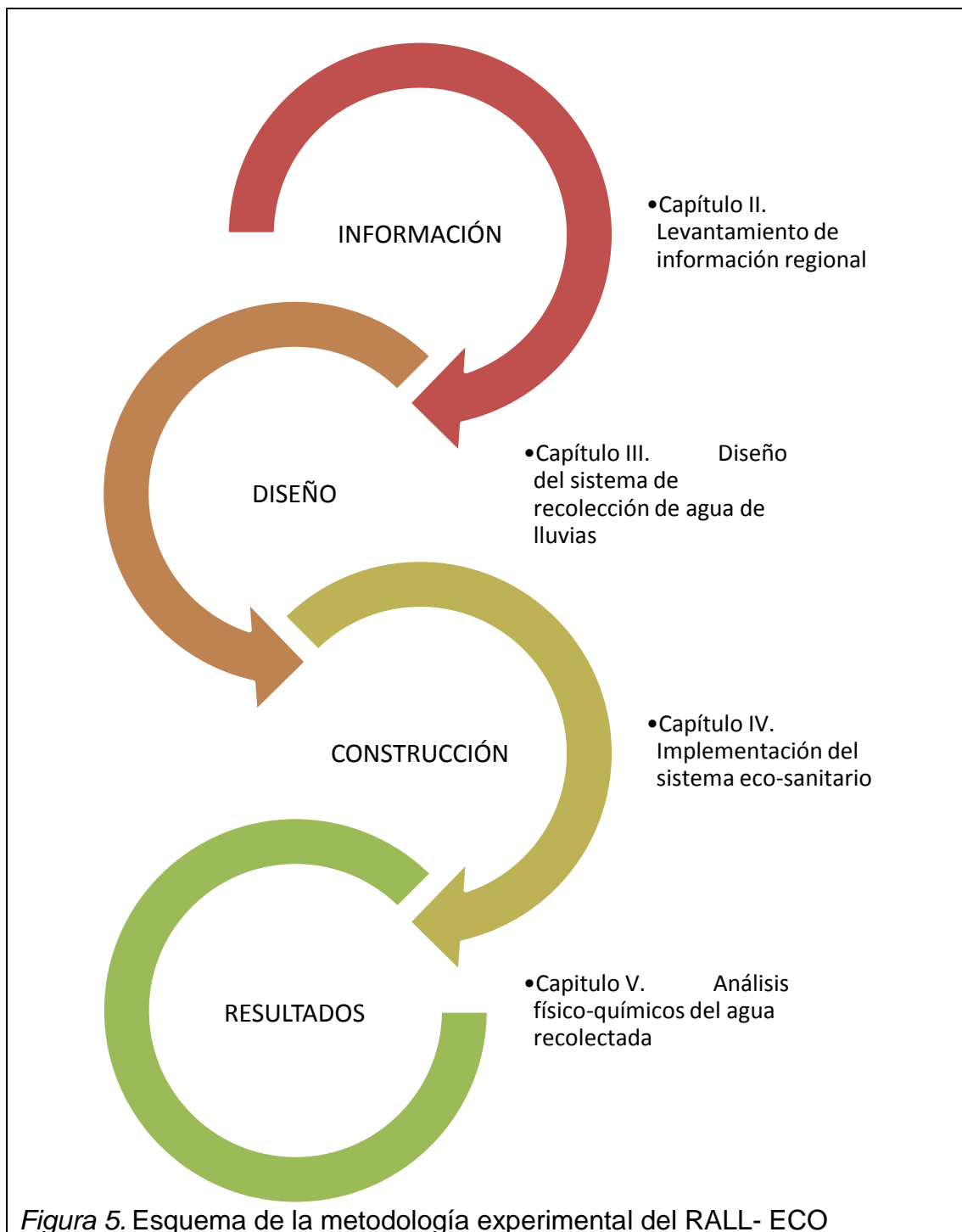
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Potencial Hidrógeno	pH	-	6-9
Sólidos disueltos totales	STD	mg/l	3 000
Conductividad eléctrica del agua	CE	Milimhos/cm	1

*Nota:* Dentro de los límites máximos permisibles del criterio # 2 de aguas para riego y uso agrícola, se incluyen una gran cantidad de parámetros cuyos datos

no han sido estudiados o no se han considerados relevantes para el estudio. Por lo cual se ha generado esta tabla con los parámetros disponibles y necesarios. La tabla completa se incluye en anexos al final del trabajo. Adaptado de TULAS, Libro XI, Anexo 1.

## METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para aplicar la metodología experimental es importante realizar un análisis de la información regional, a partir de esta información se desarrolla la sección se presenta el aporte experimental del estudio. A continuación se presenta el esquema del desarrollo de la experimentación.



## **2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN REGIONAL**

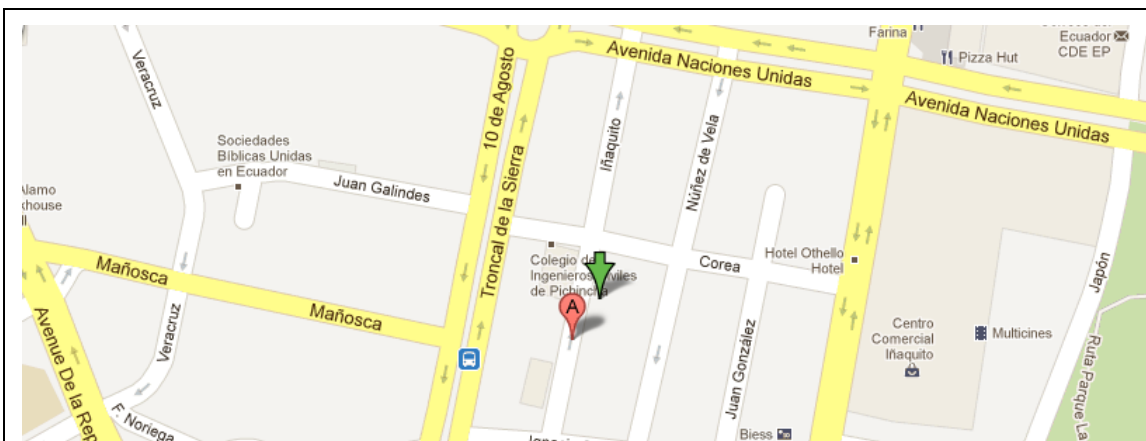
### **2.1 Levantamiento de información de las características regionales del agua de lluvia**

Dentro de los parámetros de medición de la calidad de agua que serán resaltados para la investigación, están el pH del agua, conductividad y sólidos totales disueltos por su importancia para la selección de los materiales y destinación del agua recolectada. Los registros de las mediciones han sido provistos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del año 2007 hasta el año 2012 y por el Centro de Investigación y control ambiental (CICAM) desde diciembre del año 2000 hasta abril del 2007.

En el capítulo II del presente trabajo, se presenta un extracto de los datos de pH, sólidos totales disueltos y conectividad para obtener un promedio que nos permita comparar con los límites máximos permisibles antes mencionados. Y también se presenta una recopilación de promedios de la precipitación de la estación Ñaquito, para realizar los cálculos de recolección esperada de la implementación, y así personalizar el diseño.

#### **2.1.1 Toma de datos de diferentes puntos de muestreo**

Se han recopilado los datos de la estación Ñaquito del laboratorio del INAMHI, por ser la estación más cercana a la ubicación de la implementación del recolector de agua de lluvia, localizada en la calle Ñaquito N36-14 y Corea. En la figura # 6 se presenta la localización actual de la estación, siendo el punto de muestro de los datos de precipitación de 30 años, y de los parámetros físicos de la lluvia desde el año 2007 al año 2012.



**Figura 6.** Ubicación de la estación Iñaquito, punto de muestreo de agua de lluvia

Nota: Coordenadas -0.177519,-78.487712

Adaptado en Google Maps, 2013.

El segundo punto de muestreo, incluyen las mediciones de los parámetros de pH, sólidos totales disueltos, y conectividad del año 2000 hasta el año 2007. Estas mediciones fueron realizadas por el Centro de Investigación y control ambiental (CICAM). Cuentan con una estación única dentro las instalaciones de la Universidad Politécnica Nacional del Ecuador localizada en la calle Ladrón de Guevara E11- 253, edificio CICAM. En la figura # 7, se puede observar la localización del segundo punto de muestreo, el laboratorio CICAM.



**Figura 7.** Ubicación de los puntos de muestreo de agua de lluvia del CICAM

Nota: Coordenadas -0.211529,-78.490083

Adaptado de EPN, 2010.

## 2.1.2 Parámetros de medición realizados por INHAMI y CICAM

### 2.1.2.1 Datos de Potencial Hidrógeno (pH) por un periodo de 12 años

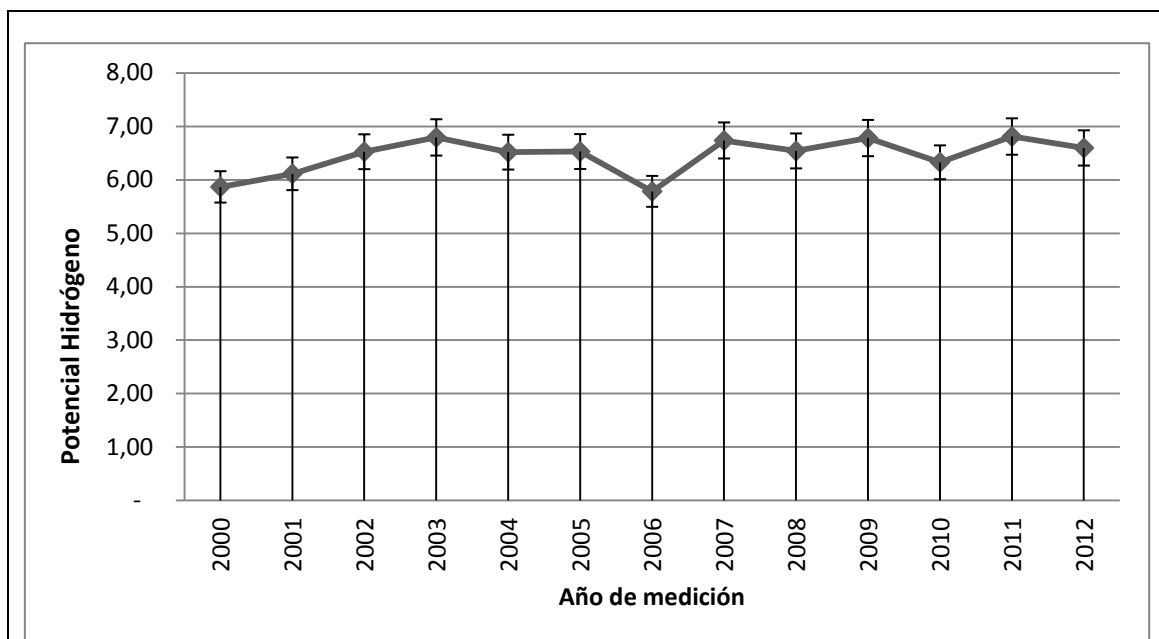
El Potencial Hidrógeno es una característica física indispensable para el análisis y selección de los materiales ya que es el factor determinante de la corrosividad esperada en los implementos y del uso potencial de la lluvia (Lenntech B.V, 2012).

Tanto el INHAMI como el CICAM, han recolectado muestras varias veces al mes, en días al azar, de los cuales se ha realizado los siguientes promedios anuales que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8. Promedios de potencial Hidrógeno del agua de lluvia de la estación Ñaquito del año 2000 al 2012

<b>Año</b>	<b>pH</b>
2000	5,87
2001	6,11
2002	6,52
2003	6,79
2004	6,52
2005	6,53
2006	5,78
2007	6,73
2008	6,5
2009	6,78
2010	6,33
2011	6,81
2012	6,60

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptada de datos del CICAM, 2002- 2007 y del INHAMI, 2007- 2012.



*Figura 8.* Gráfico barra error del pH obtenido.

Adaptada del CICAM, 2002- 2007 y del INHAMI, 2007- 2012.

Nota. Se ha calculado el valor de la desviación estándar de los datos en 0,34.

Ante la presencia de estos datos, se ha obtenido un promedio general de un Potencial Hidrógeno de 6,45, lo cual tiende a las características de agua ácida.

### 2.1.2.2 Datos de conductividad por un periodo de 12 años

Otro parámetro que ha sido analizado por ambas instituciones en los últimos años, es la conductividad, la cual se conoce como la habilidad de una solución de agua de conducir electricidad; es una medida de la cantidad de material que se encuentra disuelto en el agua, sin especificar qué material por lo que la conductividad por sí sola no es adecuada para caracterizar el agua (RED MAPSA, 2007). En las siguientes tabla y figura, se observa el promedio anual de conductividad de los últimos 12 años, con un contenido relativamente bajo al obtener el promedio de 20,31  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .



Tabla 9. Promedio anual de conductividad en la lluvia de la estación Iñaquito del año 2000 al 2012.

Año	Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
2000	22,8
2001	20,1
2002	21,40
2003	27,49
2004	21,22
2005	24,37
2006	18,91
2007	21,21
2008	17,04
2009	10,17
2010	27,20
2011	17,76
2012	14,37

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptada de datos del CICAM, 2002- 2007 y del INHAMI, 2007- 2012.

También se presenta la figura conteniendo los resultados obtenidos del cálculo de la desviación estándar, en la figura # 9 a continuación.

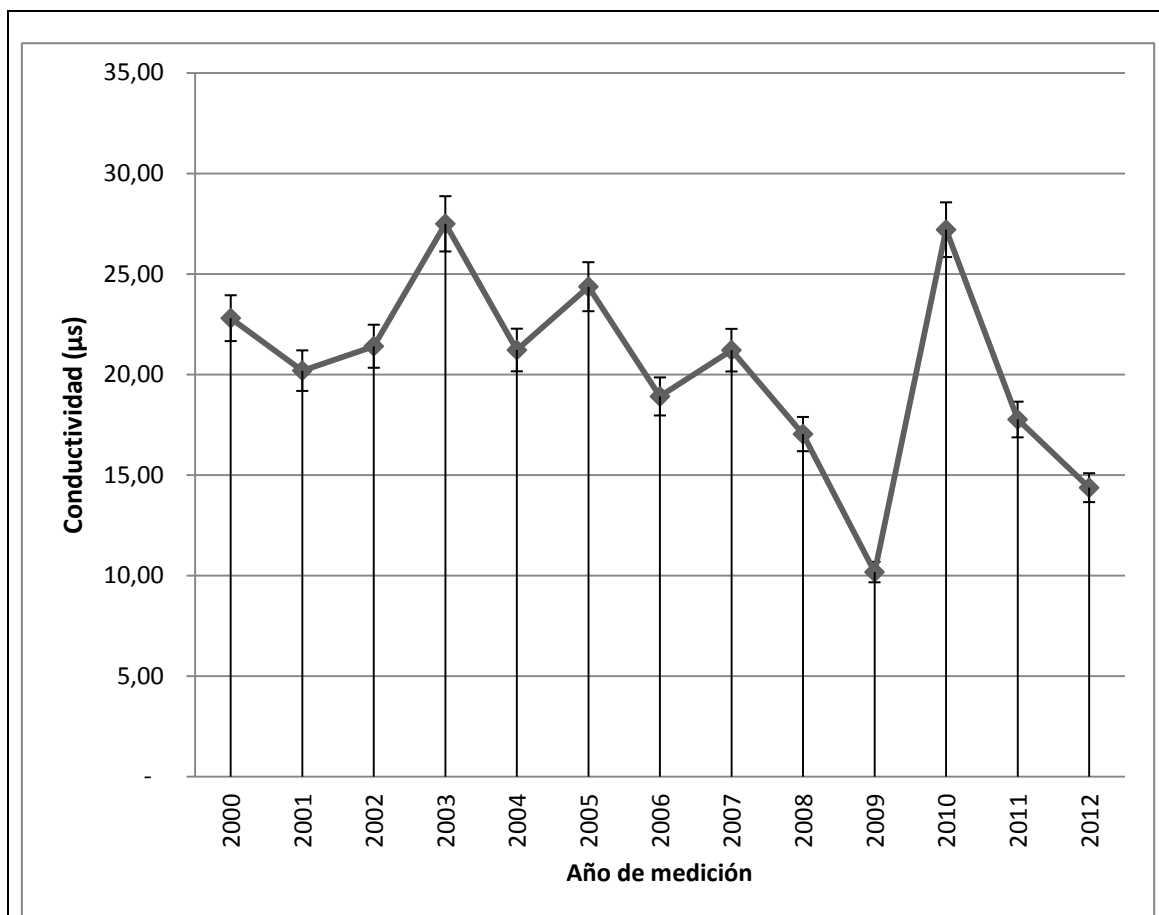


Figura 9. Gráfico barra error de la conductividad anual obtenida.

Nota. Se ha calculado una desviación estándar de 4,85. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla.

Adaptada a partir de datos del CICAM, 2002- 2007 y del INHAMI, 2007- 2012.

### 2.1.2.3 Datos de Sólidos Totales Disueltos (STD) por un periodo de 7 años

El tercer parámetro a analizar es el de los sólidos disueltos, estos son constituidos por las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, tal como sedimentación o filtración entre otros (Anchor, 2004). La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua

completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos por lo que se puede ayudarse de la conductividad para la detección de sus niveles (Well educated, 2012).

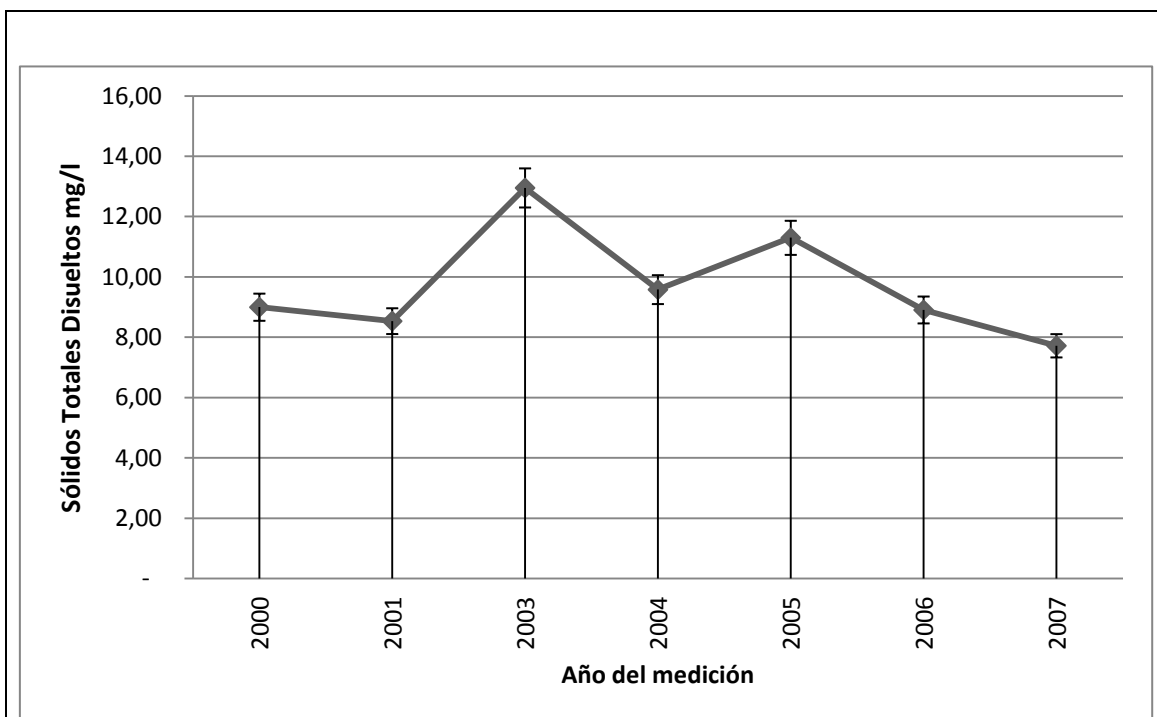
En la siguiente tabla y figura se indicarán los promedios anuales de Sólidos Totales Disueltos en la medida de mg/l, sin embargo son pocos los años en los que se han realizado estudios de este parámetro para realizar este estudio.

Tabla 10. Promedio anual de sólidos totales disueltos (STD) en la lluvia 2000 al 2007.

<b>Año</b>	<b>STD mg/l</b>
2000	9
2001	8,54
2003	12,95
2004	9,58
2005	11,30
2006	8,91
2007	7,72

Nota. En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptada a partir de datos del CICAM, 2002- 2007.

En la figura #10 a continuación se presenta el gráfico barra error de los valores de sólidos totales disueltos. Obtenidos de los análisis realizados por el CICAM.



*Figura 10.* Gráfico barra error de los valores de sólidos totales disueltos.

Nota: Solo el laboratorio del CICAM realizó el análisis de los datos, por lo que solo se obtiene información hasta el 2007, con la ausencia de datos del año 2002.

En presencia de estos datos se ha obtenido un promedio de sólidos totales disueltos de un total de 9,72 mg/l.

En anexos se puede encontrar la información expandida de la tabla. Adaptada a partir de datos del CICAM, 2002- 2007.

### **2.1.3 Promedios de precipitación de la estación Iñaquito (Quito Norte)**

Los datos de precipitación media se presentan como un factor meteorológico indispensable no solo para seleccionar el tamaño adecuado del tanque de reserva para el sistema, sino también para el estudio de factibilidad y eficiencia del mismo. Para un estudio más preciso, se han analizado los datos desde el año 1982 hasta el año 2012, cumpliendo 30 años de mediciones de precipitación de agua de lluvia en la estación Iñaquito.

Estos datos fueron obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con el fin de medir el espesor de agua que se formaría en una superficie plana e impermeable a causa de la precipitación. El instituto ha dividido al Ecuador en 11 zonas de acuerdo a los promedios de lluvia obtenidos en todo el país, las cuales se observan en la figura 10.

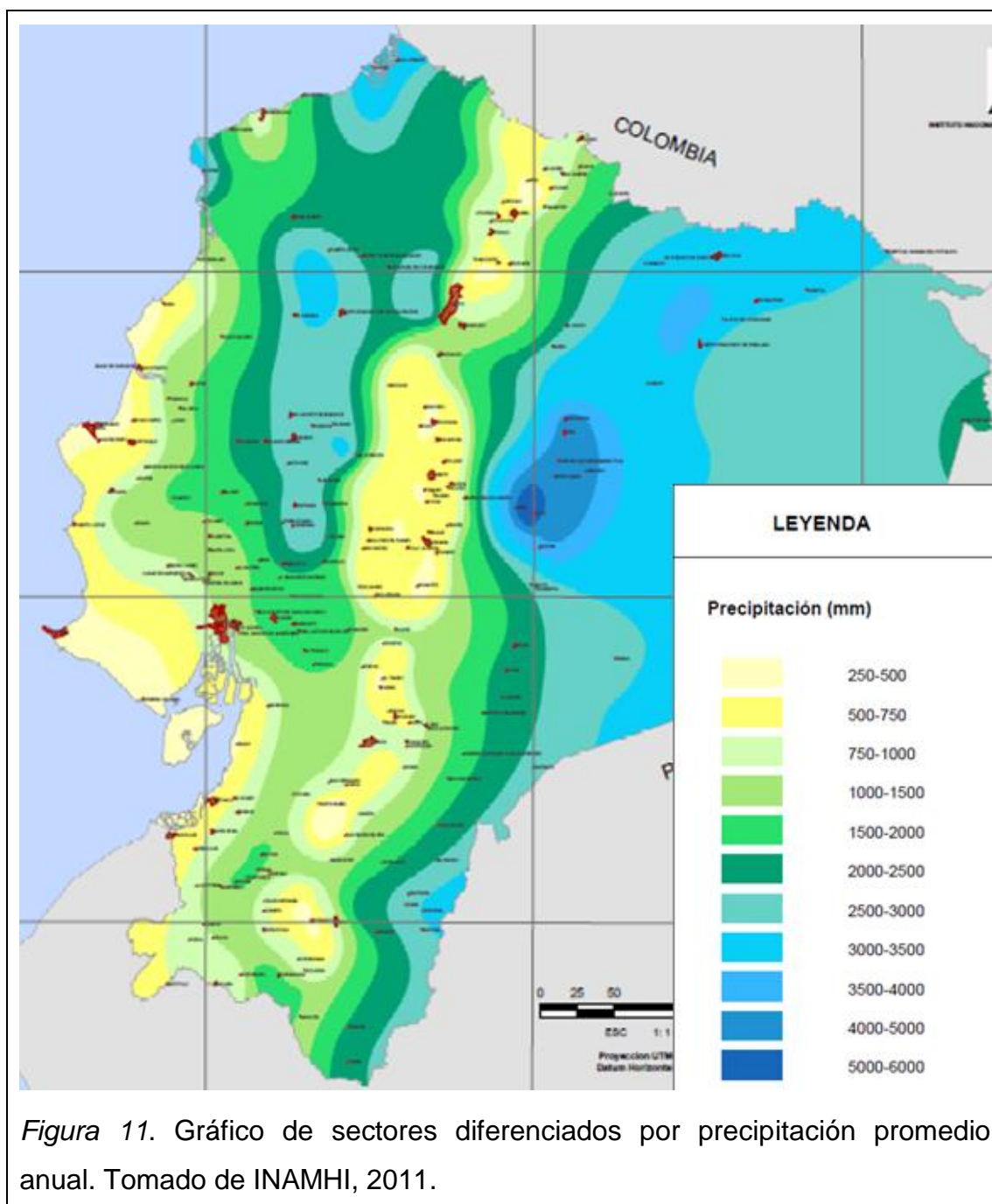
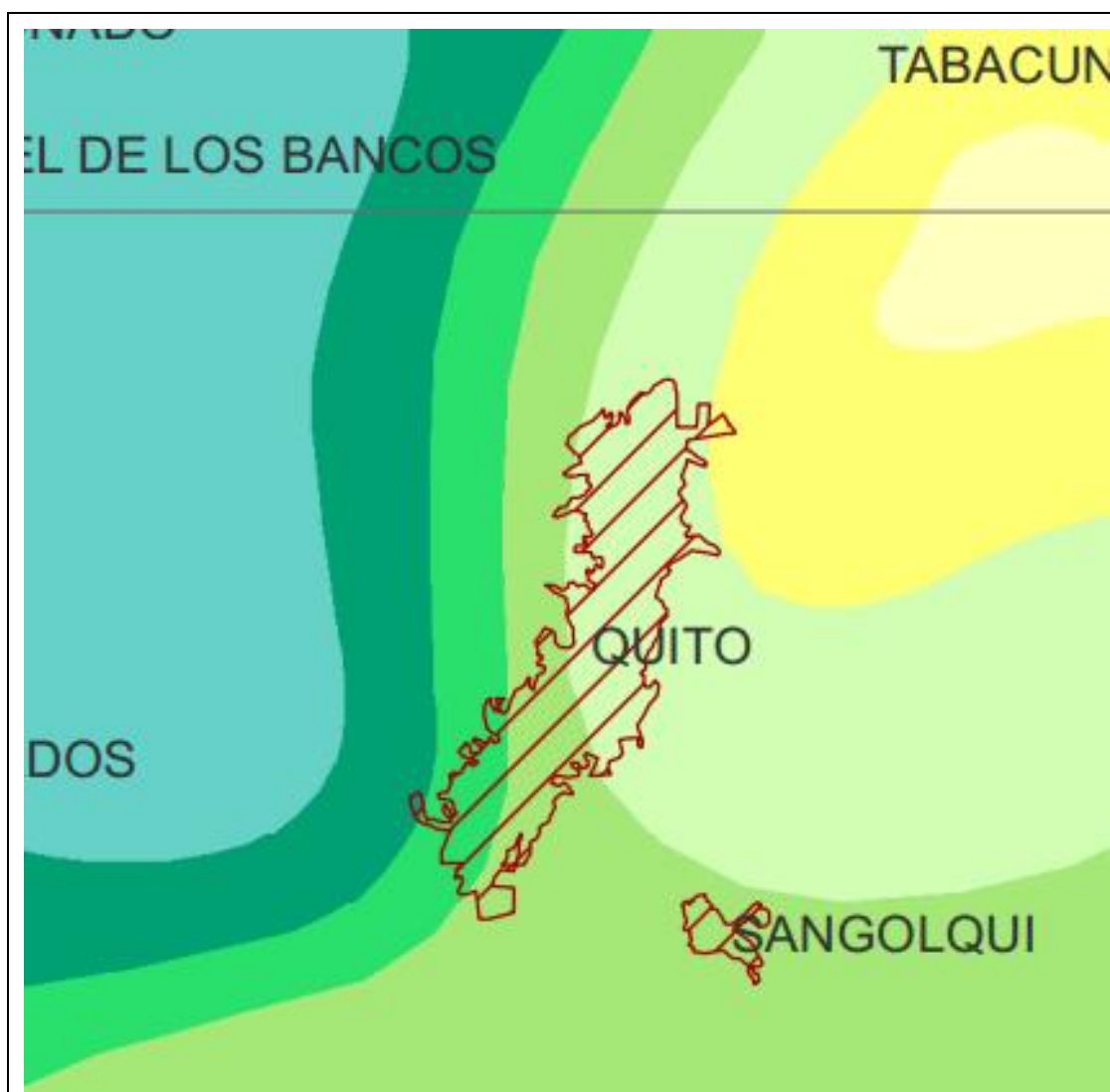


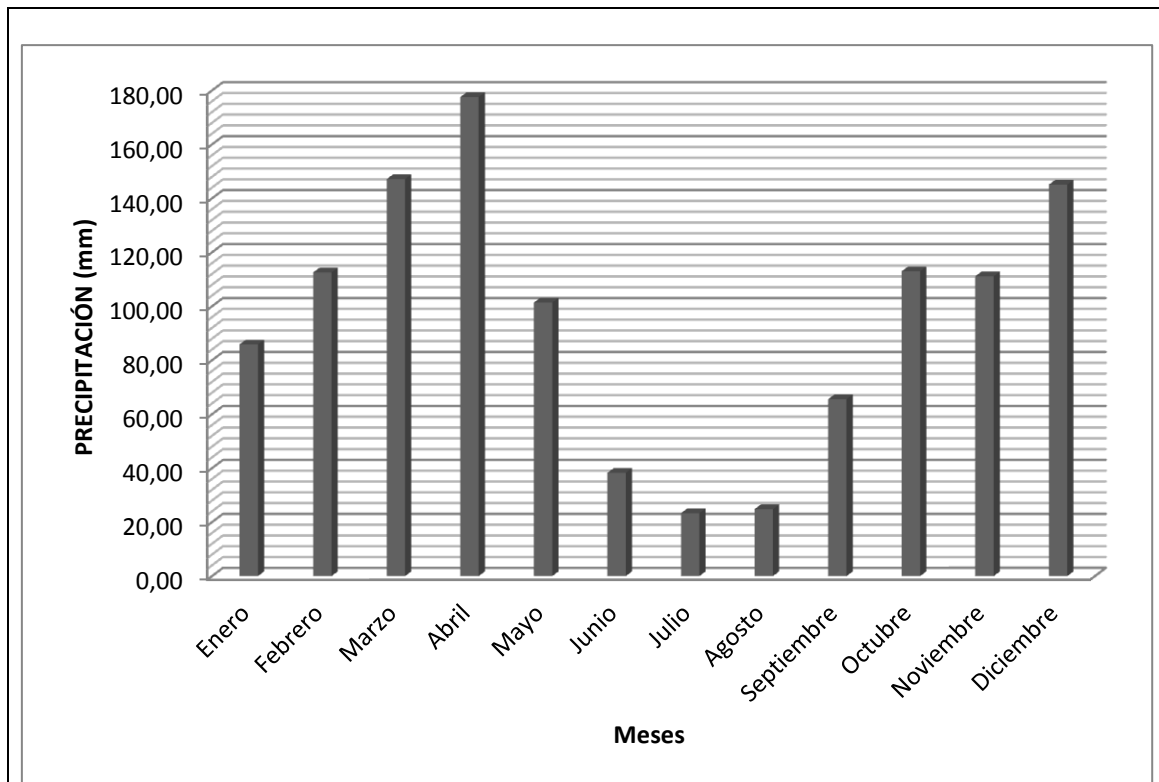
Figura 11. Gráfico de sectores diferenciados por precipitación promedio anual. Tomado de INAMHI, 2011.



*Figura 12.* La ciudad de Quito diferenciada por los sectores de precipitación anual. Tomado de INAMHI, 2011.

De acuerdo a las figuras 10 y 11, la ciudad de Quito se encuentra dentro de 3 zonas, en las que la precipitación varía entre 750 (mm) a 2500 (mm) al año. El estudio realizado está comprendido en la parte norte de la ciudad en la cual destaca un rango de 750 – 1000 (mm), y de acuerdo a los promedios mensuales analizados de 30 años se obtiene una sumatoria de precipitación anual de 1164,68 (mm).

Para la importancia del estudio se recalcan los promedios por mes de precipitación, que observaremos en el siguiente gráfico:



*Figura 13.* Promedio de precipitación por meses de la estación Iñaquito del año 1982 al 2012.

Adaptado de los datos obtenidos de INAMHI, 1982-2012.

De acuerdo a los gráficos mostrados, se concluye que el mes con mayor precipitación es el de abril con un promedio de 177,56 mm a través de los últimos 30 años, y los meses más secos son junio, julio y agosto.

En cuanto a un promedio de precipitación por año, se ha obtenido una enorme desigualdad entre año y año, teniendo en el año 1999 el promedio más elevado siendo 127,68 (mm) entre las precipitaciones mensuales con una sumatoria anual de 1530,4 (mm). Las sumatorios anuales de precipitación se observan en la tabla a continuación:

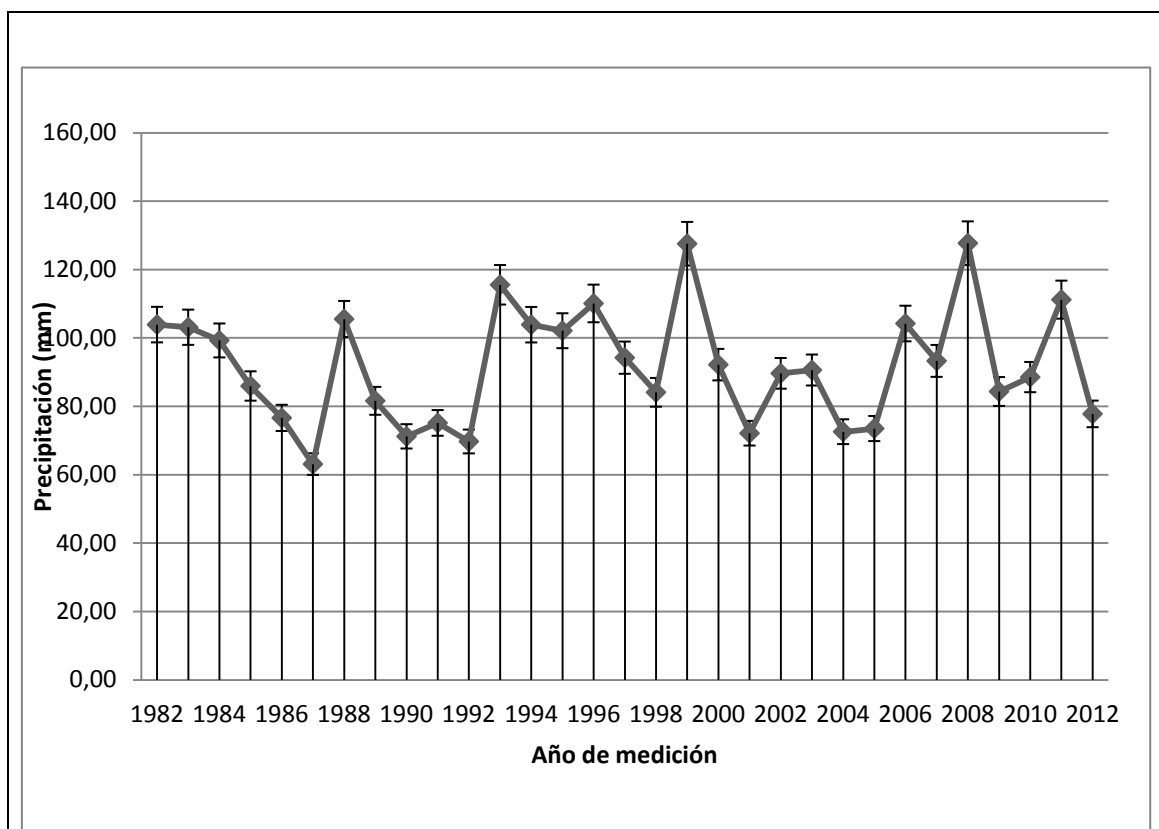
Tabla 11. Promedios mensuales y sumatorias anuales de la precipitación de la estación Iñaquito, Quito.

Año	Promedio de precipitaciones mensuales (mm)	Sumatoria de precipitación al año (mm)
1982	103,88	1246,6
1983	103,11	1237,3
1984	99,25	1191
1985	85,93	343,7
1986	76,60	919,2
1987	63,09	757,1
1988	105,52	1266,2
1989	81,58	979
1990	71,20	854,4
1991	75,13	901,5
1992	69,70	836,4
1993	115,53	1386,3
1994	103,86	1246,3
1995	102,09	1225,1
1996	110,07	1320,8
1997	94,21	1130,5
1998	84,08	1009
1999	127,53	1530,4
2000	92,18	1106,1
2001	72,12	865,4
2002	89,63	1075,5
2003	90,60	996,6
2004	72,56	870,7
2005	73,48	881,8
2006	104,20	1250,4
2007	93,26	1025,9
2008	127,68	1532,2
2009	84,32	1011,8
2010	88,54	973,9
2011	111,18	1334,2
2012	77,77	699,9

Adaptado de los datos obtenidos de INAMHI, 1982-2012



Para mejor visualización de la variación de las sumatorias de precipitación anual se presenta el siguiente gráfico:



*Figura 14.* Gráfico de precipitaciones promedio por mes de cada año.

Nota. De estos últimos 30 años se obtiene un promedio de precipitación total de 77,77 mm.

Adaptado de los datos obtenidos de INHAMI, 1982- 2012.

## **2.2 Problemática actual en la ciudad de Quito para generar implementación y mantenimiento de los Sistemas de Recolección de agua de lluvia**

Para reconocer la problemática de la recolección de agua en Quito se debe comprender que uno de los factores más conflictivos, de acuerdo a los datos del INHAMI (1982-2012) se observa la poca frecuencia con la que llueve en esta ciudad. A partir de esto, el bajo costo que representa el agua potable, la falta de legislación e incentivos, la negligencia en instrucción técnica, es que la aplicación de sistemas de recolección de agua de lluvia es poco conocida dentro del área profesional. En el presente capítulo se presenta un análisis de estas falencias.

### **2.2.1 Costo del agua potable**

Se conoce que en cuanto a los costos del agua potable en Quito, el consumidor no paga la totalidad del consumo, ya que su financiamiento consta de 3 fuentes. La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – Aguas Metropolitanas obtiene su financiamiento de las siguientes fuentes (EMAAPQ, 2013):

- Recaudación por concepto de dotación de servicios de agua potable y saneamiento.
- Asignaciones presupuestarias municipales.
- Créditos de organismos multilaterales y regionales.

Si se estandariza el caso de Quito, el pago recaudado del ciudadano es de \$ 0,31 si se consume hasta 20 m<sup>3</sup>, si el consumo es de 21 a 25 m<sup>3</sup> (en parroquias rurales de 31 m<sup>3</sup> en adelante), el costo por metro cúbico es de \$ 0, 43. A partir de 26 m<sup>3</sup> de consumo, el costo de cada metro cúbico es de \$ 0, 72 (EMAAPQ, 2013). Estos precios son extremadamente bajos a comparación de países con un gran desarrollo en sistemas de recolección de agua de lluvia

como Dinamarca con el precio de € 1.84 y Alemania € 1.73 por metro cúbico. De esta manera es que la inversión de implementar un sistema de recolección de agua de lluvia en Quito se ve afectada por el largo tiempo en el que se podrían observar los beneficios económicos.

## **2.2.2 Carente promoción de la recolección de agua de lluvia**

En cuanto al conocimiento de la aplicación de los sistemas de recolección de agua de lluvias tanto a nivel profesional como artesanal, no se ha popularizado dentro del país. A continuación se detalla los principales motivos por los cuales, la optimización de la recolección de agua de lluvia no es un tema incentivado ni estudiado.

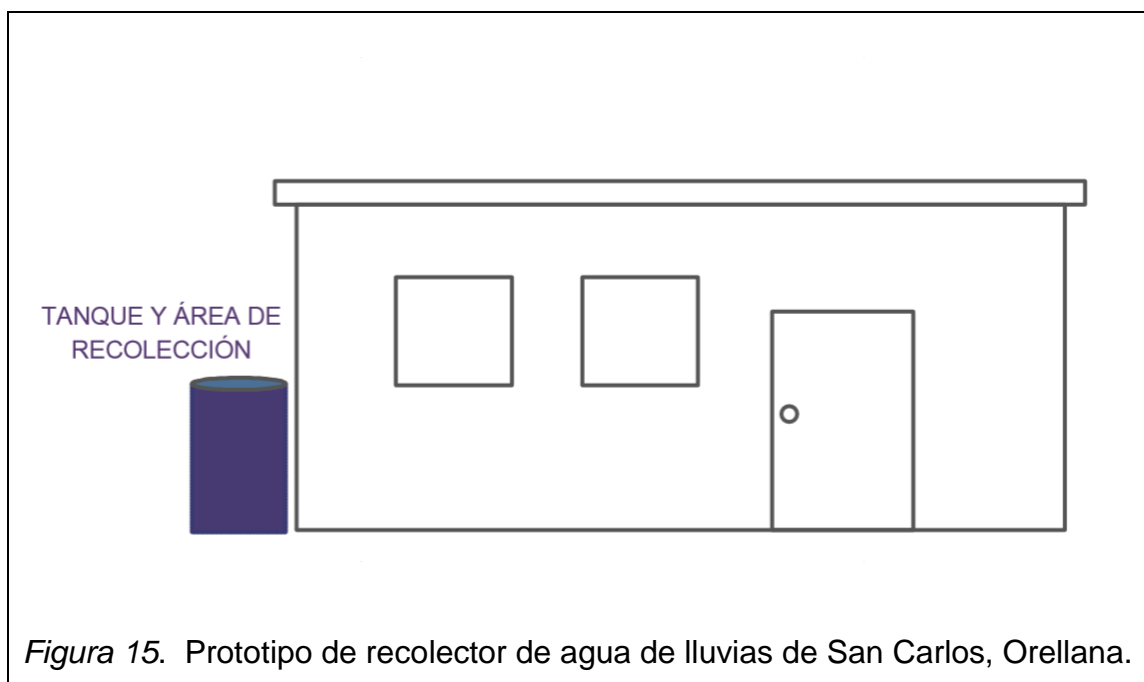
### **2.2.2.1 Falta de incentivos y legislación**

Un factor relevante ante baja implementación de sistemas de recolección de agua de lluvias, es que no existen incentivos económicos o legislación que motive a la gente a promover el ahorro de agua. Como fue detallado en el primer capítulo, se menciona que en varios países en todo el planeta el gobierno está incentivando la implementación de estos sistemas. Con la reducción de pagos de impuestos o generando nuevas legislaciones, se exige que las construcciones futuras incluyan diseños con mayor sustentabilidad de recursos, incluido en éste la recolección de agua de lluvias.

Esta motivación gubernamental populariza enormemente la búsqueda de alternativas sustentables ante las necesidades cotidianas, generando un ahorro comunal que excede el 50% de consumo de agua tan sólo con recolección de agua de lluvia.

### 2.2.2.2 Aprovechamiento negligente por falta de conocimientos técnicos

Dentro de Ecuador, los sistemas de recolección de agua de lluvias, se han implementado en pocas zonas del oriente donde las comunidades que carecen de acceso al agua potable. Aunque no se tiene un método estandarizado de implementación, se conoce que en su mayoría los sistemas tan solo consisten en un tanque de recolección abierto localizado en la parte superior o a un lado de la casa, con una llave que permite recolectar el agua para su uso. En la siguiente imagen, se observa el prototipo de los recolectores de agua de lluvia del oriente.



*Figura 15.* Prototipo de recolector de agua de lluvias de San Carlos, Orellana.

Este es el caso específico de varias residencias en la parroquia de San Carlos en la provincia de Orellana, donde el agua de sus alrededores ha sido contaminada por la industria petrolera por lo que se vieron obligados a buscar alternativas de obtención de agua.

Este tipo de implementación presenta varios inconvenientes que reducen su aprovechamiento:

- El área de recolección de agua es pequeña, ya que se limita al área del tanque de reserva. Esta capacidad de recolección es insuficiente para suplir las necesidades de agua de una familia promedio de 5 miembros.
- El poseer un tanque de reserva de agua abierto en un clima cálido-húmedo como el de la parroquia de San Carlos, puede presentar una amenaza a la salud de los consumidores al generar vectores. Además de que se ensucia con partículas y agentes naturales externos, contaminando el agua para su consumo.
- El tipo de instalación del recolector, no facilita el acceso al agua, ya que no se han implementado tuberías que dirijan el agua hacia los puntos de necesidad.

El oriente del Ecuador es la región del país que mayor rango de precipitación en presenta. Toda la región varía entre 3000 a 6000 (mm) de precipitación pluvial al año, por lo que el agua de lluvia podría suplir casi en totalidad las necesidades de la población. De todas formas la mala capacitación, falta de información y por supuesto falta de técnicos especializados en el tema, no han permitido que la recolección se optimice logrando ver resultados tangibles ante la optimización del agua de lluvia.

### **2.2.2.3 Información parcial**

En los últimos años la tendencia hacia la conservación ambiental ha aumentado los esfuerzos de centros educativos y gubernamentales para concientizar al consumidor. Los intentos de transmitir las alternativas disponibles de conservación, a manos de no profesionales del área ambiental, se han visto alteradas por la condensación de la información y modificaciones para mayor facilidad. Esto ha generado problemas de desinformación,

mitificación de la conservación y mala instrucción ante los métodos de ahorro de recursos.

Dentro de la ciudad de Quito se puede encontrar un ejemplo muy representativo de esta situación. En un museo, siendo un área creada con el único objetivo de motivar la conservación del agua, se encuentran ciertas modificaciones que alteran el concepto de un ahorro de agua potable eficiente.

#### **2.2.2.3.1 Museo del agua YAKU**

*“Un espacio que propicia la educación ciudadana y la apropiación del patrimonio agua como legado colectivo y estratégico, a través de la reflexión y la interpretación”* (Museo del agua Yaku, 2013).

Se ha implementado un área de interés público, donde la gente puede familiarizarse con la arquitectura sustentable. Se trata de una casa ecológica dentro del conocido Museo del Agua “YAKU” dentro del cual se implementan varios métodos para ahorro de recursos, sin dejar de lado al agua de lluvia y su reutilización.

En este museo aparte de la gran instrucción sobre la importancia y el cuidado del agua, se expone un mecanismo sencillo y económico de la aplicación de métodos de ahorro de agua potable aunque es poco aprovechado. Se puede observar un sistema de recolección de agua de lluvia que tan solo con recolectar el agua de las canaletas, se surte de agua para la maquina lavadora de ropa como se ve en la siguiente imagen.



Figura 16. Se muestra la tubería que dirige el agua recolectada a la lavadora.

Con gran incongruencia, se observa que dentro de la implementación de la casa no se incluye un tanque de recolección de agua de lluvia para uso sanitario o para riego, haciendo ver poco útil el aprovechamiento de este recurso. Por lo que no se considera una fuente importante de información sobre sistemas de recolección de agua de lluvia.

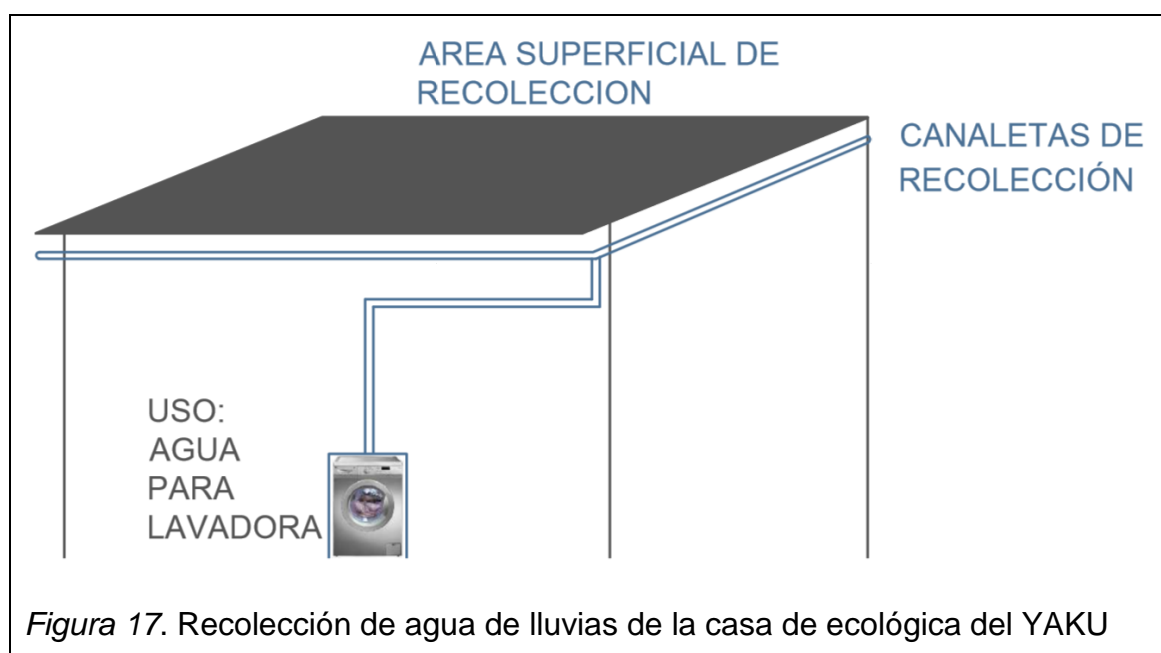


Figura 17. Recolección de agua de lluvias de la casa de ecológica del YAKU

### 2.2.3 Sistemas de recolección de agua de lluvia implementados en Quito

Con el fin de comprender a mayor profundidad la problemática de la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia en la ciudad de Quito, se presenta una observación de los siguientes casos implementados en la ciudad.

#### 2.2.3.1 Residencia en Quito – Norte

Ubicación: Morlán N 49 – 233 y Pucardas, Quito Norte



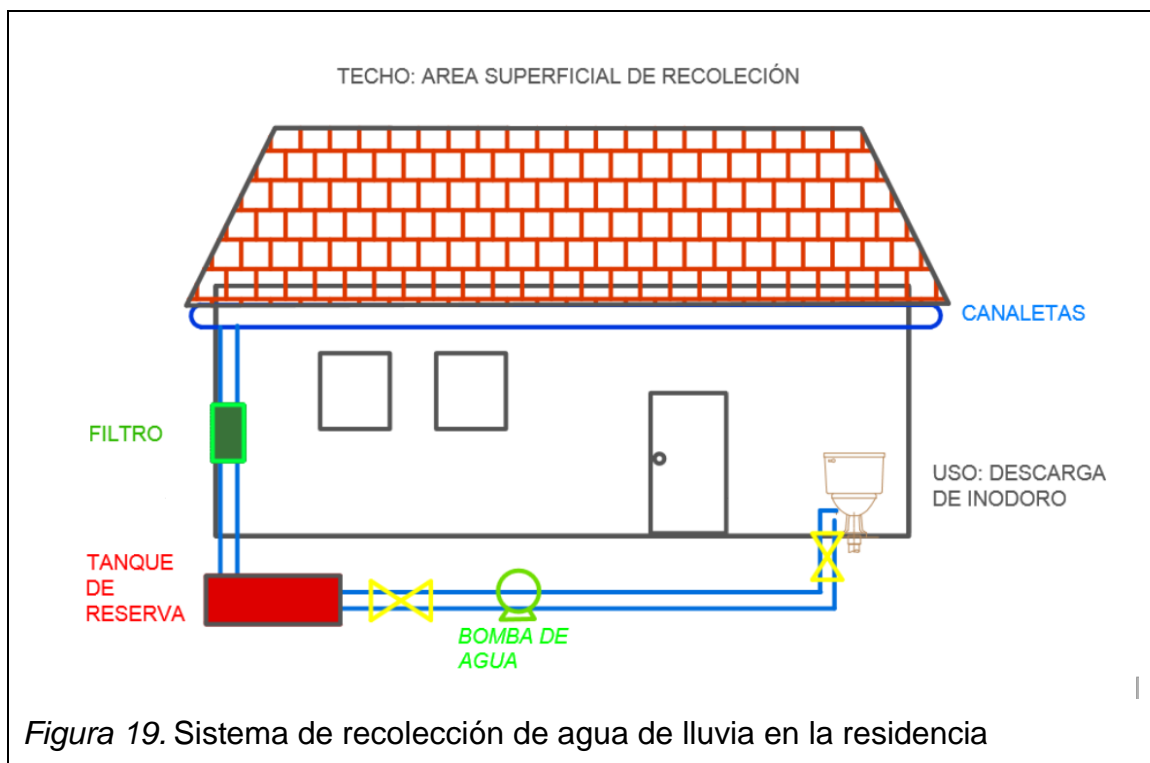
*Figura 18.* Residencia con sistema de recolección de agua de lluvia para reducción de agua potable.

Este pequeño sistema de recolección de agua de lluvias, fue ubicado en una residencia de Quito, con el objetivo de cubrir tan solo las necesidades el baño social. Se consideró que la lluvia recolectada en la pequeña área de techo disponible, no abarcaría las necesidades de todos los baños de la casa, así escogiendo solo el baño más utilizado.



Para las necesidades de este sistema, se ha hecho una implementación básica, que consta tan solo de: Tanque de reserva, canaletas, tubería, bomba, rejilla, filtros y válvulas. Aunque los dueños de la casa desconocen los detalles técnicos del sistema, se pudo observar lo siguiente:

El sistema comienza con implementación de canaletas acorde a la fachada. Estas se dirigen hacia un solo canalón que dirige lo recogido hacia el tanque después de pasar por la rejilla. Con una capacidad de 250 litros, el tanque de reserva almacena el agua que con ayuda de la bomba es dirigida al baño. Antes de llegar al inodoro el agua pasa por 3 filtros. En la siguiente imagen se observan las canaletas recolectoras de agua del techo, y el canalón que dirige el agua al tanque subterráneo.



El costo de este sistema se aproxima a los 1 500,00 \$, incluyendo todos los materiales antes mencionados y la mano de obra. Sin embargo se comentó que después de hacer la implementación, tuvieron errores que construcción. Por lo que debieron reabrir el área de la tubería, aumentando los gastos de implementación.

En cuanto al mantenimiento del sistema, se hallaron las siguientes desventajas:

- Apertura manual de la válvula de entrada de agua potable, en caso de escasez de agua de lluvia.
- En caso de abundancia de agua de lluvia, el tanque se llena haciendo que las canaletas también queden saturadas. Cuando esto sucede los dueños descargan el inodoro varias veces por temor a que el peso afecte a las canaletas.
- Se debe realizar el cambio de 3 filtros cada 4 meses, con un costo de 13,00 \$ cada uno, representa un gasto anual de 117,00 \$.
- El ahorro económico generado por el sistema es muy bajo.

Los dueños recomiendan que para la implementación del sistema haya inodoros ecológicos, es decir con botones que permitan la diferenciación de descargas sólidas y líquidas, y un tanque con menor capacidad de descarga.

De este sistema podemos concluir que la implementación ha generado costos mayores a la ventaja económica que ofrece el sistema. Sin embargo muchos de estos inconvenientes pueden ser arreglados fácilmente en la implementación inicial del sistema.

Para reducir gastos se recomienda ubicar el tanque por encima del baño, así evitando la compra de la bomba y el consumo de energía de esta.

### **2.2.3.2 Implementación en el edificio KeyBuilding**

Ubicación: E13 – 69 Coruña

En esta localidad se ha implementado un sistema de recolección de agua de lluvias, junto con la construcción del edificio. El propósito del sistema era regar un jardín interno en el que funciona un spa y suplir de agua reutilizada a un

elemento decorativo con agua y luces. Los administrativos aseguran que el sistema no fue elaborado adecuadamente por lo que nunca se puso en funcionamiento. Dadas las circunstancias, no se pudo obtener datos del mantenimiento ni características específicas del sistema. En la imagen a continuación se presenta el prototipo del recolector de agua de lluvias.



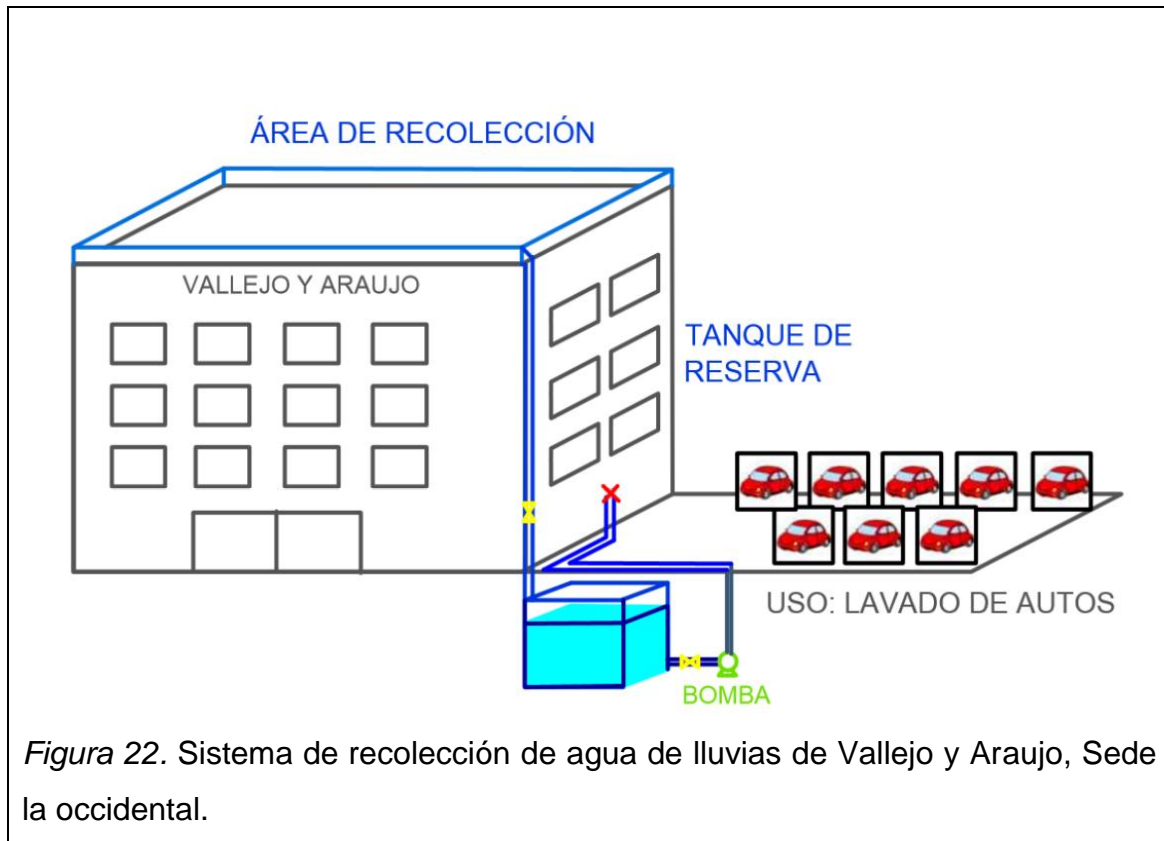
Sin embargo se conoce que el sistema representó un gasto de aproximadamente 15 000 \$, hace dos años.



*Figura 21.* Elemento decorativo con agua recolectada de lluvia y luces inactivo, edificio Keybuilding.

### **2.2.3.3 Vallejo y Araujo**

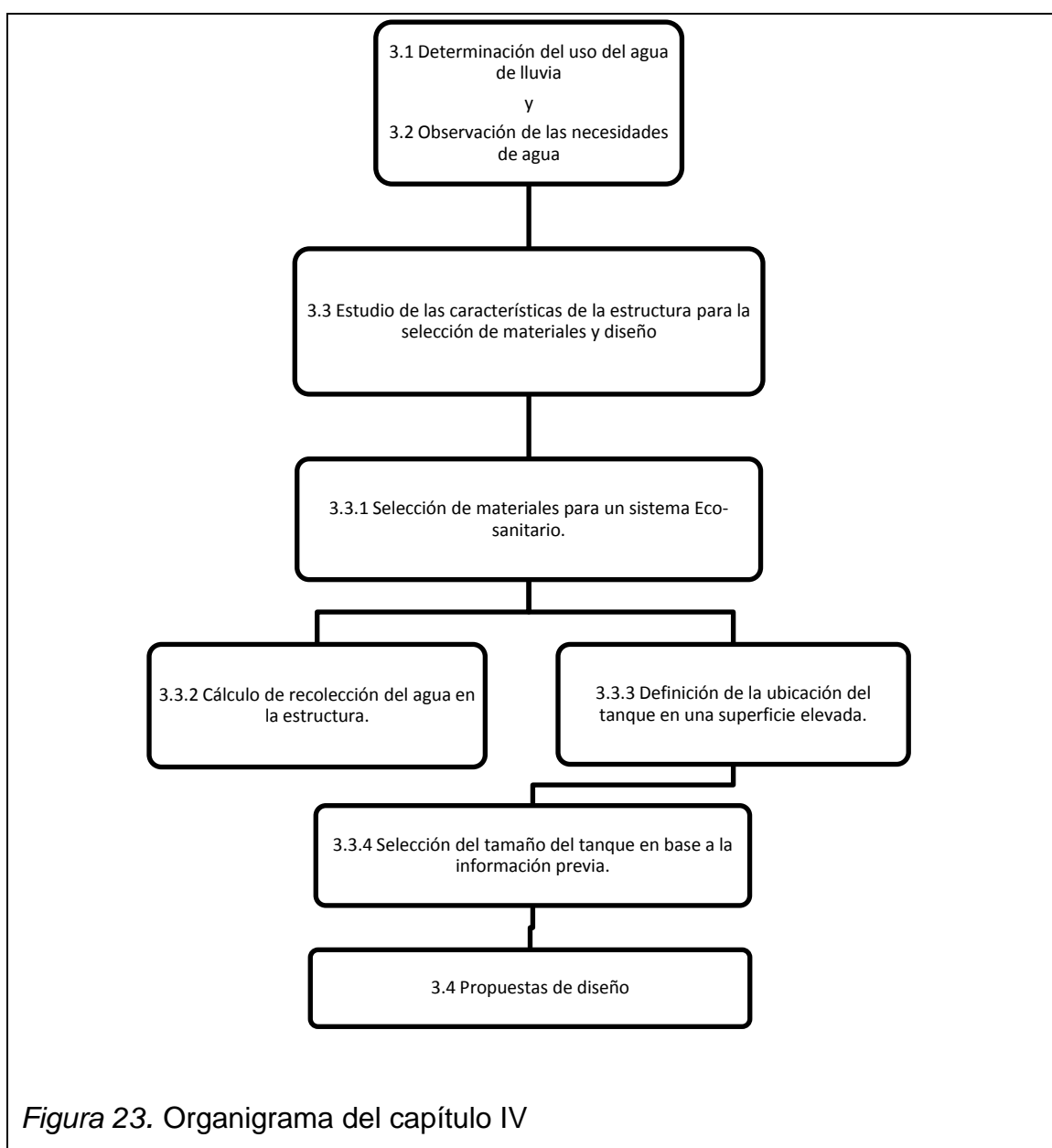
La distribuidora de autos de Vallejo y Araujo hace varios años decidió implementar sistemas de recolección de agua de lluvia para el lavado de automóviles. Obteniendo en años pasados buenos resultados, implementaron el sistema en otros locales de su sucursal. Sin embargo, debido a la escasez de lluvia del año 2011 y 2012, el sistema actualmente no se encuentra en funcionamiento. Es por esto que no hay encargados que puedan proveer información sobre las características del sistema. En la figura # se presenta el prototipo del recolector de agua de lluvias de la empresa



### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIAS RALL-ECO

En el tercer capítulo del presente trabajo de titulación, se presentan los factores a considerar para realizar la implementación del sistema eco-sanitario de recolección de agua de lluvia (RALL-ECO) de acuerdo a las necesidades de la estructura.

Para ello se han tomado en consideración los siguientes factores a ser estudiados en las siguientes secciones del presente trabajo:



Determinación de los usos del agua recolectada:

- Se realiza en base a la comparación de los resultados de las mediciones de las características del agua de lluvia analizadas en el capítulo II, con los límites máximos permisibles establecidos en el capítulo I. Se compara los parámetros de potencial hidrógeno, conductividad y sólidos totales disueltos, con el fin de determinar el uso potencial del agua de lluvia, evitando que represente un riesgo para el usuario y el mantenimiento del sistema.

Observación de la distribución de las necesidades de agua por persona:

- La localización de la demanda de agua de acuerdo a los puntos de descarga dentro de la estructura, permite priorizar la destinación del agua de lluvia para mayor ahorro y evitar el desperdicio del agua recolectada.

Estudio de las características de la estructura para la selección de materiales y diseño:

Estudiar los materiales y distribución del sistema evita futuros percances funcionales y facilita la optimización del ahorro de recursos, para lo cual se observa lo siguiente:

- Selección de materiales para un sistema Eco-sanitario.
- Cálculo de recolección del agua en la estructura.
- Definición de la ubicación del tanque en una superficie elevada, a base a la resistencia del peso de la superficie.
- Selección del tamaño del tanque en base a la información previa.

Propuestas de diseño de recolección de agua de lluvias en base a la información obtenida:

- La realización de diferentes diseños, permite realizar una comparación entre las posibilidades de implementación que provee la estructura, y así

seleccionar la más conveniente al estudiar las ventajas y desventajas de cada uno.

### 3.1 Determinación de los usos del agua recolectada

#### 3.1.1 Potencial Hidrógeno (pH) como factor determinante para el destino del agua recolectada

Se ha mencionado que para el criterio #1 de consumo humano y uso doméstico, que incluye actividades como, bebida y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, y fabricación o procesamiento de alimentos en general, se ha planteado el límite permisible de:

Tabla 12. Límite máximo permisible de pH para agua de consumo humano y uso doméstico.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Potencial Hidrogeno	pH	-	6-9

Adaptado de TULAS, 2012.

Para el criterio #4, para aguas destinadas a usos agrícolas y riego:

Tabla 13. Límite máximo permisible de pH para agua de uso agrícola y riego

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Potencial Hidrogeno	pH	-	6-9

Adaptado de TULAS, 2012.



Ante la presencia los datos de pH obtenido del año 2000 al 2012, se ha obtenido un promedio general de un Potencial Hidrógeno de 6,45 lo cual está dentro de los parámetros permisibles de los criterios de calidad para las aguas destinadas a uso agrícola y de los criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización, es decir, la mínima acidez encontrada en las muestras de la lluvia de Quito, no representan una amenaza para el hombre ni para cumplir con la función de riego y limpieza.

Sin embargo cabe recalcar que en el año 2000 se encontró un promedio anual de 5,87 lo cual está fuera de los límites máximos permisibles, con una acidez muy elevada. En la imagen a continuación se presenta una comparación de los resultados de pH con el límite mínimo permisible de pH.

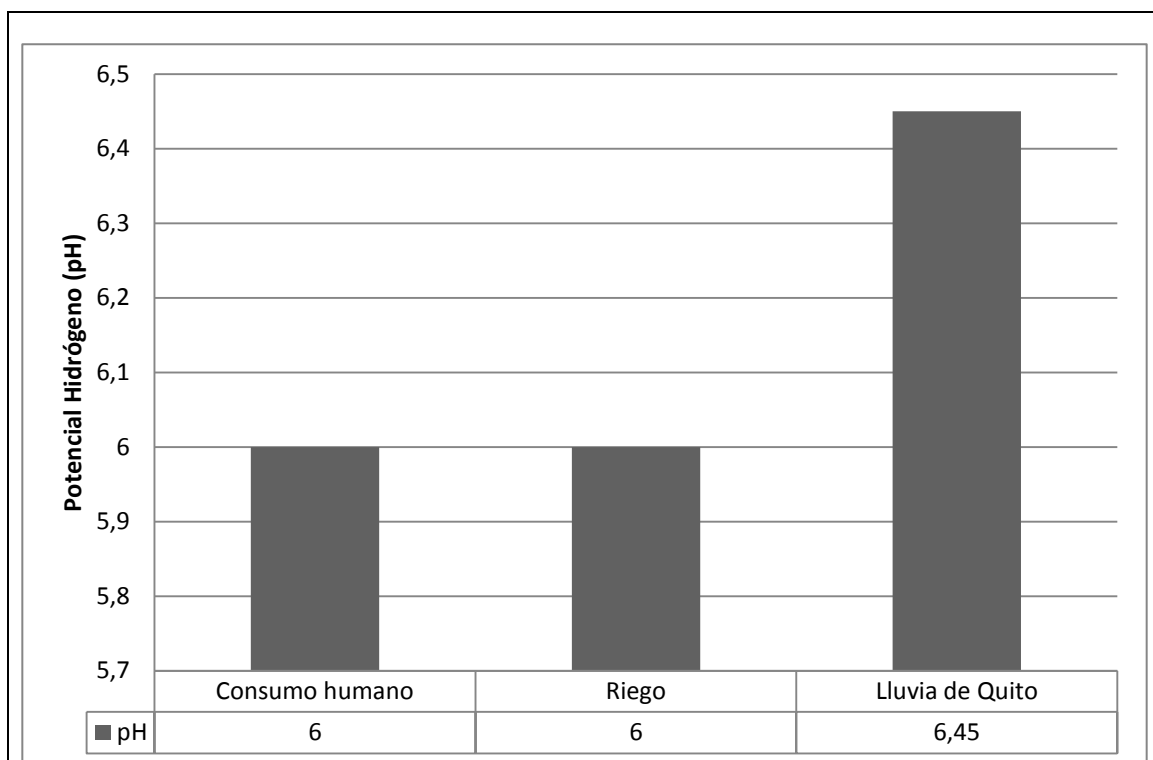


Figura 24. Límite mínimo de pH del agua en comparación al pH del agua de Quito.

### 3.1.2 Conductividad como factor determinante para el destino del agua recolectada

En cuanto al parámetro de conductividad, solo se contempla para el criterio #4 que incluye agua para uso agrícola y riego, estando incluido en el TULAS, el siguiente criterio de límite máximo permisible:

Tabla 14. Límite máximo permisible de conductividad para agua de uso agrícola y riego.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
<b>Conductividad eléctrica del agua</b>	CE	Milimhos/cm	1

Adaptado de TULAS, 2012.

De acuerdo a los límites permisibles para agua de riego, se permite 1 Milimhos/cm de conductividad, lo cual equivale a 1000000 microS/cm. En el promedio anual de conductividad se ha encontrado un valor de 20,31 microS/cm, por tanto se infiere que la conductividad está dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la norma. En la siguiente imagen se aprecia la comparación del límite máximo permisible, con el resultado de la conductividad del agua de lluvia de Quito.

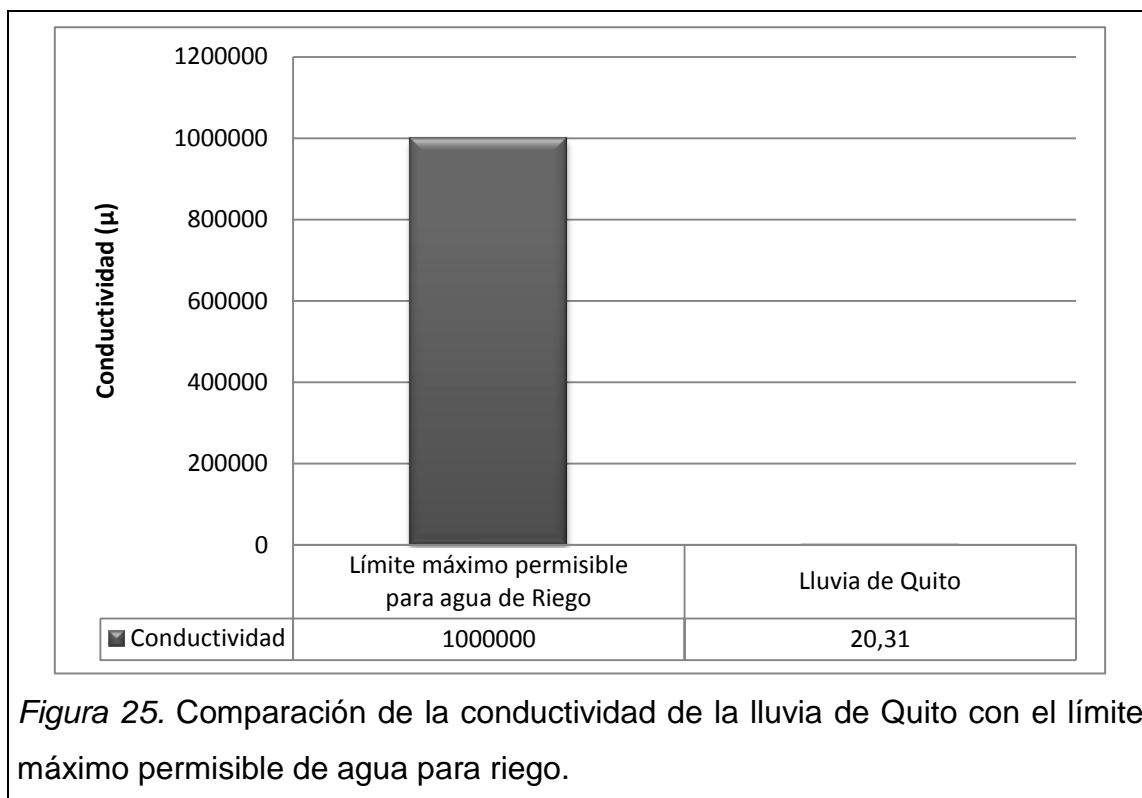


Figura 25. Comparación de la conductividad de la lluvia de Quito con el límite máximo permisible de agua para riego.

### 3.1.3 Sólidos totales disueltos (STD) como factor determinante para el destino del agua recolectada

Se ha mencionado que los límites máximos permisibles para sólidos totales disueltos (STD), para estar dentro de los límites máximos permisibles para uso de agua de consumo humano y uso doméstico son:

Tabla 15. Límite máximo permisible de STD para agua de consumo humano y uso doméstico.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Sólidos disueltos totales	STD	mg/l	500

Adaptado de TULAS, 2012.

Para el criterio #4, para aguas destinadas a usos agrícolas y riego:

Tabla 16. Límite máximo permisible de pH para agua de uso agrícola y riego

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permisible
<b>Sólidos disueltos totales</b>	STD	mg/l	3 000

Adaptado de TULAS, 2012.

Dentro de los límites máximos permisibles definidos por el TULAS para las aguas destinadas a uso agrícola y de los criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, los niveles de sólidos totales disueltos están dentro de los límites admisibles siendo 9,72 mg/l el promedio de STD encontrados en el agua de lluvia, es por esto que se concluye que el contenido no representa una amenaza ambiental. En la figura # se presenta la comparación de los límites máximos permisibles con los resultados del análisis del agua de Quito.

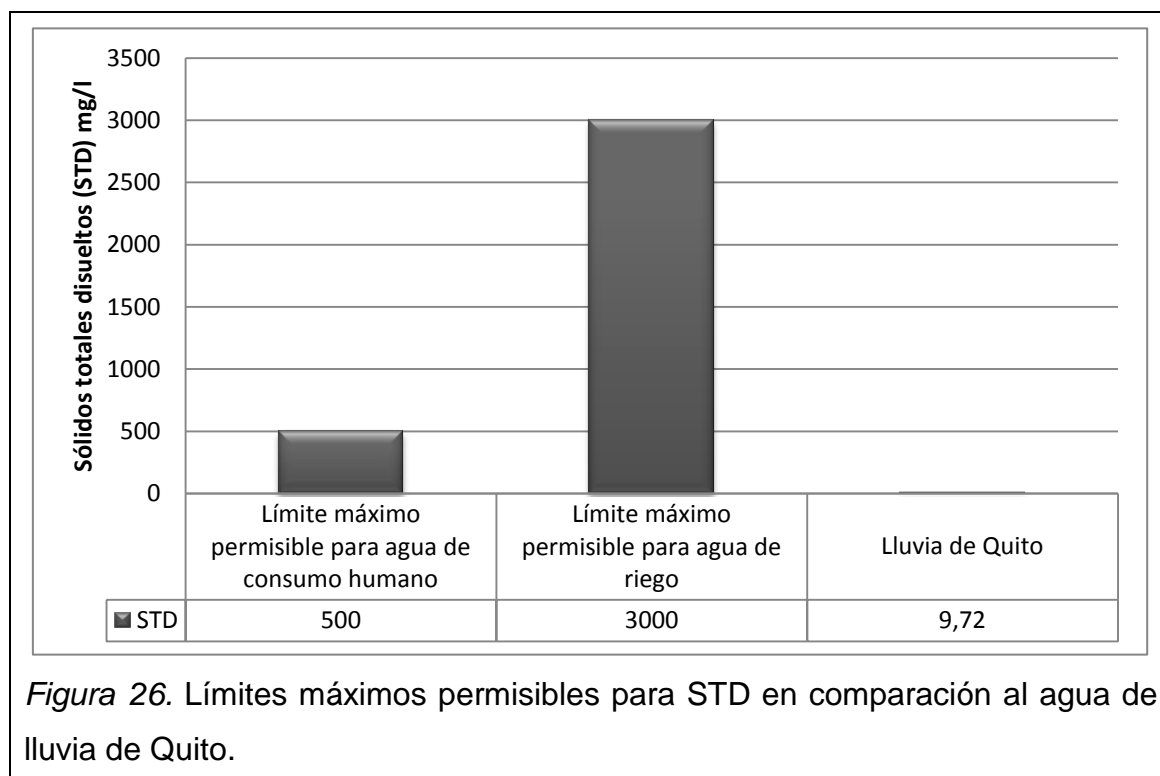


Figura 26. Límites máximos permisibles para STD en comparación al agua de lluvia de Quito.

Como resultado del estudio de estos análisis se puede reconocer que el agua de lluvia cumple con los límites máximos permisibles en ambos casos (Consumo humano y agua para riego), de los 3 parámetros escogidos. Sin embargo, se ha descartado completamente el utilización de agua de lluvia para el consumo humano, ya que en la definición de los límites se especifica que estos han sido generalizado para agua que solo necesita “tratamiento convencional” además de que hay muchos otros parámetros no estudiados, que podrían representar una amenaza para el consumo humano.

Un factor determinante de la alteración de los datos, es la forma de recolección de la misma. De acuerdo a la información obtenida tanto en el INHAMI y en el CICAM, las muestras de lluvia se toman en un instrumento limpio, sin llegar a tener contacto con ninguna otra superficie. Por otro lado la recolección del agua de lluvia para uso doméstico, se ayuda del área de recolección del techo o superficies altas para recolectar la mayor cantidad de agua posible. Por lo cual, el agua recogida se verá afectada por todo aquel factor que se halle en el techo y canaletas.

Estos factores podrían ser el asentamiento de polvo, eses de aves (en Quito principalmente las palomas), flores o hojas de árboles cercanos y moho. Por ello, los demás análisis de importancia, se recolectan del tanque de recolección de agua de lluvia implementado, contemplando así todos los factores antes mencionados.

### **3.2 Distribución del uso de agua por persona**

Una vez comprendidos los usos que se puede dar al agua de lluvia, se realiza una identificación de las necesidades que la lluvia puede suplir en base, también, a las exigencias de los hábitos de los usuarios. En cuanto a la distribución de las personas, es favorable para el sistema que tan solo 1 persona utiliza el segundo piso de la casa, el cual utiliza un baño. En la primera planta (dos baños), se establecen las demás 8 personas, de las cuales 2 son mujeres y 6 son hombres. El cuarto sanitario se encuentra en la sección de

bodegas del segundo piso (prácticamente inutilizado) y el último se encuentra en una bodega externa, pero actualmente se encuentra fuera de servicio. Se recalca esto ya que un baño está destinado al uso exclusivo de las mujeres y el otro solo para hombres.

Según lo observado, el sanitario más utilizado es el de hombres, por lo que se da prioridad a este, para la elaboración del diseño. El inodoro tiene una capacidad de 9 litros por descarga, y se ha considerado un promedio de uso del inodoro diario por hombre de 2 veces al día. En total, se obtiene un consumo de agua diario del inodoro para hombres de 108 litros equivalente a  $0.108 \text{ m}^3$ , transformándose en  $2,16 \text{ m}^3$  al mes (20 días laborables).

### **3.3 Detalle de la selección de materiales y diseño para el sistema RALL-ECO**

#### **3.3.1 Selección de los materiales del sistema eco- sanitario**

Dentro de este estudio, la selección de materiales que se usan y los que no, tiene una enorme importancia en cuanto a la connotación Eco – Sanitaria del sistema. Por lo que la gran variedad de opciones para elaborar la implementación se ve reducida a la selección de los materiales de construcción y mantenimiento más amigables con el ambiente del mercado.

Lo más sencillo para reducir la huella ecológica de esta implementación es minimizar la adquisición y uso de materiales, sustancias tóxicas y energía.

##### **3.3.1.1 Ahorro de consumo de energía**

Cuando se habla de la implementación de un sistema de recolección de agua de lluvias, es conocido que para la correcta distribución del agua se realiza un diseño de reserva de la misma con un tanque subterráneo. Esto hace que la utilización de una bomba de agua sea indispensable. Dada esta premisa, se plantean alternativas para evitar el uso de energía de acuerdo a las

características y necesidades donde el sistema se implementa, dando como resultado el aprovechamiento de la fuerza de gravedad para la distribución de agua.

Aprovechando el área que se utiliza tanto como balcón y techo para los automóviles, se logra encontrar un lugar elevado para localizar el tanque, lo que también logra ser un punto central entre las canaletas de recolección y las salidas de agua más importantes de la casa. En la siguiente imagen se muestra el área que será aprovechada.



*Figura 27.* Ubicación del tanque de reserva para aprovechamiento de gravedad.

### **3.3.1.2 Reducción de uso de materiales**

Otra gran ventaja de evitar la generación de una reserva subterránea y uso de bombas, es la reducción de adquisición de materiales. La ubicación central para enterrar el tanque se encontraría en los jardines, lo cual se encuentra a más de 15 metros de largo y 2 metros de alto de los baños de principal uso de la casa. Al usar la gravedad como distribuidor del agua, se reduce a tan solo una distancia de 2 metros de largo y de alto.

Con esto se reduce la compra de tubería, codos, bomba, extensión de canaletas y destrucción del jardín para realizar la reserva subterránea.

#### **3.3.1.2.1 Reutilización de materiales**

Otro punto a tomar en cuenta es la reutilización de materiales. Aunque la mayoría de los materiales de la implementación han sido nuevos, se consideró la importancia de buscar alternativas para reutilizar elementos así evitando el desecho de materiales y reduciendo los costos. Para esto, se consiguió un tanque de reserva utilizado previamente en una construcción para abastecer de agua de limpieza a los trabajadores.

Entre otras cosas reutilizadas, se encuentran las abrazaderas, parte de la tubería de ½ " sobrante de la construcción de un baño extra en la misma casa meses atrás.

#### **3.3.1.3 Reducción de consumo de agua**

Aparte de la implementación del Sistema de Recolección de agua de lluvia, para reducir el consumo de agua de la residencia y aumentar la efectividad del sistema se ha implementado dentro de los tanques de los inodoros de la casa, botellas de plástico grueso llenas con retazos de azulejos sobrantes, reduciendo la descarga de 9 litros a una descarga de 7 litros.





*Figura 28.* Introducción de botellas para reducción de consumo de agua en cada descarga.

A partir de la modificación del sistema estándar de recolección de agua de lluvia para una implementación y mantenimiento eco – sanitario, se han obtenido los siguientes cambios:

Tabla 17. Resultados de la implementación Eco – sanitaria.

Recurso	Método de reducción
<b>Energía</b>	Reducción de uso de bomba aprovechando gravedad.
<b>Materiales</b>	Reducción de longitud de tubería optimizando ubicación.  Reutilización de materiales.
<b>Agua</b>	Aparte de la recolección de agua de lluvia, se reduce el volumen de descarga de los sanitarios de 9 litros a 7 litros.

### 3.3.2 Modelo matemático de recolección de agua para el RALL- ECO en la estructura

Para realizar un estimado del agua que se espera recolectar, se toma los análisis de los datos de la precipitación de Quito, estación Iñaquito del periodo de 30 años para obtener un promedio anual de precipitación. Para un cálculo específico y preciso se ha generado en modelo matemático equivalente a la recolección de agua de acuerdo a los factores influyentes.

El estudio realizado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI) categoriza a la parte norte de la ciudad en un rango de 750 – 1 000 (mm), pero de acuerdo a los promedios mensuales que se han analizado de 30 años se obtiene el promedio de precipitación anual de 1 145,76 mm.

De acuerdo a los datos de precipitación, se observa que la precipitación en Quito varía enormemente de acuerdo al mes, incluso teniendo meses que presentan ausencia total del lluvia. En la siguiente imagen se presenta un promedio de la recolección por mes del sistema RALL-ECO.

Bajo el siguiente modelo matemático se obtiene los datos para generar el gráfico que se observa en la figura 29.

$$Q_2 = A_T \frac{\Delta P(m)}{\Delta t} - \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

(Ec 1.) Volumen de entrada del tanque.

$Q_2$  = Caudal de entrada al tanque

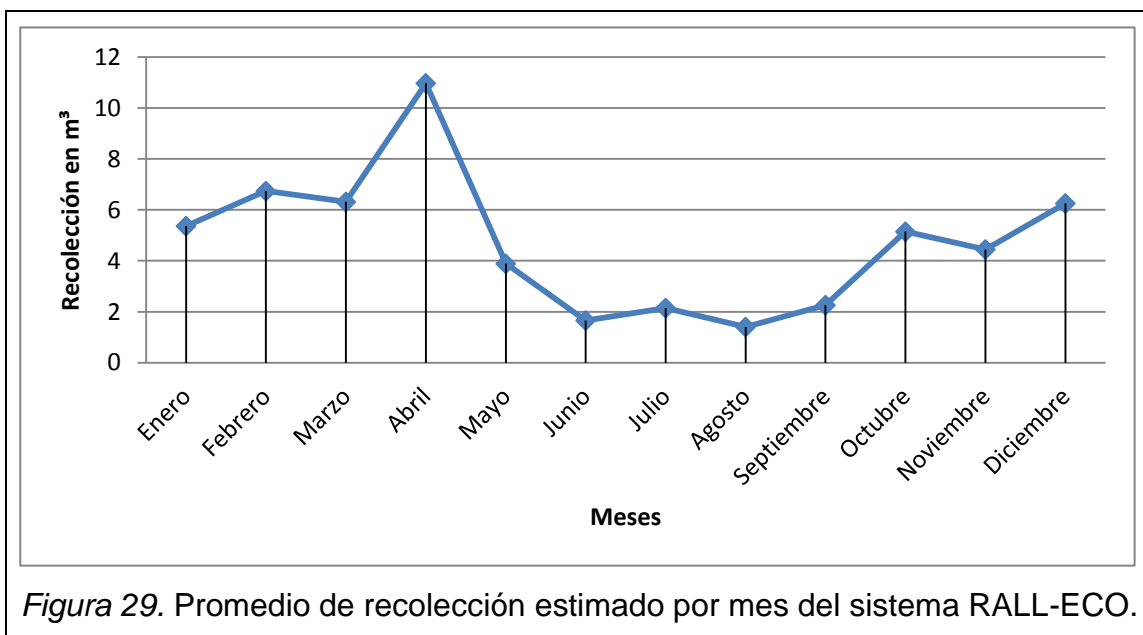
$A_T$  = Área del techo

$P$  = Precipitación

$t$  = Tiempo

$v$  = Volumen del tanque

Con a la ecuación se obtiene un promedio de ingreso de agua de lluvia por mes al tanque de recolección de acuerdo a la precipitación estacional de Quito, obteniendo el siguiente gráfico.



Sin embargo para el estudio se analiza el mes que presenta mayor precipitación cada año para la selección de la capacidad del tanque de reserva. Abril es el mes con mayor precipitación de acuerdo a los datos obtenidos, siendo 177, 56 mm el promedio de cada abril por 30 años. Con una precipitación máxima de 372,9 mm en abril del 2 011 y la mínima de 63,1 mm en el 2001.

Al realizar un estimado diario, se obtiene una precipitación diaria de 5,92 mm de la precipitación promedio y una máxima de 12,43 mm al día.

El área del techo que recolectará el agua del tanque, comprende unas medidas de 4 x 11,80 metros, lo cual genera 47,2 m<sup>2</sup> de área de recolección de agua para el tanque.

Dados estos datos podemos obtener una recolección diaria promedio estimada de:

$$4m * 11,80m * 0,00592m = 0,28 m^3$$

En el caso de una precipitación máxima como en el caso de abril del 2001 se obtiene una recolección diaria de:

$$4m * 11,80m * 0,01243m = 0,59 m^3$$

### **3.3.3 Resistencia de la superficie portadora del tanque de recolección**

Otro factor que se ha considerado relevante para la selección del tamaño y localización del tanque de reserva de agua es la resistencia por m<sup>2</sup> del material sobre el cual se planea poner tal peso.

De acuerdo a la información obtenida de los planos de la residencia, se observó que la resistencia del balcón al ser de losa plana y rodeado de 2 vigas es de 1400 kg/m<sup>2</sup>, por consiguiente es viable la obtención de un tanque de reserva con un volumen de 1000 cm<sup>3</sup>, que equipara 1 m<sup>3</sup>. Por lo que el tanque equipara 1000 kg de los 1400 disponibles.

### **3.3.4 Selección del tamaño del tanque**

Para la selección del tamaño adecuado del tanque, se debe tomar en cuenta dos factores importantes, la precipitación promedio esperada y el tiempo de almacenamiento basándose en los usos de la casa. De acuerdo a los datos de precipitación promedio, se calcula que en un día del mes de mayor precipitación se obtendrían 0,28 m<sup>3</sup> de agua para 47,2 m<sup>2</sup> de área de recolección.

En base a las características del uso de los baños de la casa, se conoce que tan solo se utilizan los baños de lunes a viernes, por lo que se deberá tomar en cuenta la recolección acumulada de sábado y domingo en caso de que llueva cada día.

Dicho esto, obtenemos una capacidad de  $0,84 \text{ m}^3$  al contemplar una recolección acumulada de precipitación de 3 días promedio. Al analizar la resistencia del área se ha encontrado posible la implementación de un tanque de  $1 \text{ m}^3$ .



*Figura 30.* Tanque reutilizado

A partir de la consideración de todos los factores mencionados resultantes del estudio de las características y necesidades de la estructura, se resumen los siguientes resultados para la implementación del RALL- ECO en la tabla #18 a continuación.

Tabla 18. Resultados para la implementación del RALL-ECO

Medición	Resultado
<b>Área superficial de recolección</b>	47,2 m <sup>2</sup>
<b>Recolección diaria</b>	0,28 m <sup>3</sup>
<b>Resistencia al peso del área de localización del tanque</b>	1400 kg/m <sup>2</sup>
<b>Tamaño del tanque</b>	1 m <sup>3</sup>

### 3.4 Propuestas de diseño del sistema RALL-ECO

Para realizar las propuestas del sistema, escoger el diseño y ejecutar la implementación, se tuvo que contemplar varias opciones de acuerdo a su facilidad y economía. Con la consulta a 3 profesionales en el aporte civil del sistema, se realizaron 3 propuestas diferentes.

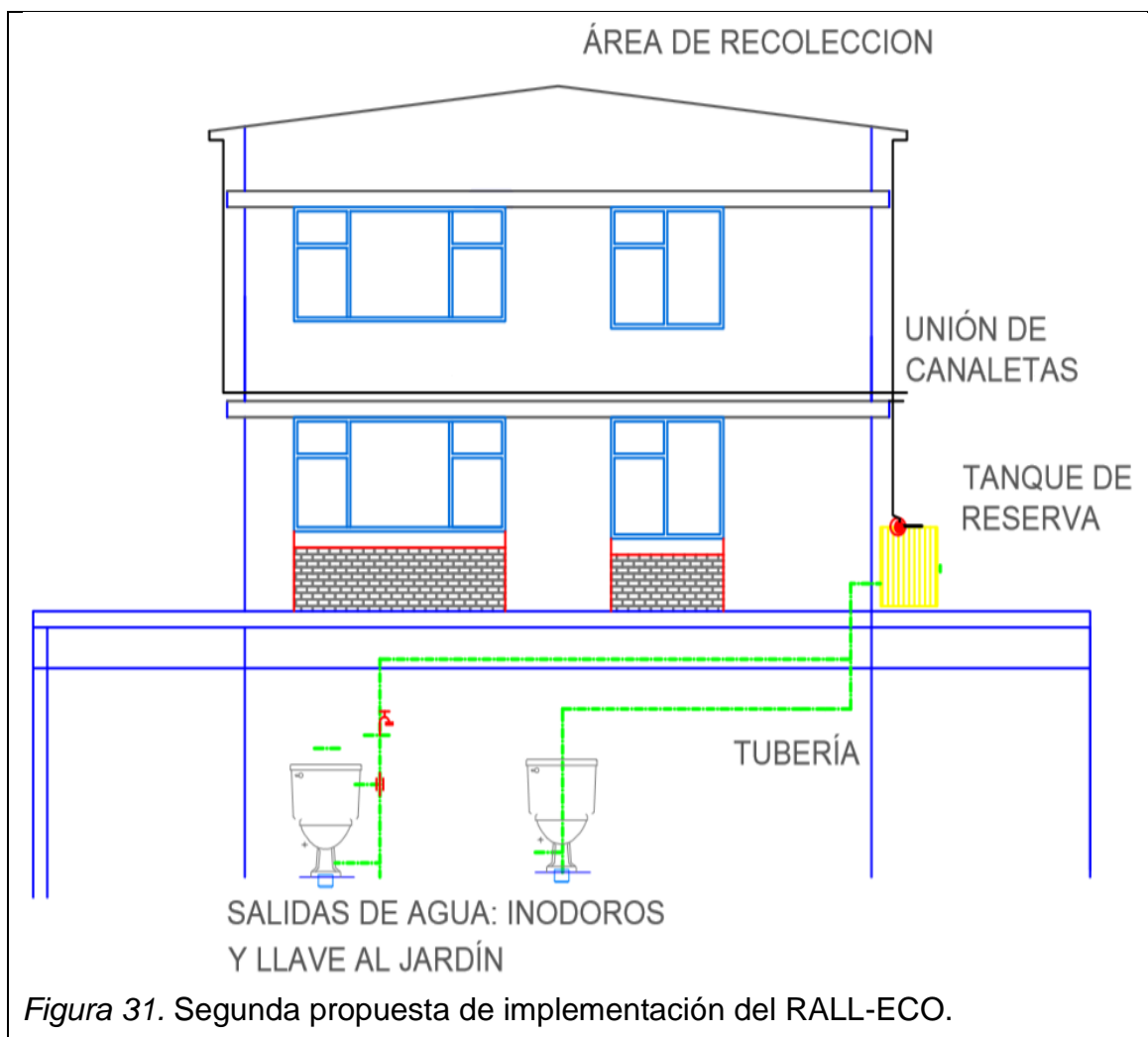
La primera propuesta es la única que comprende la recolección de agua de todos los techos de la casa, para ello, consta de un tanque de recolección subterráneo y un sedimentador. Con la ayuda de una bomba distribuiría el agua a todos los inodoros de la casa los cuales son 5 y se conectaría a dos llaves de agua que están destinadas a la limpieza de carros y patios.

Sin embargo, se descartó la implementación de sistema por las siguientes razones:

- El elevado costo, presupuestado entre 3000 a 4000 USD.
- De acuerdo a los datos analizados de la precipitación de la zona, la precipitación de Quito no es suficiente para suplir a todas estas fuentes.
- Las necesidades de uso de la casa solo se enfocan en dos baños, por lo que esta implementación no hubiera sido eficiente.
- El uso de una bomba no cumple con el objetivo del sistema al realizarlo lo más amigable con el ambiente posible.

Dicho esto, en las siguientes propuestas se buscó las opciones para que el sistema solo funcione con la fuerza de gravedad. Con la gran ventaja de que aunque hay 5 baños, tan solo 2 equiparan el 85% de su uso y estos se encuentran en la planta baja.

La segunda propuesta se simplifica significativamente al tan solo recoger el agua del techo del área del tercer piso. Este diseño requiere el cambio de dirección de la caída de las canaletas, unir su bajada a un solo tanque ubicado entre los dos baños más usados, y hacer las conexiones con las llaves a los jardines y baños. Este fue presupuestado en aproximadamente 850 dólares. En la siguiente imagen se observa el diseño de la segunda propuesta.



La tercera opción se simplifica aún más. Se planteó evitar mover las canaletas, se decidió colocar un tanque de reserva del agua de lluvia que recibe agua tan solo de una canaleta que equipara un área de 11,80 x 4 metros y dirigir el agua de la otra canaleta al riego de los jardines delanteros. Esta implementación fue presupuestada en aproximadamente 500 dólares.

A continuación se presenta una tabla comparativa de las 3 propuestas de implementación:

Tabla 19. Comparación de los diseños del RALL- ECO

<b>Factores a considerar</b>	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
<b>Precio de implementación</b>	3000 – 4000 USD	850 USD	500USD
<b>Área de recolección</b>	94,4 m <sup>2</sup>	47,2 m <sup>2</sup>	47,2 m <sup>2</sup>
<b>Bomba</b>	SI	NO	NO
<b>Porcentaje de ahorro de agua del total de consumo</b>	50%	25%	25%

Entre estas dos opciones, se consideró más viable la tercera opción por las siguientes razones:

- Al evitar el cambio de canaletas se reduce el trabajo en altura el cual puede ser riesgoso.
- Se evita la implementación de una base para el tanque, con un metro de altura para mejorar la distribución por fuerza de gravedad.
- Se dirige la mitad del área de recolección al riego automático del jardín frontal.



- Los costos se reducen el 41,2% en base a la segunda opción y el 87,5% en base al presupuesto de la primera implementación.

En la figura 32 se presenta el diseño a implementar, siendo la tercera opción la más viable.



Figura 32. Diseño de la tercera opción de implementación.

#### **4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ECO- SANITARIO DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA (RALL-ECO)**

Una vez seleccionada la tercera propuesta para el diseño, se determinan los elementos necesarios para la implementación.

##### **4.1 Materiales necesarios**

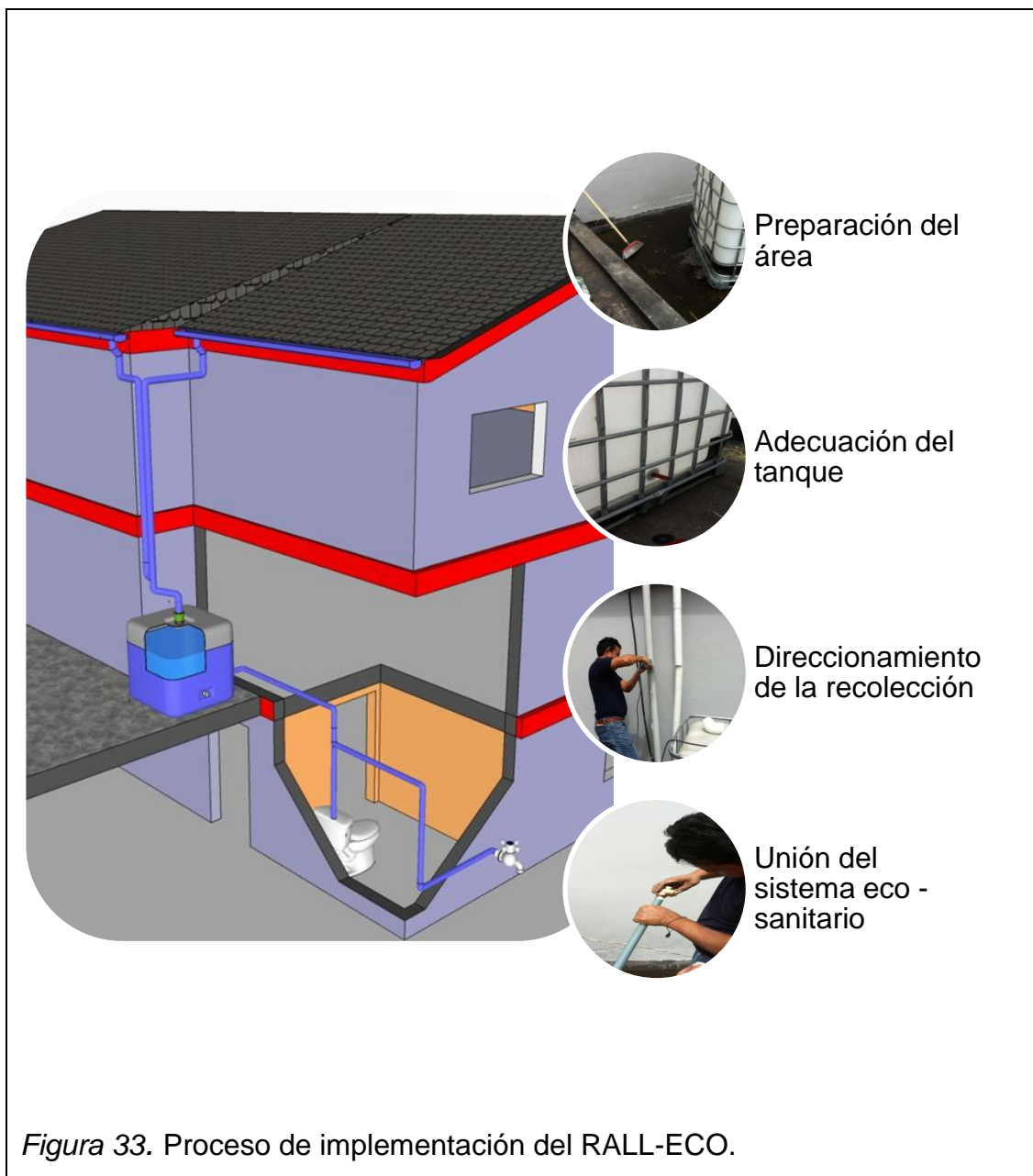
Aparte de los materiales previamente estudiados, se mencionan los demás insumos esenciales para la modificación del sistema sanitario inicial, a continuación todos los materiales contemplados:

- 1 litro de Muriatol (limpiador ácido)
- Kalipega 125 cc
- 4 codos 75 mm x 90°
- Polilimpia 125 mm
- 2 Tubos ½ “ x 6 m
- 12 codos de ½ “ x 90°
- 4 Neplos de ½ “
- 2 Neplos de ½ “ x 6 cm
- Nudo ½ pulgada
- 10 teflones de 12 mm x 10 yd
- 2 Tee de ½ “
- Reductor de 2 “ a ½ pulgada
- Llave de manguera de ½ “
- Permatex de 11 onzas
- 3 valvulas check de ½ “
- Broca de ½ “
- Tanque de reserva de agua con base
- Te de 3”
- Tarraja
- Llave de tubo

- 5 abrazaderas de ½"
- Llave universal
- Llave de paso de ½"

#### 4.2 Metodología de la implementación del sistema

En el proceso de la implementación del RALL-ECO se determinan los siguientes pasos:



#### **4.2.1 Preparación del área de implementación**

Para empezar se realiza la limpieza de las rejillas y área de desagües para evitar taponamientos y sólidos suspendidos en el sistema. Se realiza la mezcla de 1/3 ácido con 2/3 de agua, y se expande sobre las rejillas, tuberías bajantes y canaletas. Posteriormente se rocía una pequeña cantidad de agua y se refriega con la ayuda de una escoba.

#### **4.2.2 Adecuación del tanque**

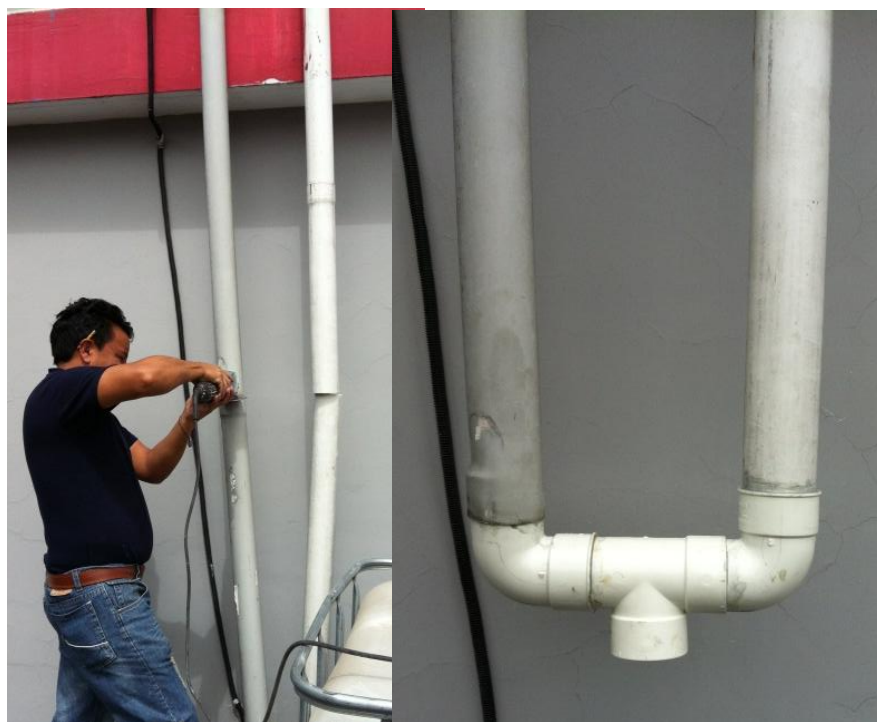
Se realiza una perforación en el tanque de reserva de agua, llamado reducción de ½ pulgada, para conectar a la tubería del sistema RALL-ECO. Para ello se utiliza una broca de ½", una vez realizada la perforación se inserta el neplo de la misma medida, el cual se une a un codo de 90°.

Para impermeabilizar y sellar la unión se coloca 3 capas de teflón y una de pegante.

#### **4.2.3 Direccionamiento de la recolección de agua**

Se modifica la bajada de las canaletas, en este caso, se tiene dos tuberías de 3" de ancho bajantes de dos canaletas. Para esto se pegan los dos codos de 3 pulgadas a la "Te" de la misma medida una vez puesta la kalipega.

Se procede a cortar las bajantes a la altura del tanque y se inserta y pega la Te. Para ello se coloca kalipega y se calientan las entradas de la tubería para facilitar el encaje de la "te".



*Figura 34.* Modificación de las canaletas con la inserción de la te.

#### **4.2.4 Unión del sistema de lluvias al sistema sanitario**

Una vez medida el área, se corta la tubería de  $\frac{1}{2}$ " de acuerdo a las necesidades de la casa. Usando la tarraja, se crean roscas en los extremos de los tubos para facilitar y asegurar la inserción de los codos.

Para sellar completamente la unión se coloca en la rosca de 3 a 5 capas de teflón, seguidas de pega sellante. Se enrosca la unión de la tubería a los codos, neplós o válvula check, de acuerdo a las necesidades de la extensión. Se utiliza la llave de tubo para ajustar la unión al máximo.

Se prosigue a unir los cortes de tubería desde la ubicación del tanque de reserva de agua de lluvia hasta el inodoro y la llave para lavado de autos y limpieza. Para evitar el retroceso del agua, se colocan tres válvulas check; una a la salida del tanque de reserva de agua de lluvia, otra en la entrada al tanque del inodoro y la última en salida de la llave de manguera. En la siguiente

imagen se presentan la unión de la tubería, y el posicionamiento de las valvulas check.



*Figura 35.* Unión de la tubería hacia las salientes de agua.

Para conectar el tanque de reserva al baño, se requirió la perforación de la pared con una broca de 1/2" para insertar la tubería. Una vez realizada la perforación se inserta el tubo de 1/2" y se realiza el corte y unión al actual sistema de distribución de agua sanitaria. La imagen siguiente muestra el proceso de taladrado e inserción de la tubería.



*Figura 36.* Perforación de la pared.

Por último, se realiza la conexión entre la tubería y el baño. Para ello se coloca una válvula check en la entrada de agua del tanque del inodoro. Una vez unido se coloca la llave universal y la llave de paso de ½" en la entrada de agua potable, para poder dar preferencia a la entrada de agua de lluvia.

A continuación se presenta el resultado de la implementación del sistema RALL-ECO en la figura 37.

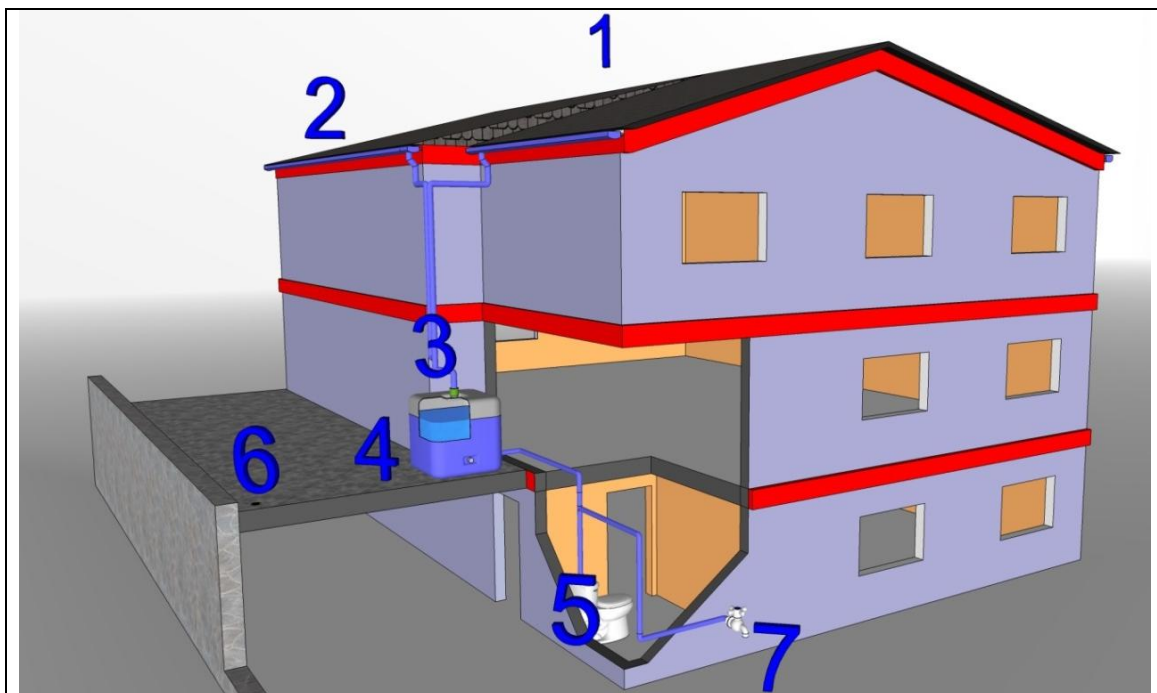


Figura 37. Sistema RALL-ECO.

- 1) Área de recolección - Techo
- 2) Canaletas
- 3) Filtro
- 4) Tanque de almacenamiento (Almacenaje del agua filtrada)
- 5) Salida al inodoro
- 6) Sistema de drenaje
- 7) Salida de agua al jardín

## **5. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA RECOLECTADA**

En el presente capítulo se detallan los análisis realizados en la recolección del RALL- ECO, y la adaptación del filtro a base de la información obtenida.

### **5.1 Metodología de los análisis de los parámetros en el agua recolectada**

Al realizar el análisis del agua recolectada por el RALL-ECO se entiende que se ven modificados a comparación de los estudios del INHAMI, debido a la contaminación presentada en el área de recolección, tubería, y almacenaje. Por lo cual se analizan los siguientes parámetros:

- Potencial hidrógeno (pH)
- Sólidos totales sedimentables
- Dureza
- Temperatura (C°)

#### **5.1.1 Medición del Potencial Hidrógeno (pH) en al agua recolectada por el RALL-ECO**

Para realizar la medición de potencial hidrógeno (pH) se dosifica en un vaso de precipitación una cantidad de agua pequeña, con la altura de 3 centímetros de acuerdo al vaso de precipitación. Después de prender el medidor de pH (insertar el modelo) se coloca por unos segundos el medidor introduciéndolo a 1,5 cms dentro del agua. Se aplasta el botón “hold” para poder tomar la medida del pH. En la imagen a continuación se presenta el medidor de pH en el momento de realizar la primera medición.





Figura 38. Medición del pH

### 5.1.2 Medición de sólidos totales sedimentables del agua recolectada por el RALL-ECO

Para realizar dicha medición se realiza un procedimiento sencillo. Se asegura el aro de soporte del cono imhoff a la base del mismo. Una vez lavado el cono se lo asegura y equilibra en el aro. Se agita el contenido de la muestra dentro

del envase para dispensar los sólidos suspendidos. Tomando la muestra de agua directamente del tanque de recolección del sistema RALL-ECO, se colocan 1000 ml de la misma y se deja reposar por una hora y se observa la altura de los sólidos en el cono.



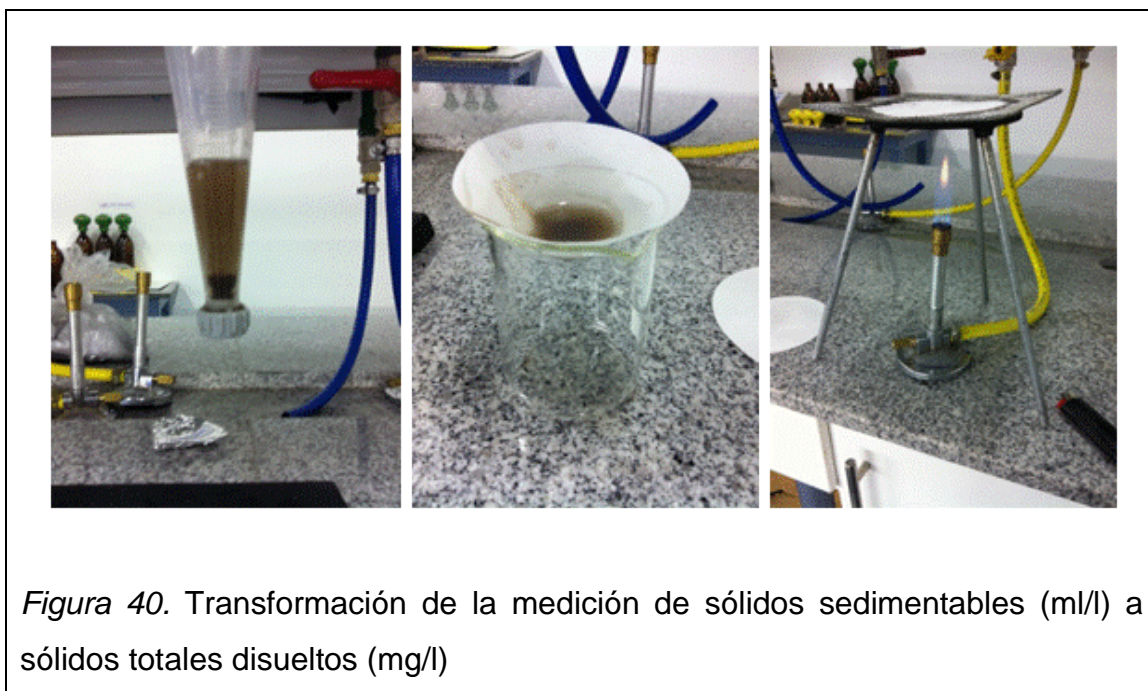
*Figura 39.* Cono imhoff. Medición de sólidos sedimentables.

Una vez tomada la medida de sólidos totales sedimentables de todas las muestras de lluvia del RALL-ECO, se realiza la transformación de sólidos

sedimentables (ml/l) a sólidos totales disueltos (mg/l), para lo cual se ejecuta el siguiente proceso.

Se realiza la medición exacta de 1ml de sólidos sedimentables en el cono de sedimentación, una vez completamente asentados se coloca la muestra obtenida en un filtro del papel sobre un vaso de precipitación. Se espera varios minutos hasta que la muestra esté compacta.

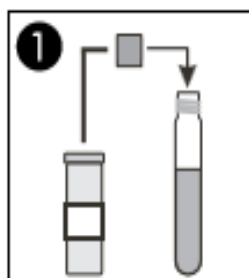
Una vez compacta la muestra, se coloca el filtro sobre una malla bestur y un trípode, sobre la llama baja de un mechero bunsen. Después de unos minutos se retira la muestra y se la pesa. Obteniendo así el peso en seco de un ml de sedimentos. Siendo de 1 mg por 1 ml de sedimentos.



### 5.1.3 Medición de la dureza en el agua recolectada por el RALL-ECO

Con la ayuda del test 0 – 43 de Mackerey-Nagel de medición de dureza, y la ayuda de espectrómetro de la misma marca, se realizan la mediciones de la dureza en el agua recolectada del RALL-ECO. Con tan solo 0.2 ml de muestra recolectada por una micro-pipeta, se realiza la mezcla con los reactivos del test, y se le deja la medición del tono al espectrómetro.

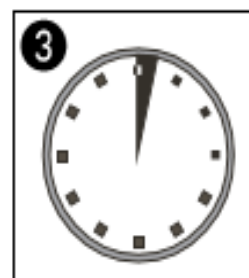
**Gesamthorte / Total hardness / Durettotal / Durezza total:**



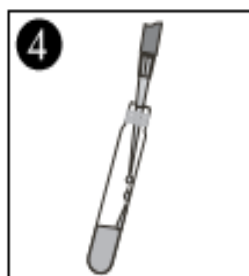
1 x **NANOFIX R2**



Krftig schtteln  
Shake well  
Bien agiter  
Agitar intensamente



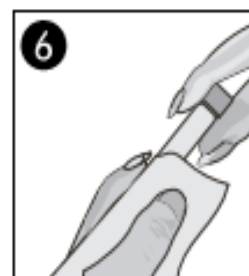
2 00 min



200  $\mu$ l Probe  
Sample  
Echantillon  
Muestra



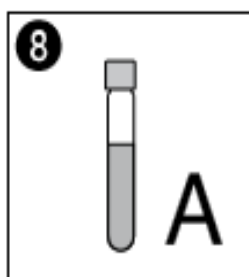
Schtteln  
Shake  
Agiter  
Agitar



Subern  
Clean  
Nettoyer  
Limpiar



1 00 min



Lsung A  
Solution A  
Solution A  
Solucin A



Messung  
Measurement  
Mesure  
Medicin

*Figura 41.* Pasos para la realizacin de la medicin de dureza en el agua recolectada.

Tomado de Manual Mackerey-Nagel, 2010.

#### **5.1.4 Temperatura del agua en el tanque de recolección**

La realización de la medida de la temperatura se realiza in situ, tan solo con la inserción del termómetro en el agua por alrededor de un minuto y observar la dilatación del mercurio.

Los resultados de estos se observan en el capítulo 6.

## 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se muestran los resultados experimentales obtenidos con el seguimiento del sistema y el análisis de los mismos.

### 6.1 Resultados experimentales

#### 6.1.1 Resultados de los análisis físico-químicos del agua recolectada del RALL- ECO

Se han dividido los análisis en 3 tipos de muestras recolectadas del tanque del RALL-ECO, basados en la optimización de la necesidad del filtro, para una mejor calidad de agua y durabilidad del sistema. Se han realizado los análisis bajo las siguientes condiciones del producto final:

- Recolección sin filtro
- Recolección con filtro de malla plástica y grava
- Recolección con malla plástica, grava de mármol y nylon

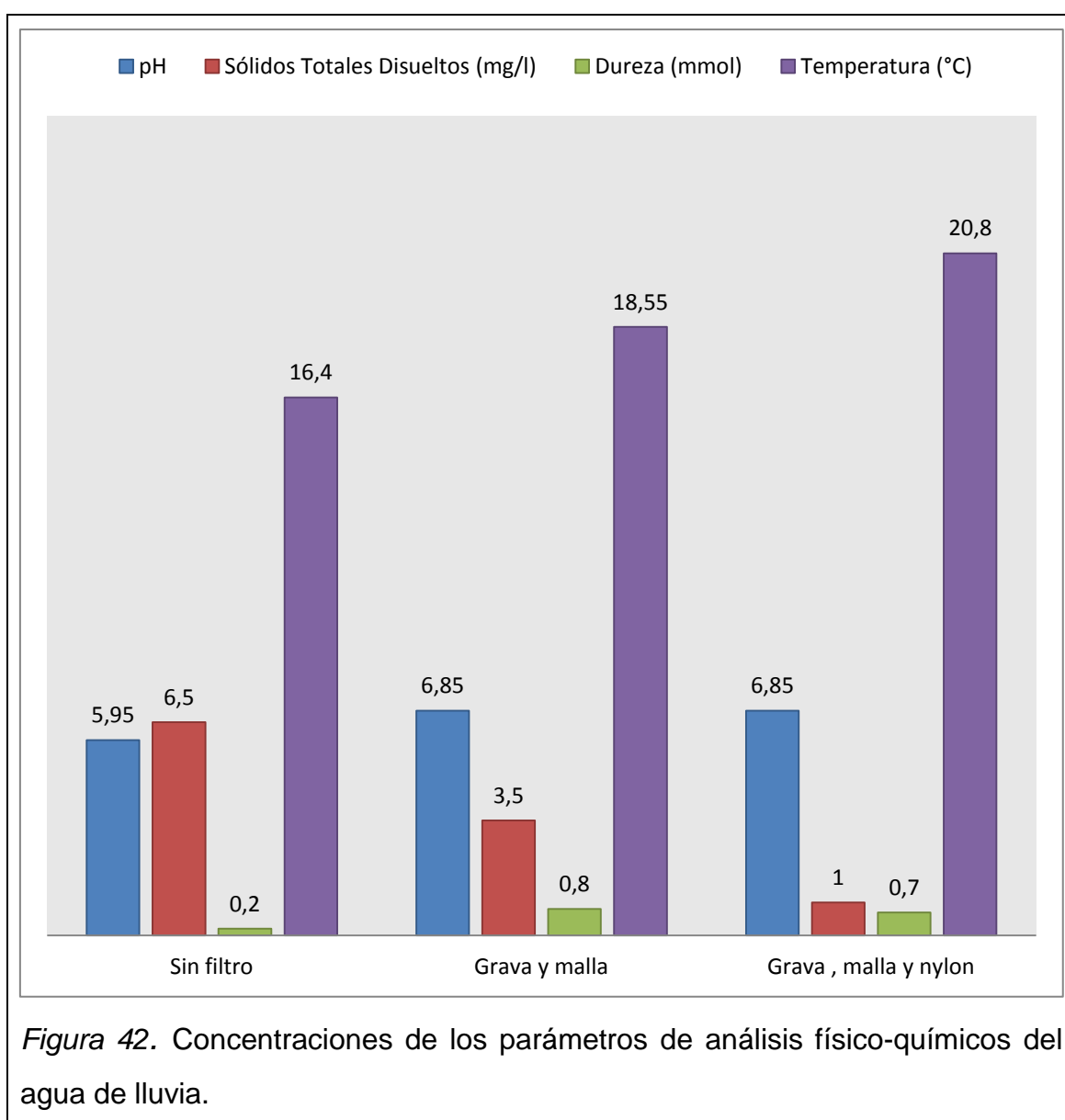
A continuación se presenta una tabla de los análisis físico-químicos realizados en el agua de lluvia obtenida.

Tabla 20. Análisis del agua recolectada en el RALL-ECO.

Filtro	Fecha de medición	pH	Sólidos totales disueltos	Dureza	Temperatura
<b>Sin filtro</b>	29/04	6,1	7 mg/1000	-	16 °C
	02/05	5,8	6 mg/1000	<0,2 mmol	16,8 °C
<b>Grava y malla</b>	06/05	6,9	3 mg/1000	0,7 mmol	17,8 °C
	09/05	6,8	4 mg/1000	0,9 mmol	19,3 °C
<b>Grava, malla y nylon.</b>	13/05	6,9	1 mg/1000	-	21,5 °C
	16/05	6,8	1 mg/1000	0,7 mmol	20,1 °C

Nota: De acuerdo a las transformaciones realizadas previamente se transforman las medidas de solidos sedimentables (ml/l) a sólidos totales disueltos (mg/l).

Para mejor visualización de los resultados se muestra en la figura 41 comparativa de los resultados físico- químicos de los análisis de agua realizados en las muestras tomadas del RALL-ECO en base al tipo de filtro que se usó.



De acuerdo a los resultados de los análisis físico-químicos del sistema también se realiza una certificación de cumplimiento con los límites máximos permisibles establecidos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), de acuerdo al filtro seleccionado (grava, malla y nylon) se obtiene la siguiente comparación de acuerdo al parámetro.

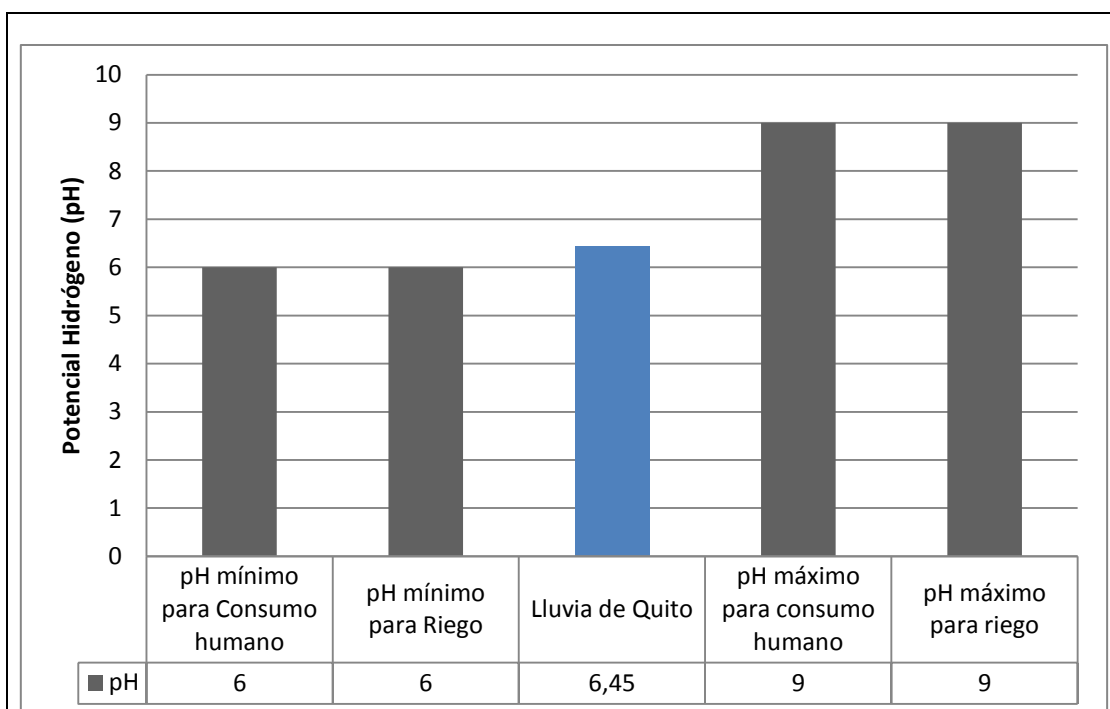
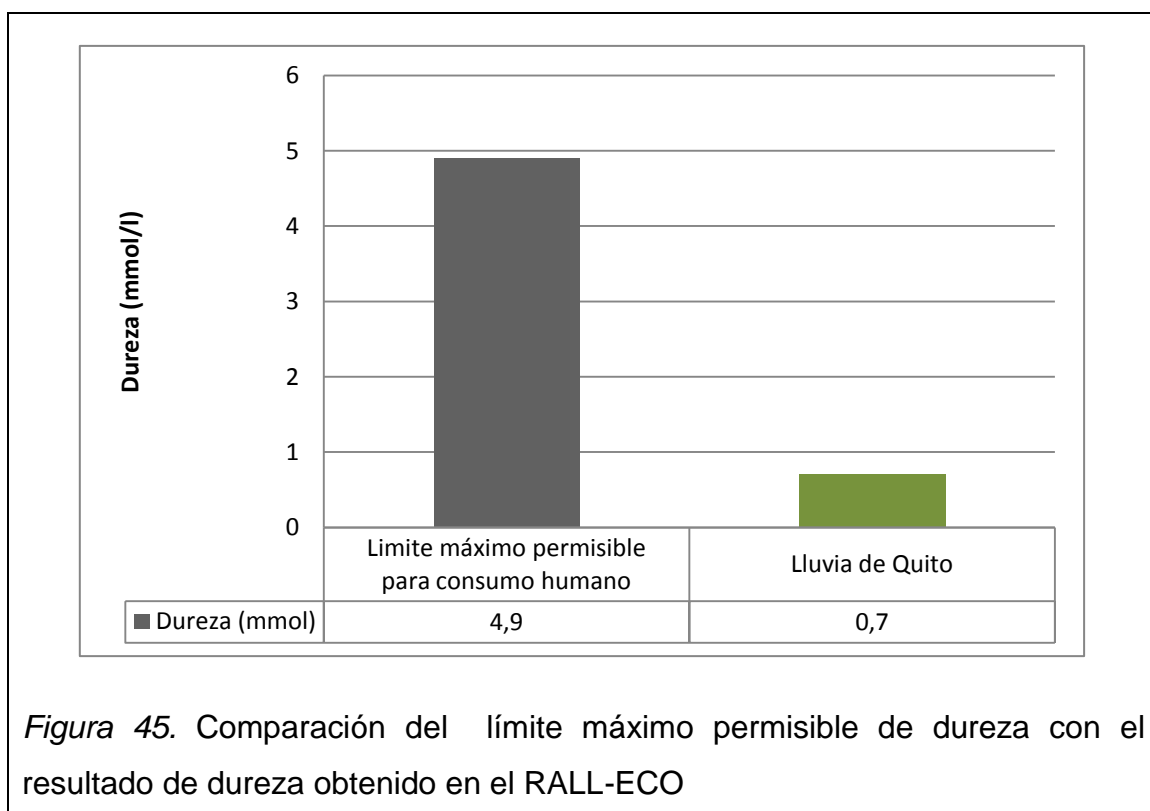
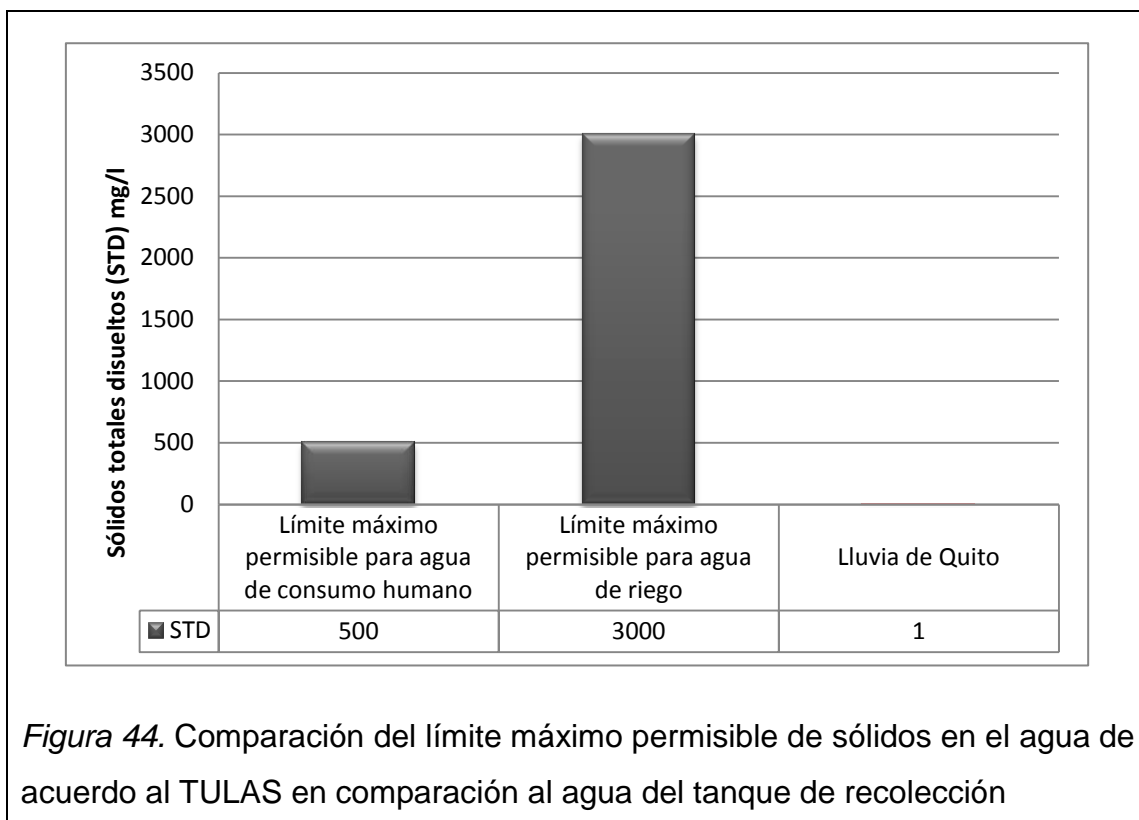


Figura 43. Comparación de los límites mínimos permisibles de pH en el agua de acuerdo al TULAS.





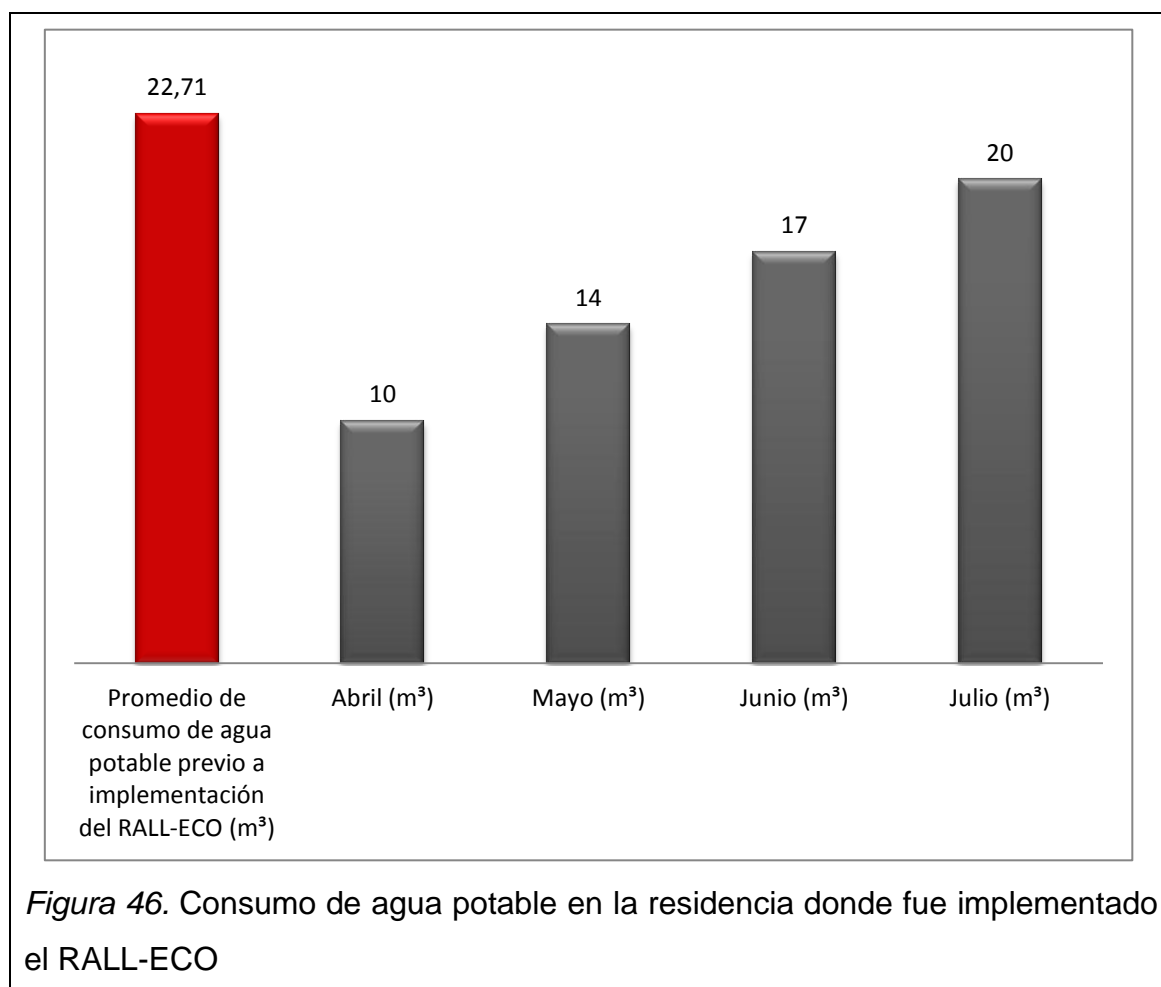
### 6.1.2 Resultados de ahorro de agua generado por el RALL-ECO

A continuación se presenta los resultados obtenidos en la planilla de agua una vez implementado el sistema de recolección de agua de lluvia.

Tabla 21. Resultados del consumo de agua con el sistema RALL-ECO

Mes	Consumo de agua (m <sup>3</sup> )
<b>Abril</b>	10
<b>Mayo</b>	14
<b>Junio</b>	17
<b>Julio</b>	20
<b>Promedio</b>	15,25

Nota. El promedio de consumo de la casa previo a la implementación es de 22,71 m<sup>3</sup>.



### 6.1.3 Resultados de ahorro de recursos en la implementación del RALL-ECO

Dado que la implementación tiene como objetivo un diseño amigable con el ambiente, se presentan los resultados del ahorro de material generado por el sistema RALL-ECO.

Tabla 22. Resultados del sistema eco – sanitario.

Material reutilizado /ahorrado	Aplicación	Ahorro
<b>Vidrio</b>	Botellas para reducción del consumo de agua del inodoro	40,5 kg
<b>Aluminio</b>	Base para el tanque de recolección	1,6 kg
<b>Acero</b>	Abrazaderas	0,2 kg
	Ahorro al evitar compra de bomba de agua (1 HP)	13,0 kg
	Base del tanque	6,8 kg
<b>Plástico</b>	Botellas para la reducción del consumo del inodoro (PET)	0,36 kg
	Ahorro de tubería ½" (PVC) /1,26 kg x 5m y codos	18,5 kg
	Material del tanque recolector (PET)	4,3 kg
<b>Energía</b>	Ahorro de uso de energía de la bomba de agua, eléctrica (120v/60 HZ) monofásica.	816 kilowatts /año
<b>Azulejos</b>	Peso para mantener sumergidas las botellas del inodoro	7,3 kg

## 6.2 Análisis de los resultados experimentales del sistema

### 6.2.1 Análisis físico-químicos del agua recolectada

De acuerdo a los datos obtenidos, se ha podido observar que las características del agua continúan dentro de los límites máximos permisibles del texto unificado de legislación ambiental secundaria (TULAS) y también que han demostrado mejoría en el desempeño del filtro, cumpliendo las siguientes metas:

- Reducción de los residuos sólidos sedimentables de 7 ml a 1 ml reduciéndose en el 85,71 % de su valor original. Este objetivo se ha completado de acuerdo a lo deseado al implementar en el filtro una primera capa de grava de mármol para retener los sólidos de mayor tamaño, y como segundo filtro la presencia del nylon para los sólidos de menor tamaño.
- La presencia alcalina de la grava elevó el pH reduciendo la acidez del agua al aumentar de 5,8 a 6,9. Esta reacción se genera al implementar como parte del filtro la grava conocida como grava de mármol, cuya composición química es rica en carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), se obtiene un representativo aumento de pH y dureza por la liberación del compuesto conocido como bicarbonato cálcico en el agua del tanque, intercambio que se puede explicar a través de la siguiente reacción química:



Como desventaja de la implementación de este tipo de filtro se observa que la dureza aumentó considerablemente al subir de <0,2 mmol a 0,9 mmol,

representando la posibilidad de presencia de calcificación en las paredes del sistema con una diferencia del 77,77 % de su dureza original.

### **6.2.2 Discusión de resultados experimentales del sistema**

De acuerdo a los datos obtenidos en el capítulo anterior, se espera una disminución de 5,46 m<sup>3</sup> (24,04% del consumo total) en el consumo mensual de la casa de un promedio de consumo mensual de 22,71 m<sup>3</sup>. A continuación se presenta los resultados obtenidos en los meses posteriores a la implementación.

De acuerdo a los resultados en la reducción del consumo de agua del sistema se pueden resaltar los siguientes puntos:

- La reducción de consumo de agua es proporcional a la presencia de lluvia, por lo cual se observa una reducción muy elevada en el mes más lluvioso del año, siendo abril con un ahorro de 12,71 m<sup>3</sup> generando un ahorro en el mes del 55,96% del consumo de agua mensual esperado de la casa. Se observa el aumento del consumo en los meses de menor precipitación.
- El promedio de consumo de agua en los 4 meses de seguimiento del sistema, genera un consumo mensual de 15,25 m<sup>3</sup> siendo tan solo el 67,15 % del consumo base, generando una diferencia del promedio mensual previa a la implementación del RALL- ECO de 7,46 m<sup>3</sup>. Sin embargo, para observar un resultado preciso de ahorro, se necesita observar un año de resultados.
- De acuerdo a un ahorro de 7,46 m<sup>3</sup> se obtiene una eficiencia del sistema del 32,85 %, cumpliendo con la hipótesis del trabajo originalmente establecida entre el 24 y 25% al exceder con un 7,85% la eficiencia esperada.

### 6.2.3 Análisis de reducción del impacto ambiental del RALL-ECO

De acuerdo a las premisas del presente estudio, se requiere de un sistema eco – sanitario de recolección de agua de lluvia, lo cual exige una implementación con el menor impacto ambiental posible. Por lo tanto se realiza un análisis de los beneficios obtenidos con la implementación del RALL-ECO a comparación del sistema estándar utilizado en la ciudad de Quito (ver propuesta 1, capítulo 3).

Para la determinación del ahorro de la huella ecológica se ha realizado a lo largo de la implementación el pesaje de los materiales reutilizados, y el cálculo de la energía ahorrada de acuerdo la bomba que hubiese sido utilizada en una implementación subterránea. Con la base de información de la huella ecológica de diferentes materiales de OMS, CIMA y Gerdau se ha realizado el cálculo proporcional de ahorro de emisiones de carbono.

A continuación se presenta la tabla comparativa del ahorro y su huella ecológica.

Tabla 23. Huella Ecológica de los materiales

<b>Material reutilizado /ahorrado</b>	<b>Huella Ecológica</b>	<b>Ahorro generado en la implementación del sistema RALL-ECO</b>	<b>Reducción a la huella ecológica total</b>
<b>Vidrio</b>	1 kg vidrio ahorra 0,3 kg de CO <sub>2</sub> (OMS,2008)	40,5 kg	12,5 kg de CO <sub>2</sub>
<b>Aluminio</b>	Se ahorran 9 kg de CO <sub>2</sub> por kg de aluminio (OMS,2008)	1,6 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14,4 kg de CO<sub>2</sub></li> <li>• 1,81 kg de mineral hierro</li> <li>• 0,0288 kg de</li> </ul>

	<p>Un Tm de hoja de lata reciclada ahorra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.134 kg de mineral de hierro</li> <li>• 18 kg de caliza</li> <li>• 4500 kg de bauxita</li> <li>• 1300 kg de lignito (carbón)</li> <li>• Energía eléctrica equivalente a 36 barriles de petróleo. (CIMA, 2010).</li> </ul>		<p>caliza</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 72 kg de bauxita</li> <li>• 20,8 kg de lignito</li> <li>• 0,0576 barriles de petróleo.</li> </ul>
<b>Acero</b>	<p>Se producen 1,9 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de acero producida (Gerdau, 2012).</p>	20,0 kg	38,0 kg de CO <sub>2</sub>
<b>Plástico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 kg de plástico reciclado o reutilizado, evita una emisión a la atmosfera de 1,5 kg de CO<sub>2</sub> (OMS, 2008).</li> <li>• 1 Tm de plástico reciclado ahorra 12 barriles de petróleo (CIMA, 2012).</li> </ul>	23,16 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 34,74 kg de CO<sub>2</sub></li> <li>• 0,277 barriles de petróleo</li> </ul>

<b>Energía</b>	Con la eliminación de la bomba como parte del sistema se ahorran 816 kilowatts /año, lo cual genera un ahorro de grandes cantidades de CO <sub>2</sub> , el cual puede variar de acuerdo al origen de tal energía.	Se desconoce	Se desconoce
<b>Azulejos</b>	Ahorro de emisión de CO <sub>2</sub> en el proceso de producción de azulejos	7,3 kg	Se desconoce

### 6.3 Comparación técnica con los sistemas pre existentes

Para el diseño e implementación del sistema RALL- ECO se han tomado las ventajas y desventajas de otros sistemas (Ver capítulo II), con el objetivo de crear un sistema ideal para las necesidades de la población y características del Norte del Quito.

A continuación se presenta una tabla comparativa del funcionamiento de los sistemas estudiados.

Tabla 24. Comparación de sistemas de recolección de agua de lluvia de Quito.

Sistema	Costo (\$)	Mantenimiento	Uso de energía	Eficiencia
<b>RALL- ECO</b>	316,06	Manual, lavado de grava.	-	25% de ahorro
<b>Residencia</b>	1 500,00	Cambio de 3 filtros	Bomba	baja



<b>en Quito</b>		cada 4 meses. Con		
<b>Norte</b>		costo de \$ 117, 00		
		anuales		
<b>Keybuilding</b>	15 000,00	Fuera de	Bomba	nula
		funcionamiento		
<b>Vallejo y</b>	Elevado	Fuera de	Bomba	nula
<b>Araujo</b>		funcionamiento		

Como se puede observar en la tabla, el sistema RALL- ECO presenta ventajas en los sistemas previamente implementados. El caso más similar al diseño del RALL-ECO es el de la residencia al norte de Quito por lo que con ella se puede realizar una mejor comparación.

Se observa una notable variación en el precio de implementación, ya que la implementación del RALL-ECO presenta un ahorro del 78,93%, un ahorro del 100 % en costos de mantenimiento y también presenta una eficiencia elevada.

Aunque los otros dos sistemas en la tabla se presentan en diferente tipo de estructura, se observa que los dos se encuentran fuera de funcionamiento por baja eficiencia. En lo cual el sistema RALL-ECO ha demostrado un gran porcentaje.

## 7. Análisis económico del proyecto de implementación de recolección de agua de lluvias

El presente capítulo permite realizar un supuesto de los resultados económicos de los costos de la implementación al compararlo con los beneficios que conlleva el ahorro del agua generado por la recolección de agua de lluvias, para ello se considera la mención de los siguientes puntos:

- Costos de los materiales y mano de obra de la implementación.
- Análisis costo – beneficio:

Estado de consumo de la residencia previo a la implementación del proyecto.

Proyección de ahorro de agua una vez realizados los cambios e implementado el sistema.

Recuperación económica proyectada

### 7.1 Estudio económico de la Implementación del Proyecto

En las siguientes tablas, se presentan los costos de los insumos necesarios para la aplicación del sistema de recolección de agua de lluvia y el filtro.

Tabla 25. Descripción de costos de los materiales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNITARIO	P TOTAL
Válvulas check	3	5,35	16,5
Kalipega 125cc	1	2,07	2,07
T 75 CM cc des plas	1	2,67	2,67
Codo de 75 mm	4	1,98	7,92
Polilimpia 125 cc	1	2,14	2,14
Tubo 1/2 pulgada x 6 m	2	6,78	13,56
Codo de 1/2 pulgada por 90°	12	0,36	4,32
Neplo de 1/2 pulgada	4	0,29	1,16

Neplo de 1/2 pulgada x 6 cm	2	0,19	0,38
Nudo de 1/2 pulgada	1	0,81	0,81
Teflón 12 mm x 10 YD	10	0,19	1,9
T de 1/2 pulgada	2	0,44	0,88
Bushing Reductor de 2 a 1/2 pulgada	1	2,48	2,48
Llave de manguera de 1/2 pulgada	1	10,22	10,22
Permatex 11 onzas/311 gr	1	3,08	3,08
Tanque de reserva	1	100	100
Llave Universal	1	3,22	3,22
Llave de paso	1	2,98	2,98
Alambre Galvanizado	1	2,26	2,26
Malla Plástica Gris 1/16pulgadas	1	3,62	3,62
Filtro natural grande	1	1,4	1,4
Hilo nylon 0.40 mm 100 m	1	0,85	0,85
Pinza punta corte	1	2,75	2,75

Subtotal	187,17
IVA	12%
TOTAL	209,63

Tabla 26. Costos de mano de obra

DESCRIPCION	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
<b>MANTENIMIENTO</b>			
Limpieza de piso y sumideros	1,00	15,00	15,00
<b>OBRA CIVIL</b>			
Instalación de acometida de bajantes al tanque de 1m3	1,00	10,00	10,00
Instalación de tanque de 1m3 en terraza	1,00	5,00	5,00
Instalación de tubería de media pulgada desde el tanque hacia el inodoro	1,00	65,00	65,00
Instalación de llave de paso para suspender ingreso de agua potable hacia el inodoro	1,00	10,00	10,00
TOTAL			95,00
INCLUYENDO IVA			<b>106,4</b>

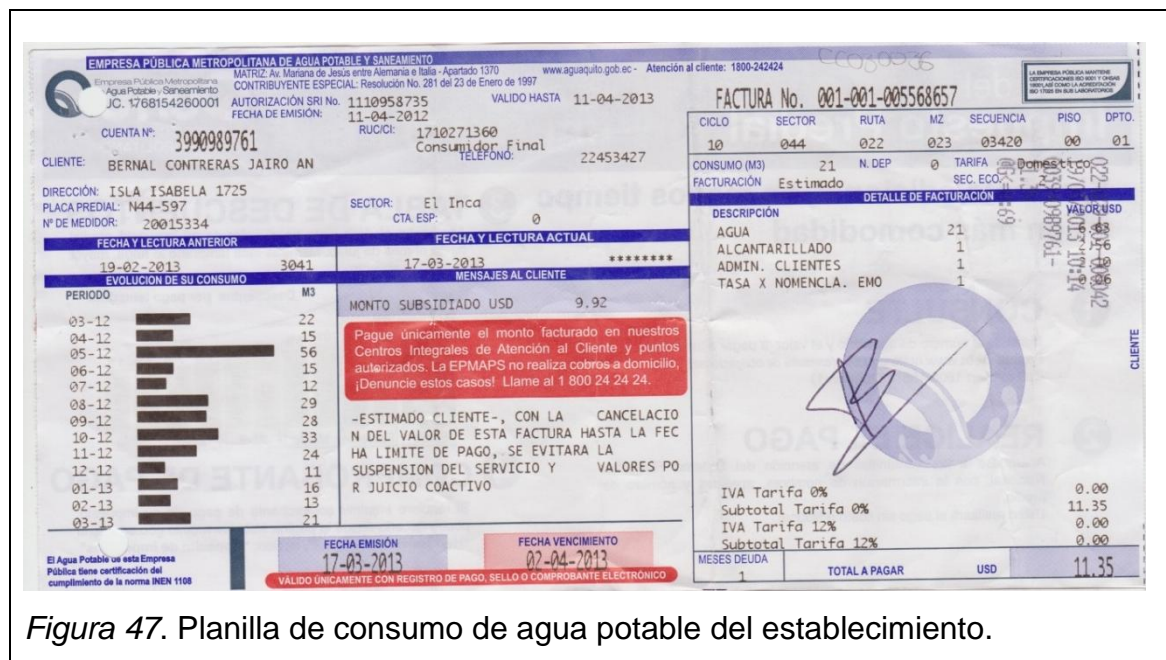
Se obtiene un gasto total en la implementación del RALL-ECO de \$ 316, 03.

## 7.2 Análisis Costo/ Beneficio

### 7.2.1 Estado de consumo en la residencia previo a la implementación del sistema

El análisis de la recuperación de la inversión en la implementación del sistema de recolección de agua de lluvias depende de varios factores. En el caso de la residencia en la que se ha implementado el sistema se contempla lo siguiente:

#### 7.2.1.1 Consumo de agua mensual



Se puede observar que el consumo de agua potable de la casa tiene rangos muy diferenciados, ya que la utilidad del agua depende de la demanda laboral del negocio. Por ello se ha tomado todos los gastos de agua de febrero del 2012 hasta marzo del 2013 para realizar un promedio de los metros cúbicos utilizados.

Tabla 27. Obtención del promedio de consumo de agua

Consumo de agua	
MES	m <sup>3</sup>
feb-12	23
mar-12	22
abr-12	15
may-12	56
jun-12	15
jul-12	12
ago-12	29
sep-12	28
oct-12	33
nov-12	24
dic-12	11
ene-13	16
feb-13	13
mar-13	21
<b>Promedio</b>	<b>22,71</b>

### 7.2.1.2 Destino y uso del agua

En el caso generalizado, se conoce que los mayores consumos de agua en una residencia corresponden a la higiene personal (duchas y lavamanos), lavado de automóviles y de platos. En el caso de esta instalación, las circunstancias son diferentes debido a su utilización como lugar de trabajo y bodega. Esto hace que tan solo sea utilizada de lunes a viernes, y reduce

significativamente la destinación del agua en la ubicación. Según la observación realizada en durante los meses de abril y mayo en el lugar, se reconocen los siguientes usos del agua:

- Limpieza de vajilla
- Higiene personal (solo lavado de manos)
- Limpieza de área interna y externa
- Lavado de autos (eventualmente)
- Riego de jardines
- Inodoros (5 baños en la casa)

Durante un periodo de 9 a 10 horas de lunes a viernes (varía de acuerdo a temporadas de festividades en los cuales se trabaja más horas y se aumentan los sábados) con un total de 9 personas.

### **7.2.1.3 Consumo de agua por uso**

Como se ha mencionado anteriormente, el uso de los inodoros comprende la siguiente distribución:

- 1 persona utiliza el segundo piso de la casa, el cual utiliza un baño. El segundo baño de esta planta, solo se utiliza ocasionalmente.
- En la primera planta (dos baños), se establecen las demás 8 personas, de las cuales 2 son mujeres y 6 son hombres. Se recalca esto ya que un baño está destinado al uso exclusivo de las mujeres y el otro solo para hombres.
- El quinto sanitario por el momento se encuentra fuera de servicio en el área de bodegas externas.

De acuerdo a esta información, se dispone que tan solo el baño para hombres sea el que utilice agua de lluvia. El inodoro tiene una capacidad de 9 litros por descarga, y se ha considerado un promedio de uso del inodoro diario por hombre de 2 veces al día.

En total, se obtiene un consumo de agua diario del inodoro para hombres de 108 litros equivalente a 0.108 m<sup>3</sup>, transformándose en 2,16 m<sup>3</sup> al mes (20 días

laborables). El lavado de autos, riego de jardines y limpieza externa, no tienen un patrón específico. Varía de acuerdo a las temporadas de lluvia y de acuerdo a la necesidad de limpieza del auto. Por lo cual se lo calcula por descarte:

Tabla 28. Estado inicial de uso y consumo de agua potable en la casa

Lugar	Cantidad de personas	Regularidad de uso al día	m <sup>3</sup> usados por actividad	Agua usada diariamente (m <sup>3</sup> )	Agua usada al mes (m <sup>3</sup> )
Baño de hombres	6	2	0,009	0,108	2,16
Baño de mujeres	2	3	0,009	0,054	1,08
Oficina principal	1	2	0,009	0,018	0,36
Baño de bodega	2	1	0,009	0,018	0,36
Lavado de manos mujeres	2	5	0,006	0,06	1,2
Lavado de manos hombres	7	4	0,006	0,168	3,36
Lavado de tazas (té y café)	9	2	0,001	0,018	0,36
Lavado de vajilla	9	1	0,003	0,027	0,54
Limpieza interna	-	1	0,092	0,092	1,84
<b>TOTAL</b>				0,563	11,26

Nota: Los datos se han obtenido de la observación diaria de las actividades excepto por el lavado de manos, 6 litros (OMS, 2012), (después de uso del inodoro, después de comer y al salir). Limpieza de vajilla incluye cubiertos, plato y vaso.

Tomando en cuenta que se obtuvo un promedio de consumo de agua de 22,71 m<sup>3</sup> mensuales (de acuerdo a las planillas de cobro mensual), se comprende que los 11,45 de diferencia se utilizan los casos eventuales de lavado de autos, limpieza externa, riego de jardines, y variedades.

## **7.2.2 Proyección de ahorro de agua**

De acuerdo a los cálculos realizados se pretende obtener una predicción cercana a los resultados de la implementación del sistema, los cuales serán analizados en base a los siguientes datos.

### **7.2.2.1 Recolección de agua de lluvia esperada**

El promedio de precipitación anual, fija la cantidad esperada de recolección de agua de lluvia. De la estación Ñaquito se ha encontrado una precipitación anual de 1164,68 mm. Para elaborar la proyección de la recuperación de la inversión, se plantea una precipitación mensual equitativa, lo que nos deja con un promedio de precipitación por mes de 97,05 mm.

En base al área de recolección que se posee el techo de la propiedad se realizan los siguientes cálculos:

$$4m * 11,80m * 0,09705m = 4,5807 m^3$$



### 7.2.2.2 Consumo de agua esperado de acuerdo a las modificaciones de los inodoros

Una vez obtenida la precipitación esperada mensual se procede a realizar a analizar el ahorro de agua, junto a los cambios realizados en la casa, para lograr encontrar el beneficio económico de la implementación.

Tabla 29. Cantidades de uso de agua al modificar los inodoros.

Lugar	Cantidad de personas	Regularidad de uso al día	m <sup>3</sup> usados por actividad	Agua usada diariamente (m <sup>3</sup> )	Agua usada al mes (m <sup>3</sup> )
Baño de hombres	6	2	0,007	0,084	1,68
Baño de mujeres	2	3	0,007	0,042	0,84
Oficina principal	1	2	0,007	0,014	0,28
Baño de bodega	2	1	0,007	0,014	0,28
Lavado de manos mujeres	2	5	0,006	0,06	1,2
Lavado de manos hombres	7	4	0,006	0,168	3,36

Lavado de tazas (té y café)	9	2	0,001	0,018	0,36
Lavado de vajilla	9	1	0,003	0,027	0,54
Limpieza interna	1	1	0,092	0,092	1,84
<b>TOTAL</b>				0,519	10,38

De acuerdo a los datos, los cambios en la capacidad de los tanques de los inodoros, genera un ahorro de 0,88 m<sup>3</sup> al mes.

### **7.2.2.3 Proyección del ahorro por sustitución de agua potable por agua de lluvia**

Por último se toma en cuenta la contribución de la recolección de agua de lluvia, se observa que al modificar los tanques de los inodoros, el consumo de agua del baño de hombres se reduce de 2,16 m<sup>3</sup> a 1,68 m<sup>3</sup> cada mes.

Siendo la recolección de agua de lluvia mensual de 4,5807 m<sup>3</sup>, al destinar 1,68 m<sup>3</sup> al baño de hombres, quedan libres 2,9 m<sup>3</sup> para los usos de lavado de autos, riegos de jardines o limpieza externa.

Como se menciona en capítulos anteriores, el cobro por m<sup>3</sup> de agua en el distrito metropolitano de Quito varía según la cantidad de agua que se utilice en cada residencia. El pago recaudado del ciudadano comprende \$ 0,31 al consumir hasta 20 m<sup>3</sup>, de 21 a 25 m<sup>3</sup> el costo por metro cúbico es de \$ 0,43. Después de 26 m<sup>3</sup> de consumo, el costo del metro cúbico es de \$ 0,72 (EMAAPQ, 2013).



<b>Agosto</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Sept.</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Oct.</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Nov.</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Dic.</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Enero</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Feb.</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Marzo</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>Abril</b>	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
<b>TOTAL</b>	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12
<b>ACUMULADO ANUAL</b>	39,12	78,24	117,36	156,48	195,6	234,72	273,84	312,96	352,08	391,2	430,32	469,44

De mantener la eficiencia establecida, se espera recuperar la inversión de la implementación del sistema en el octavo año de funcionamiento, después de 97 meses, con un ahorro generado de 316,22 \$ y 529,62 m<sup>3</sup>.

A diez años, se observa un beneficio económico de 74,98\$ una vez recuperada la inversión, y evita el consumo total de 655,2 m<sup>3</sup> en una década.

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones generadas a partir de la implementación del sistema y estudio del trabajo de titulación.

### **8.1 Conclusiones**

Se realizó un análisis comparativo de la recolección de agua de lluvias diferentes países en cada continente, basándose en las características de cada región y resultados de eficiencia de los sistemas. Con lo que se pudo observar claramente que la alta precipitación anual de Quito hace posible que se realicen sistemas altamente eficientes ya que países con menor promedio de precipitación anual como Alemania y Suiza han logrado sistemas con una eficiencia de más del 50%.

Se ha presentado un estudio de la problemática en la ciudad de Quito para generar implementación y mantenimiento de los sistemas de recolección de agua de lluvias, encontrando 4 factores: El bajo precio del agua (0,31 \$ por m<sup>3</sup>), falta de incentivos gubernamentales y legislación, carencia de conocimientos para implementación y aprovechamiento negligente en los sistemas ya implementados.

Se realizó un análisis de la precipitación de la estación Iñaquito, del Norte de la ciudad de Quito de acuerdo a la información obtenida de 30 años de recolección del INHAMI. Obteniendo la precipitación esperada anual promedio de 1164,68 (mm), con lo que se realizaron los cálculos de recolección del sistema y eficiencia del mismo.

Se analizaron las características de la precipitación del norte de Quito, en ellas incluídas potencial hidrógeno (pH) siendo su promedio 6,45, sólidos totales disueltos (STD) con un total de 9,72mg/l y conductividad de 20,31μ/cm, Datos estudiados desde el año 2001 al 2012.

Se realizó la comparación de los resultados de los análisis de las características de la precipitación con la legislación pertinente para uso del agua: Texto unificado de legislación ambiental secundaria (TULAS).

Se determinó el uso potencial del agua de lluvia de acuerdo a su caracterización y marco legal. Siendo capaz de cumplir con los usos de agua para limpieza y riego. Con ello se decidió el destino del agua recolectada por el sistema evitando riesgos de contaminación.

Se estudiaron 3 sistemas de recolección de agua de lluvias implementados previamente en la ciudad de Quito., analizando ventajas y desventajas de las variables de la implementación así optimizando el diseño del RALL-ECO.

Se realizaron 3 diseños del prototipo RALL-ECO de acuerdo las posibilidades que permitía la estructura, eligiendo así el diseño más conveniente en menor inversión, mayor eficiencia a comparación del costo base, mantenimiento simple y amigable con al ambiente.

Se implementó el sistema de recolección de agua de lluvias eco- sanitario (RALL-ECO) de acuerdo al estudio previo de la lluvia, necesidades de los habitantes de la residencia y materiales amigables con el ambiente.

Se realizó un seguimiento del sistema por 6 semanas. En el cual se instalaron 2 variaciones de filtro para reducir así la cantidad de sólidos totales sedimentables y aumentar el potencial hidrógeno (pH). Para ello se realizaron análisis del agua recolectada de potencial hidrógeno (pH), sólidos sedimentables, temperatura y dureza. Con un filtro final de malla, grava y nylon, se obtuvo un positivo aumento de pH debido a la grava de 5,8 a 6,9. Y se redujeron los sólidos sedimentables de 7ml a 1ml; sin embargo esto presenta un aumento de la dureza de <0,2 mmol a 0,9 mmol.

Se presentó el estudio económico proyectado del diseño seleccionado, de esta manera se reconoció la factibilidad de la implementación y recuperación

esperada. Obteniendo una recuperación mensual estimada de \$ 3,26 al ahorrar 5,46 m<sup>3</sup> de agua obteniendo una eficiencia cercana al 25%.

Se realizó un seguimiento de 4 meses de implementación del sistema, observando así el ahorro generado por el RALL-ECO con el cual se obtuvo un promedio de ahorro de 7,46 m<sup>3</sup> logrando una eficiencia del sistema del 32,85%.

## **8.2 Recomendaciones**

A continuación se presentan todas las recomendaciones que pueden contribuir al desarrollo eficiente del estudio, implementación y mantenimiento de un sistema de recolección de agua de lluvias en la ciudad de Quito.

### **8.2.1 Recomendaciones en la implementación del sistema**

Se recomienda realizar la implementación del sistema en el momento de la construcción de la estructura (residencia, edificio o fábrica), ya que esto ahorra los gastos del sistema recolector, optimiza el alcance del sistema y disminuye el daño a la fachada de la casa.

Para mayor eficiencia del sistema se recomienda la unión del tanque de recolección de agua de lluvias con el agua desechada del lavabo y ducha.

El uso de inodoros ahorradores colabora con la eficiencia del sistema de recolección de agua de lluvias.

La mejor manera de maximizar la eficiencia del recolector de agua de lluvias, es aumentando el área de recolección por lo que en varios países han optado por recolectar el agua también de parqueaderos y terminales. En este caso los usos del agua se ven más limitados o necesitarían tratamientos.

Para evitar que el agua recolectada tome malos olores, se recomienda dejar pequeñas aberturas laterales de aireación y desfogue en el tanque de recolección. Sin embargo, en climas calientes se recomienda que las aberturas contengan malla ya que el agua estancada puede ser fuente de vectores.

Debido a la baja fuerza de agua que representa la distribución por gravedad, se recomienda instalar una llave de paso en la entrada de agua potable al inodoro. De dejar las dos entradas al inodoro, la fuerza de entrada del agua potable supera a la del tanque, con lo cual no se aprovecharía el agua recolectada. De esta forma, se permite que cuando no haya disponibilidad en el tanque de agua de lluvia, se abra paso al agua potable.

Al implementar el sistema se recomienda realizar una limpieza de las canaletas y tuberías que no sean nuevas, para evitar el paso de residuos sólidos acumulados al sistema sanitario. De ser implementado el sistema en los meses de junio en los cuales hay poca lluvia, se recomienda dejar correr las primeras lluvias en el tejado y canaletas, antes de unirla con el sistema.

Debido a la baja fuerza de agua del sistema, no se puede utilizar el agua del tanque para salida a mangueras. Por lo que se recomienda evitar realizar la conexión del sistema a estas llaves, pues genera gastos innecesarios

### **8.2.2 Recomendaciones para el estudio**

Para mayor precisión en los resultados se recomienda realizar el seguimiento del sistema durante todo un año, debido a la alta variabilidad que se presenta en la precipitación estacional de la ciudad de Quito.

Debido a la demora generada para obtener los datos de estudios previos de la precipitación de Quito, se recomienda comenzar la tramitación con la mayor anterioridad posible.

### **8.2.3 Recomendaciones para el mantenimiento**

Debido a la lluvia estacional, después de los meses de verano en los que escasea la lluvia se recomienda descartar la recolección de las primeras lluvias. Para esto se debe realizar un lavado del tanque para lograr la liberación de los sólidos sedimentables.



Se recomienda la remoción y lavado de la grava del filtro cada 3 meses. Se puede reutilizar la misma o proporcionar nueva grava. Se recomienda el cambio de nylon o lavado de revés en el mismo tiempo.

Si se quiere evitar el aumento del pH con la utilización de grava en el filtro, se debe buscar en las especificaciones de la compra que no sea grava de mármol, una opción recomendable es la grava sílica.

#### **8.2.4 Recomendaciones para promover la recolección de agua de lluvia en Quito**

Para aumentar la responsabilidad en el consumo del agua y generar un método de ahorro representativo con la recolección de agua de lluvias, se recomienda la reducción del financiamiento dado al consumidor por entidades gubernamentales. De esta manera el consumidor deberá cubrir la totalidad o un mayor porcentaje del costo real del agua potable.

Se recomienda expandir el conocimiento técnico en arquitectos, ingenieros civiles, ingenieros ambientales, entre otros; en la implementación de sistemas alternos para maximizar el aprovechamiento de los recursos, entre ellos de los sistemas de recolección de agua de lluvias, así promoviéndolos, mejorando su eficiencia en caso de implementación, y evitando problemas de mantenimientos y altos costos.

Se recomienda promover la recolección de agua de lluvias por medio de campañas, o educación ambiental y mejorar la oferta de materiales y productos que hagan posible la instalación de forma económica.

En cuanto al estado, para su contribución se recomendaría motivar el ahorro de recursos por medio de leyes e incentivos económicos. Dado el ejemplo de otras legislaciones en las que se exige la implementación de recolectores de agua de lluvia en las nuevas construcciones o subsidiando los materiales para la implementación del mismo.



## REFERENCIAS

- Anchor. (2004). *Agua, pH y conductividad para los impresores*.  
<http://www.fujifilmusa.com/shared/bin/AquapHCond.pdf> (obtenido el 13 de marzo 2013)
- Ballén, J., Galarza M., Ortiz, R. (2006). *Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua: Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. Recuperado el 12 de marzo del 2013 de  
<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>
- Banco Mundial. (2013). *Promedio detallado de precipitaciones anuales*. Recuperado el 10 de mayo del 2013 de  
[http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?display=map%3Fcid%3DEXT\\_BoletinES\\_W\\_EXT](http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?display=map%3Fcid%3DEXT_BoletinES_W_EXT)
- Castañeda, N. (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, Colombia: Universidad de Antioquia. Recuperado el 12 de Julio del 2012 de  
<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluviaAlternativaAhorroAguaPotableInstitucionEducativaMariaAuxiliadoraCaldas.pdf>
- CIDECALLI-CP. (2007). *Diseño de sistemas de captación de agua de lluvia, PNUMA*. Recuperado el 11 de Julio del 2012 de  
<http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/cap4.pdf>
- Cumbre Internacional del Medio Ambiente (CIMA). (2010). *Reciclaje*. Recuperado el 15 de agosto de 2013 de  
<http://cimaecuador.com/2011/reciclaje.¿>

De la Torre, A., Fajnzylber, P., Nash, J. (2009). *Desarrollo con menos Carbono respuestas latinoamericanas al desafío del cambio climático*. Banco Mundial. Recuperado el 29 de diciembre del 2012 de <http://www.upnfm.edu.hk/bibliod/images/stories/NDigitalesEducacion/desarrolloconmenoscarbono.pdf>

Depuraciones Vela. (2012). *Aprovechamiento de recolección de agua de lluvia* obtenido el 12 de Octubre del 2013 de <http://www.depuracionesvela.com/aprovechamiento-agua-lluvia/2-31-1-31.htm>

Empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento (EMAAPQ). (2011). *Captación de agua para Quito*. Obtenido el 18 de febrero del 2013 de [http://www.emaapq.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=78&Itemid=133](http://www.emaapq.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=133)

Environmental protection agency (EPA). (2012). *Effects of acid rain*, Recuperado el 11 de Julio del 2012 de <http://www.epa.gov/acidrain/>

Escuela Politécnica Nacional (EPN). (2010). *CICAM, ubicación de los puntos de muestreo*. Recuperado el 10 de abril del 2013 de [http://www.epn.edu.ec/index.php?option=com\\_phocamaps&view=map&id=1&Itemid=456](http://www.epn.edu.ec/index.php?option=com_phocamaps&view=map&id=1&Itemid=456)

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). *Producción de Alimentos, función decisiva del agua*. Recuperado el 4 de febrero del 2013 de <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s07a.htm>

GERDAU. (2012). *Huella del carbono, la huella que dejamos*. Chile. Recuperado el 15 de agosto del 2013 de [http://www.gerdau.cl/destacados-del-home/index.php?option=com\\_content&view=article&id=130&catid=22&Itemid=293](http://www.gerdau.cl/destacados-del-home/index.php?option=com_content&view=article&id=130&catid=22&Itemid=293)

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2013). *Mapa de Precipitación Media Multianual (1965 - 1999)*. Recuperado el 15 de abril del 2013 de <http://www.inamhi.gob.ec/mapas/5%20PrecipitacionA0.pdf>
- Lenntech B.V (1998-2012). *pH y alcalinidad, medidas de la calidad del agua*. Recuperado el 8 de abril del 2013 de <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>
- Museo del agua Yaku. (2013). *Quienes somos*. Recuperado el 5 de abril del 2013 de [http://www.yakumuseoagua.gob.ec/www/quienes\\_somos/index.php](http://www.yakumuseoagua.gob.ec/www/quienes_somos/index.php)
- Organización Mundial de Salud (OMS). (2004). *Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud*. Recuperado el 18 de Noviembre del 2012 de [http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/factsfigures\\_2004\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/factsfigures_2004_spa.pdf)
- Organización Mundial de Salud (OMS). (2008). *Proteger la salud frente al cambio climático, reciclaje*. Recuperado el 15 de agosto del 2013 de <http://www.who.int/world-health-day/toolkit/annexe%201-S.pdf>
- Pazmiño D. (2007). *Determinación de la Influencia de la Contaminación Ambiental Atmosférica en los niveles de PH y sólidos totales del agua de lluvia de Quito*, Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 11 de Julio del 2012 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/766/1/CD-1252.pdf>.
- RED MAPSA. (2007). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Conductividad*. Recuperado el 18 de marzo del 2013 de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf)
- Secretaría General de Planificación. (2010). *Índice de crecimiento poblacional del Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el 14 de abril del 2013 de

[http://geoinfo.quito.gob.ec/documentos/Estadisticos/Demograficas/Tasa\\_crecimiento\\_poblacional.pdf](http://geoinfo.quito.gob.ec/documentos/Estadisticos/Demograficas/Tasa_crecimiento_poblacional.pdf)

Secretaría nacional de planificación y desarrollo (SENPLADES). (2008-2013). *Plan nacional del buen vivir*. Recuperado el 18 de junio del 2013 de <http://www.planificacion.gob.ec/plan-nacional-para-el-buen-vivir-2009-2013/>

Sistema de investigación de la problemática agraria en el Ecuador (SIPAE). (2008). *Problemática del agua en el Ecuador*. Recuperado el 14 de enero del 2013 de [www.sipae.com](http://www.sipae.com)

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). (2012). *Libro XI*. (Anexo 1). Ecuador.

Well educated. (2012). *Educación en el agua de pozo, solidos disueltos totales*. Recuperado el 12 de diciembre del 2012 de [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf)

## **ANEXOS**

## **Anexo 1. Conceptos relevantes**

De acuerdo al Texto unificado de legislación ambiental secundaria TULAS, se han citado los siguientes conceptos en los cuales se ha basado la investigación.

- Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original. (TULAS, libro XI anexo 1)

- Aguas pluviales

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo. (TULAS, libro XI anexo I)

- Aguas superficiales

Toda aquella agua que fluye o almacena en la superficie del terreno. (TULAS, libro XI anexo 1)

- Efluente

Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad. (TULAS, libro XI anexo 1)

- Polución o contaminación del agua

Es la presencia en el agua de contaminante en concentraciones y permanencias superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad del agua. (TULAS, libro XI anexo 1)



**Anexo 2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO, QUE ÚNICAMENTE REQUIEREN TRATAMIENTO CONVENCIONAL.**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH <sub>4</sub>	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,05

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	2,0
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	500

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			<b>Ausencia</b>
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
Zinc	Zn	mg/l	5,0
<i>*PRODUCTOS PARA LA DESINFECCIÓN</i>		mg/l	0,1
<i>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS</i>			
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	μg/l	10,0
Benzo(a) pireno		μg/l	0,01
Etilbenceno		μg/l	700
Estireno		μg/l	100
Tolueno		μg/l	1 000

<b>Parámetro</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
Xilenos (totales)		μg/l	10 000
<i>PESTICIDAS Y HERBICIDAS</i>			
Carbamatos totales	Concentración de	mg/l	0,1

<b>Parámetro</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Organoclorados totales	carbamatos totales Concentración de organoclorado s totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosfora dos totales	mg/l	0,1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	µg/l	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	µg/l	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de dicloropropan o	µg/l	5
Diquat		µg/l	70
Glifosato		µg/l	200
Toxafeno		µg/l	5
<b>Compuestos Halogenados</b> Tetracloruro de		µg/l	3

<b>Parámetro</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
carbono			
Dicloroetano (1,2-)		µg/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		µg/l	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		µg/l	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		µg/l	100
Diclorometano		µg/l	50
Tetracloroetileno		µg/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		µg/l	200
Tricloroetileno		µg/l	30
Clorobenceno		µg/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		µg/l	200
Diclorobenceno (1,4-)		µg/l	5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,01
Bromoximil		µg/l	5
Diclorometano		µg/l	50
Tribrometano		µg/l	2

**Anexo 3. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO QUE ÚNICAMENTE REQUIERAN DESINFECCIÓN.**

Las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de desinfección, deberán cumplir con los requisitos que se mencionan a continuación:

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permissible</b>
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio total	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,01
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,05
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	2
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	500
Estaño	Sn	mg/l	2,0
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia Flotante			AUSENCIA
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			<b>Ausencia</b>



<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	250
Sólidos disueltos totales		mg/l	500
Temperatura	°C		Condición Natural +/- 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Turbiedad		UTN	10
Uranio Total		mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	5,0
<i>HIDROCARBUROS</i>			
<i>AROMÁTICOS</i>			
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	mg/l	0,01
Benzo-a- pireno		mg/l	0,00001
<i>PESTICIDAS Y</i>			
<i>HERBICIDAS</i>			
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados y carbamatos	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0,1
Toxafeno		µg/l	0,01
Compuestos Halogenados Tetracloruro de		mg/l	0,003

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
carbono			
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0,01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0,3

Nota: \*Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el Índice NMP, pertenecen al grupo coliforme fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.

#### CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA AGUAS DE USO AGRÍCOLA

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,2

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	<b>VISIBLE</b>		AUSENCIA
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	<b>cero</b>

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Además de los criterios indicados, la Entidad Ambiental de Control utilizará también las siguientes guías para la interpretación de la calidad del agua para riego y deberá autorizar o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado.

**Anexo 4. PARÁMETROS DE LOS NIVELES GUÍA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO**

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
<b>Salinidad (1):</b>					
CE (2)	Milimhos/cm	0,7	0,7	3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	>2000
<b>Infiltración (4):</b>					
RAS = 0 – 3 y CE		0,7	0,7	0,2	< 0,2
RAS = 3 – 6 y CE		1,2	1,2	0,3	< 0,3
RAS = 6 – 12 y CE		1,9	1,9	0,5	< 0,5
RAS = 12 – 20 y CE		2,9	2,9	1,3	<1,3
RAS = 20 – 40 y CE		5,0	5,0	2,9	<2,9
<b>Toxicidad por ión específico (5):</b>					
<b>- Sodio:</b>					
Irrigación superficial RAS (6)		3,0	3,0	9	> 9,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
<b>- Cloruros</b>					
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0	10,0	>10,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
- Boro	mg/l	0,7	0,7	3,0	> 3,0
<b>Efectos misceláneos (7):</b>					
- Nitrógeno (N-NO <sub>3</sub> )	mg/l	5,0	5,0	30,0	>30,0
- Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	meq/l	1,5	1,5	8,5	> 8,5
pH	Rango normal	6,5 –8,4			

\*Es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.
- (2) Conductividad eléctrica del agua: regadío ( 1 milimhos/cm = 1000 micromhos/cm).
- (3) Sólidos disueltos totales.
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo.
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos.
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada.
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles.



## **Anexo 5. Ampliación de la información de Sistemas de recolección de agua de lluvia en el mundo**

Europa

- Alemania

Como se mencionó anteriormente Alemania es el país que ha mostrado mayor desarrollo en la tecnología para captación y reutilización de agua de lluvia, el creciente interés se debe principalmente a la presión del gobierno local con sanciones e incentivos y por la enorme polución industrial. El país cuenta con una precipitación anual varía entre 563 mm y 855mm con lo que se permite que la recolección se destine a usos no potables como descarga de sanitarios lavado y riego.

Dentro del país se pueden destacar 2 casos específicos:

En Berlín, se realizó un proyecto a gran escala instalando sistemas de captación en toda una zona residencial, el sistema recolecta el agua que cae en los techos almacenándolo en un solo tanque subterráneo con capacidad de 3500 metros cúbicos la cual es utilizada por ellos mismos.

*Luedecke-Strasse* es un proyecto similar, se recoge el agua de techos con un área total de 7000 metros cuadrados, unido a la recolección de la escorrentía de las calles y estacionamientos con un área cercana a 4200 metros cuadrados, debido a que este afluyente retiene mayor contaminación pasa por un amplio tratamiento, con el fin de usar el agua recogida para descarga de sanitarios y riego. Con este proyecto se ha reducido un 58% del consumo del agua local.

En ambos casos se ha notado no solo un gran beneficio económico, también han sido controladas las inundaciones y el flujo de aguas contaminadas hacia cauces naturales.

- Suiza

Este país representa un caso ejemplar, Suiza es uno de los pocos países del mundo que cuentan todavía con una reserva de agua potable abundante, sin embargo han decidido tomar a los sistemas de recolección de agua de lluvia como una medida de prevención para mantener un desarrollo sustentable.

- Reino Unido

Dentro de estos países la necesidad de la implementación de los sistemas de recolección de agua de lluvia ha aumentado notablemente debido a la poca disponibilidad de agua potable y por el aumento desmedido de la población urbana, centrandose en estas áreas la implementación de los sistemas de recolección junto a un programa que pretende reducir el consumo diario por persona de 150 litros diarios a 80 litros.

Otro problema de la zona son las inundaciones ya que es considerado altamente lluvioso, lo que ha generado alto escurrimiento de agua contaminada y pérdidas económicas.

#### Un gran proyect

o manejado en Inglaterra desde el 2006, es el código de Hogares sustentables para disminuir el impacto del cambio climático por medio de construcciones adaptadas para el menor uso de recursos. Actualmente en todo Reino Unido es obligatoria que toda nueva construcción esté considerada dentro de este código, en los cuales los métodos de captación de agua de lluvia son un elemento imprescindible.

#### Asia

- China, Provincia de Gansu

En el caso de este enorme país, se han presentado grandes problemas de escasez de agua potable, especialmente en la parte norte del país en la provincia de Gansu donde la mayoría de la población muy pobre por lo que dependen de la lluvia para la producción, a lo largo de los años la escasez ha

representado una gran pérdida económica y ambiental para la zona, causando también alta migración y mayor deficiencia de alimentos.

Un gran problema es que su precipitación anual es tan solo de 300 mm y la evaporación es de 1500 a 2000 mm

Por esta razón el gobierno inició un proyecto de apoyo a los agricultores en el cual entregaban un sistema de recolección de agua lluvia a cada familia, con tan solo canaletas y un tanque de recolección con la única función de agua para riego, con lo que se logró un dotar de riego suplementario para 1,2 millones hectáreas de tierra en 17 provincias.

- Japón

Japón tiene un promedio anual de precipitación de 1380 mm con un gran exceso en la temporada lluviosa por lo que, al igual que China, tiene una temporada de sequía y una de inundaciones. Para mitigar estos problemas en Tokio se ha promovido la recolección de agua de lluvia especialmente en edificios

Dentro de las áreas menos pobladas del país, se utiliza el sistema Rojison, este sistema fue creado por la comunidad de Mukojima, para el aprovechamiento del agua recogida de los tejados, de igual manera usándolo para riego de jardines, reservas para sequías y para extinción de incendios, a continuación se presenta el gráfico del sistema. (Ballén, J., Galarza M., Ortiz, R. 2006)

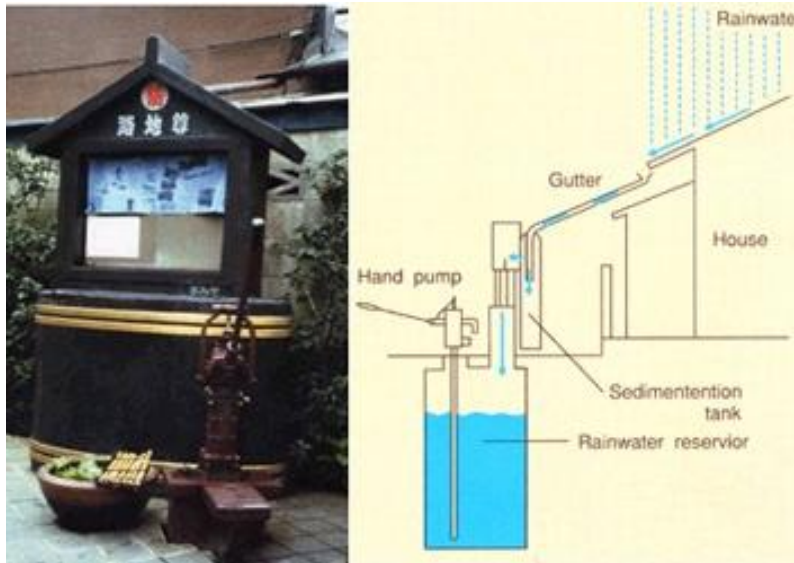


Gráfico del sistema Rojison. Tomado de Ballén, J., Galarza M., Ortiz, R. (2006)  
Historia del aprovechamiento de agua de lluvia.

- India

Este es uno de los 6 países con mayor escasez de agua en el mundo. Muchas organizaciones han buscado métodos de ahorro y eficiencia del agua sin mayor éxito por lo que se sigue investigando. Otro gran problema es que es el país más poblado del mundo con 1200 millones de habitantes por lo que hay escasez tanto en la zona agrícola como en la zona urbana aparte del alto nivel de contaminación.

La opción de la recolección de agua de lluvia en India no es muy sencilla debido a la baja precipitación con una pequeña temporada de excesos sin embargo, es una medida que se planea aplicar para la producción agrícola y en las zonas urbanas para combatir la escasez por aumento de población.

Las ventajas que presentan los sistemas de recolección de agua que ha visto el gobierno son altas por lo que están implementando leyes para fomentar la implementación de estos junto a la cosecha de lluvia en el campo.

- Singapur

Dado que Singapur es una isla con una gran densidad poblacional, la escasez de agua se tornó grave desde hace casi 30 años. La implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia es el método más utilizado, aunque las superficies de recolección son bajas ya que la mayoría de la población reside en altos edificios. Sin embargo con adquisición de nuevas tecnologías el gobierno aspira a que el 50% del consumo provenga de la recolección de agua de lluvia ya que poseen una precipitación anual bastante elevada.

La recolección en edificios altos ha sido implementada en el techo de edificios de 15 pisos. El agua que cae en los techos es recogida y dirigida a dos tanques de almacenamiento la cual es usada para la descarga de sanitarios. Tan solo esta implementación ha conseguido un ahorro del 13,7% del agua.

- Bangladesh

En el caso de este país, los sistemas de recolección de agua de lluvia son mucho más avanzados ya que sus fuentes de agua están contaminadas por arsénico. Lo diferente de estos sistemas es que no son utilizados solo para riego, o descarga de sanitarios, la captación se utiliza para beber, cocinar ya que se acepta como una fuente segura, incluso con el tipo de almacenamiento que se le da aseguran que se mantiene de 4 a 5 meses sin índices de contaminación bacteriana.

## Oceanía

- Australia

Las medidas que se han tomado, es la disminución de consumo de agua por lo que la gente ha comenzado a recolectar agua de lluvia para riego y limpieza.

Desde el año 2005 en la ciudad de victoria se ha impuesto que toda nueva construcción tenga implementado un sistema de recolección de agua de lluvia con conexión descarga de sanitarios, mientras que en el estado de Queen

Island se ofrecen enormes bonificaciones para quien implemente estos sistemas.

## África

- Kenia

Kenia posee una población de más de 25 millones de habitantes, su precipitación anual promedio bordea entre los 400 mm la cual es bastante baja. Tan solo un 42% de la población tiene acceso a agua potable por lo que desde hace más de 40 años se han venido implementando sistemas de captación subterráneos con capacidad para almacenar 100 metros cúbicos de agua con el objetivo de proveer de agua por 4 meses, desgraciadamente el agua no es apta para el consumo humano, por lo cual se utiliza para cultivos y limpieza, mejorando así las condiciones de salubridad y la accesibilidad a alimento. Zimbabue ha adoptado el mismo método adaptándolo a las condiciones de evaporación mucho más elevadas. (FAO, 2006)

## América

- Canadá

En este gran país Vancouver ofrece un subsidio a los tanques de almacenamiento para la captación de agua de lluvia, recogidos de techos ahorrando 1300 galones de agua durante los meses de menos lluvia.

- Estados Unidos

En algunos estados la utilización del agua de lluvia cada vez se vuelve más popular debido a que hay varias zonas áridas. También se han promovido por medio de incentivos y legislaciones. Texas es el estado con mayor desarrollo e implementación en estos sistemas.

- México

Dentro de este país hay varias zonas áridas pero lamentablemente los sistemas de captación de agua de lluvia no se han desarrollado adecuadamente, se podría decir que actualmente el reúso del agua de lluvia es casi nulo, pero dadas las condiciones hidrológicas del lugar se cree que tan solo con la captación de agua de lluvia en techos se podrá ahorrar hasta un 15% del consumo de agua.

- Brasil

Brasil posee la selva de la Amazonía con abundantes precipitaciones y cauces naturales, en algunas zonas se comienza a sentir la falta de agua disponible. Los sistemas de recolección de agua de lluvia se han propuesto en las grandes ciudades no solo como medida de ahorro, sino que también para mitigar las inundaciones y para evitar el escurrimiento de aguas contaminadas hacia grandes cauces.

En la ciudad de Sao Paulo la legislación exige la implementación de un sistema de recolección de agua de lluvia en los techos con 500 metros cuadrados o más.

**Anexo 6. Datos completos de Conductividad, pH y Sólidos Totales Disueltos**

<b>2000</b>			
FECHA DE RECOLECCION	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
28/12/2000	6,15	30	12
29/12/2000	6,04	25,2	10
31/12/2000	5,41	13,2	5

<b>2001</b>			
	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
21/01/2001	5,61	17,8	8
23/01/2001	5,51	21,9.	11
22/02/2001	5,61	29	13
23/02/2001	5,84	21,5	9
24/02/2001	6,03	20	8
27/02/2001	6,17	10,8	6
06/03/2001	6,7	11,6	6
16/03/2001	6,37	16	8
19/03/2001	6,33	16	8
20/03/2001	6,29	24,2	11
21/03/2001	6,09	15,9	7
23/04/2001	6,4	NA	4
04/05/2001	6,43	NA	12
13/11/2001	5,71	29,6	NA
14/11/2001	6,13	32,1	NA
15/11/2001	5,99	17,3	NA
16/11/2001	6,13	19,1	NA



20/11/2001	6,57	35,8	NA
14/12/2001	5,93	13,3	NA
19/12/2001	6,36	15,1	NA
20/12/2001	6,06	20,5	NA
23/12/2001	6,19	16,3	NA

<b>2002</b>			
	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
07/01/2002	7,66	12,5	
09/01/2002	6,2	19,9	
10/01/2002	6,02	18,5	
28/02/2002	7,13	20,3	
08/03/2002	7,36	33,1	
15/03/2002	7,7	25,1	
19/03/2002	7,1	30,6	
20/03/2002	6,93	20,9	
21/03/2002	7,27	32,8	
23/03/2002	7,11	12,7	
27/03/2002	5,95	19,7	
28/03/2002	5,84	17,3	
30/03/2002	7,58	20,8	
04/04/2002	7,26	12,7	
08/04/2002	7,27	12	
09/04/2002	6,99	19	
10/04/2002	6,97	15	
20/04/2002	6,66	22,2	
21/04/2002	6,81	12	
25/04/2002	6,51	14,2	
26/04/2002	7,43	15,6	
27/04/2022	7,03	16,8	

28/04/2002	6,95	10,6	
29/04/2002	6,88	7,8	
20/05/2002	7,37	16,3	
21/05/2002	6,13	16,3	
22/05/2002	6,02	18,7	
20/10/2002	6,26	26,9	
21/10/2002	6,1	14,7	
24/10/2002	6,26	18,7	
25/10/2002	6,13	18,9	
28/10/2002	6,68	22,0	
29/10/2002	6,24	29,5	
30/10/2002	6,56	24,6	
03/11/2002	6,59	22,0	
04/11/2002	5,14	49,00	
07/11/2002	5,75	40,5	
08/11/2002	5,51	36,7	
10/11/2002	5,51	38,4	
05/12/2002	6,12	24,7	
00/12/2002	5,95	18,6	
00/12/2002	5,88	23,9	
00/12/2002	5,44	24,4	
00/12/2002	5,74	15,5	
00/12/2002	5,6	20,8	

<b>2003</b>			
	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
00/03/03	7,14	54,8	
00/03/03	6,69	29,6	
00/03/03	6,10	35,00	
00/03/03	6,18	37,1	

22/03/2003	6,36	33,2	
27/03/2003	6,06	19,4	
28/03/2003	5,98	20,1	
31/03/2003	6,50	27,6	
09/04/2003	6,36	27,2	
10/04/2003	6,88	44,1	
11/04/2003	6,44	46,2	
13/04/2003	6,53	19,8	
14/04/2003	6,52	12,0	
16/04/2003	7,32	19,6	
19/04/2003	6,90	14,8	
21/04/2003	6,85	11,6	
22/04/2003	6,83	12,6	
05/06/2003	7,4	42,7	
17/06/2003	7,04	22,1	
00/07/03	6,15	28,1	
00/09/03	7,96	32,1	15
25/09/2003	7,29	36,0	17
29/09/2003	7,56	33,2	15
01/10/2003	7,27	31,1	15
06/10/2003	6,39	51,1	24
07/10/2003	6,59	16,7	8
14/10/2003	7,44	42,3	20
15/10/2003	6,55	34,7	16
21/10/2003	7,25	22,4	10
22/10/2003	7,64	19,3	9
08/11/2003	6,48	32,1	15
29/10/2003	5,28	28,2	13
09/11/2003	6,61	22,9	11
10/11/2003	6,94	23	11
17/11/2003	6,72	25,5	

17/11/2003	6,12	23,8	
16/11/2003	7,92	27,9	
12/11/2003	7,71	19	
27/11/2003	6,72	20,6	9
29/11/2003	6,62	17,3	8
30/11/2003	6,67	22,8	11
01/12/2003	6,85	11,4	5
14/12/2003	7,3	26,1	12
15/12/2003	7,06	28,6	13
26/12/2003	6,83	41,8	20
27/12/2003	6,44	17,1	8

<b>2004</b>			
	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
07/03/2004	6,39	32,8	15
08/03/2004	6,55	16,7	8
27/03/2004	6,72	18,4	9
14/04/2004	5,82	16,9	8
15/04/2004	5,85	14,8	7
23/04/2004	6,38	15,0	7
24/04/2004	6,16	23,0	11
26/04/2004	5,87	22,8	11
16/05/2004	6,76	34,0	16
18/05/2004	6,54	21,3	10
19/05/2004	6,53	16,0	7
25/05/2004	6,70	16,1	8
09/06/2004	6,95	13,2	6
25/08/2004	7,18	57,9	25
10/09/2004	6,97	16,9	7
29/09/2004	6,31	25,8	10

29/09/2004	6,77	24,0	11
01/10/2004	6,70	10,9	4
01/10/2004	7,02	20,6	8
18/10/2004	6,57	13,0	6
18/10/2004	6,47	13,0	7
27/10/2004	6,67	21,6	10
29/10/2004	7,09	27,0	13
04/11/2004	7,08	19,4	9
15/11/2004	6,16	30,5	13
15/11/2004	6,14	18,1	8
15/11/2005	6,42	13,0	6
25/11/2004	6,52	20,3	9
25/11/2004	6,27	22,9	10
29/11/2004	5,94	32,8	12
01/12/2004	6,21	26,0	12
09/12/2004	6,44	15,6	7
09/12/2004	6,46	14,4	7
16/12/2004	6,93	21,0	10
16/12/2004	6,53	21,6	10
16/12/2004	6,52	16,5	8

<b>2005</b>			
	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
26/01/2005	7,10	58,5	27
15/02/2005	8,38	11,3	5
15/02/2005	8,05	19,8	9
15/02/2005	8,36	12,1	5
15/02/2005	8,26	10,8	5

07/03/2005	6,16	17,8	7
07/03/2005	6,39	25,9	12
07/03/2005	6,45	18,9	9
07/03/2005	6,43	17,3	8
10/03/2005	6,22	20,6	10
16/03/2005	6,01	25,1	12
19/03/2005	6,18	28,3	13
21/03/2005	6,70	16,3	8
25/04/2005	5,44	45,6	20
25/04/2005	6,53	26,6	12
25/04/2005	6,43	14,3	7
25/04/2005	6,05	14,3	7
02/05/2005	6,01	18,5	8
02/05/2005	5,89	16,6	8
23/08/2005	6,48	51,3	24
09/09/2005	6,52	30,5	14
05/10/2005	6,14	28,6	13
11/10/2005	6,14	27,2	13
22/10/2005	5,86	24,7	12
21/10/2005	6,34	34,0	16
07/11/2005	6,52	25,3	12
09/11/2005	6,34	23,4	11
11/11/2005	6,28	33,1	14
12/11/2005	6,16	18,4	9
15/11/2005	6,16	14,4	7
14/12/2005	6,24	45,3	21
15/12/2005	5,99	35,5	17
16/12/2005	5,86	27,8	13
17/12/2005	6,26	25,7	12
19/12/2005	6,07	29,3	14
22/12/2005	7,31	19,6	9

26/12/2005	7,22	17,1	8
27/12/2005	7,01	11,5	5
28/12/2005	6,69	12,4	6
31/12/2005	6,48	20,9	10

<b>2006</b>			
	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
06/02/2006	6,90	11,8	5
22/02/2006	6,05	14,2	7
09/03/2006	5,15	22,6	11
10/03/2006	5,20	16,3	8
11/03/2006	5,30	12,1	6
12/03/2006	5,39	10,4	5
13/03/2006	5,57	10,2	5
14/03/2006	5,27	14,5	7
15/03/2006	5,34	8,7	4
16/03/2006	5,20	12,5	6
17/03/2006	4,94	16,3	8
19/03/2006	5,08	10,6	5
20/03/2006	4,89	18,7	9
21/03/2006	5,75	14,2	7
23/03/2006	5,52	11,6	5
24/03/2006	5,55	11,5	5
25/03/2006	5,48	9,8	4
28/03/2006	5,60	11,3	5
02/04/2006	5,83	22,7	11
04/04/2006	5,52	10,8	5
07/04/2006	5,33	7,8	4

10/04/2006	5,29	7,5	3
11/04/2006	4,95	19,2	9
12/04/2006	5,22	11,8	6
16/04/2006	5,66	15,0	7
26/04/2006	5,67	18,8	9
27/04/2006	5,70	11,7	5
28/04/2006	5,41	10,7	5
29/04/2006	5,38	15,0	7
30/04/2006	5,62	6,3	3
01/05/2006	5,68	9,6	4
07/05/2006	5,84	11,1	5
08/05/2006	5,70	18,6	7
09/05/2006	5,59	8,2	4
10/05/2006	5,60	11,0	5
11/05/2006	5,43	17,1	8
21/05/2006	5,84	30,5	14
06/06/2006	6,09	15,9	8
09/06/2006	5,86	14,9	7
10/06/2006	5,70	9,9	5
11/06/2006	5,63	12,4	6
11/10/2006	7,07	53,5	25
06/11/2006	6,90	50,8	24
07/11/2006	6,02	23,2	11
13/10/2006	6,06	16,2	8
14/10/2006	5,46	12,7	6
24/10/2006	5,81	50,7	24
28/10/2006	5,85	26,1	12
30/10/2006	5,95	21,2	10
31/10/2006	6,52	184,3	88
08/11/2006	6,92	24,6	12
09/11/2006	6,53	20,3	10



13/11/2006	6,38	15,7	7
14/11/2006	6,24	18,6	9
15/11/2006	6,3	14,2	7
16/11/2006	5,96	20,6	10
19/11/2006	6,05	21,0	10
21/11/2006	6,13	14,4	7
22/11/2006	6,10	14,2	7
23/11/2006	6,07	10,4	5
25/11/2006	6,14	7,9	4
26/11/2006	6,44	11,2	5
04/12/2006	6,55	21,9	10
06/12/2006	5,75	19,5	9
08/12/2006	5,86	7,1	3
07/12/2006	5,90	13,8	6

<b>2007</b>			
	pH	CONDUCTIVIDAD	STD
		ms	mg / l
15/12/2006	7,73	178,9	85
19/12/2006	6,74	17,4	8
20/12/2006	6,30	18,7	9
21/12/2006	6,83	15,8	7
16/02/2007	6,09	17,9	8
17/02/2007	5,41	13,2	6
17/02/2007	5,54	15,5	7
06/03/2007	7,61	32,7	15
14/03/2007	7,39	26,4	12
15/03/2007	5,45	14,8	7
21/03/2007	6,02	17,2	8
23/03/2007	5,59	12,2	6

24/03/2007	5,25	18,6	8
26/03/2007	5,22	10,2	5
28/03/2007	5,73	17,7	8
04/04/2007	5,98	15,7	7
05/04/2007	5,09	19,4	9
07/04/2007	5,80	13,4	6
05/04/2007	5,76	11,1	3
10/01/2007	6,5	28	
18/01/2007	6,5	79	
19/01/2007	6,7	41	
21/01/20007	6,4	27	
26/01/2007	6,7	7	
06/02/2007	6,8	16	
14/02/2007	6,6	38	
15/02/2007	6,5	14	
16/02/2007	6,4	10	
21/02/2007	6,6	9	
06/03/2007	6,8	16	
14/03/2007	7,8	13	
19/03/2007	8,3	10	
22/03/2007	8,4	16	
23/03/2007	8,4	8	
26/03/2007	8,3	10	
27/03/2007	8,3	42	
28/03/2007	7,6	26	
05/04/2007	8,0	28	
09/04/2007	7,3	22	
10/04/2007	8,1	9	
13/04/2007	7,4	26	
17/04/2007	8,1	29	
18/04/2007	8,0	12	

19/04/2007	7,9	7	
23/04/2007	8,6	8	
25/04/2007	8,3	15	
26/04/2007	8,3	14	
30/04/2007	8,2	8	
01/05/2007	6,8	12	
05/05/2007	8,5	12	
11/05/2007	7,4	10	
21/05/2007	7,7	20	
22/05/2007	7,6	19	
23/05/2007	6,6	15	
28/05/2007	5,6	25	
30/05/2007	6,3	15	
31/05/2007	6,9	22	
01/06/2007	7,2	8	
04/06/2007	6,7	21	
22/06/2007	6,4	21	
18/07/2007	6,6	22	
27/07/2007	6,4	43	
07/08/2007	6,0	48	
09/08/2007	6,0	18	
13/08/2007	6,3	19	
15/08/2007	8,2	30	
21/08/2007	7,6	58	
26/08/2007	6,1	21	
30/08/2007	7,1	48	
25/09/2007	6,7	28	
04/10/2007	6,3	26	
05/10/2007	6,6	17	
08/10/2007	4,1	26	
09/10/2007	4,4	11	

10/10/2007	6,7	8	
16/10/2007	5,4	8	
18/10/2007	7,4	17	
19/10/2007	5,9	30	
20/10/2007	7,5	15	
30/10/2007	6,9	18	
31/10/2007	6,6	25	
05/11/2007	6,5	14	
06/11/2007	6,6	30	
06/11/2007	6,9	8	
12/11/2007	5,7	7	
22/11/2007	6,0	11	
26/11/2007	6,0	7	
03/12/2007	5,8	12	
16/12/2007	6,8	12	
17/12/2007	5,7	11	
21/12/2007	5,7	9	
27/12/2007	6,0	23	

2008		
	pH	Conductividad
03/01/2008	6,5	13
08/01/2008	7,2	8
09/01/2008	6,0	15
10/01/2008	5,0	10
15/01/2008	4,7	13
23/01/2008	5,0	24
27/01/2008	5,2	8
28/01/2008	5,2	8
29/01/2008	5,3	18
30/01/2008	5,8	10

31/01/2008	6,0	13
16/02/2008	7,7	14
18/02/2008	6,2	10
19/02/2008	5,6	10
19/02/2008	6,9	7
20/02/2008	6,8	10
22/02/2008	7,3	7
24/02/2008	6,7	13
26/02/2008	6,5	14
27/02/2008	6,9	13
27/02/2008	5,8	8
28/02/2008	5,9	6
03/03/2008	6,5	37
04/03/2008	6,6	8
05/03/2008	6,6	15
07/03/2008	5,3	12
10/03/2008	6,2	9
10/03/2008	6,9	8
12/03/2008	6,3	7
13/03/2008	6,1	10
16/03/2008	6,7	25
18/03/2008	6,7	8
25/03/2008	6,5	12
25/03/2008	7,1	16,60
31/03/2008	8,0	7,00
01/04/2008	5,5	8
02/04/2008	5,9	7
03/04/2008	6,3	8
07/04/2008	7,5	8
07/04/2008	5,5	10
09/04/2008	6,2	17

10/04/2008	6,6	7
14/04/2008	6,3	7
15/04/2008	6,9	14
22/04/2008	6,7	30
24/08/2008	6,6	3
28/04/2008	7,1	7,80
29/04/2008	6,5	4,40
04/05/2008	6,2	11
14/05/2008	7,0	14
16/05/2008	7,0	8
17/05/2008	7,2	8
21/05/2008	6,1	12
23/05/2008	7,3	9
26/05/2008	6,3	8
27/05/2008	7,2	19
28/05/2008	5,3	9
28/05/2008	5,3	11
03/06/2008	7,0	10
14/06/2008	7,4	10
18/06/2008	7,3	13
20/06/2008	7,3	9
23/06/2008	7,0	7
24/06/2008	8,0	12
25/06/2008	7,3	21
08/07/2008	7,4	58
09/07/2008	7,1	24
10/07/2008	6,9	24
17/07/2008	7,7	27
20/07/2008	7,5	30
01/08/2008	6,9	55
12/08/2008	7,2	40

12/08/2008	7,2	13
18/08/2008	6,9	57
18/08/2008	7,5	24
21/08/2008	7,5	38
25/08/2008	6,4	19
29/08/2008	5,1	28
03/09/2008	7,5	15
04/09/2008	6,8	13
15/09/2008	7,3	38
17/09/2008	7,3	30
22/09/2008	7,2	11
23/09/2008	7,3	17
24/09/2008	7,2	18
27/09/2008	7,6	31
29/09/2008	6,7	18
01/10/2008	6,9	20
05/10/2008	6,2	13
01/10/2008	6,2	15
09/10/2008	6,2	13
13/10/2008	6,3	9
14/10/2008	6,2	8
15/10/2008	6,4	14
19/10/2008	5,8	12
20/10/2008	6,0	15
26/10/2008	6,0	9
27/10/2008	5,4	15
29/10/2008	5,4	10,20
29/10/2008	6,4	16,40
03/11/2008	6,8	13
04/11/2008	7,0	57
05/11/2008	7,1	16

09/11/2008	6,9	12
12/11/2008	6,4	15
13/11/2008	5,1	26
14/11//2008	6,3	49
17/11/2008	4,8	35
18/11/2008	6,0	35
23/11/2008	7,2	77
24/11/2008	7,2	10
25/11/2008	7,4	30,60
03/12/2008	5,9	19
04/12/2008	6,4	16
08/12/2008	5,3	14
12/12/2008	6,3	18
15/12/2008	6,5	17
18/12/2008	6,6	7
21/12/2008	7,2	7
22/12/2008	6,9	21
27/12/2008	7,0	24

2009		
	Ph	Conductividad
21/11/2009	6,17	9,90
30/11/2009	8,30	11,32
28/12/2009	5,87	9,30

2010		
	Ph	Conductividad
12/02/2010	6,43	38,00
10/02/2010	5,77	17,90
26/02/2010	6,78	25,70



2011		
	Ph	Conductividad
19/08/2011	---	---
21/08/2011	---	---
12/09/2011	---	---
21/09/2011	7,23	14,50
26/09/2011	6,86	9,1
11/10/2011	7,13	---
12/10/2011	5,87	---
28/11/2011	6,70	22,00
02/12/2011	7,12	22,10
09/12/2011	6,75	21,10

2012		
	Ph	Conductividad
06/01/2012	6,89	17,60
09/01/2012	7,28	17,50
10/01/2012	7,36	22,2
16/01/2012	6,58	11,30
18/01/2012	6,00	13,20
20/01/2012	6,17	27,90
23/01/2012	6,27	9,80
27/01/2012	6,72	28,80
13/02/2012	5,71	20,30
22/02/2012	6,66	10,50
01/03/2012	6,48	10,20
19/03/2012	6,46	12,20
26/03/2012	6,68	12,10
26/03/2012	6,33	5,90
09/04/2012	6,48	11,50
09/04/2012	6,42	5,60

12/04/2012	6,35	9,00
18/04/2012	6,26	16,00
23/04/2012	7,71	14,60
03/05/2012	7,09	11,20

### Anexo 7. Precipitación promedio mensual de la estación Iñaquito

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
1982	96,7	73,8	103,6	148,3	158,8	5,5	38	2,7	66,6	195,5	149,5	207,6
1983	95,7	70,1	254,7	209,5	115,2	26,8	6	69,6	11,1	74,9	85,1	218,6
1984	72,5	237	93,2	217	70,9	26,2	10,2	39	163,7	143,8	95,8	21,7
1985	57,9	NA	NA	116,4	107,2	NA	NA	NA	NA	62,2	NA	NA
1986	92,7	111,9	153,3	154,8	86	14	0	6	27,6	86,8	116	70,1
1987	70	53,8	116,2	136,3	129,4	40,2	18,3	10,6	66,1	103,7	8	4,5
1988	75,1	118	25,2	297,8	114	100,2	44,8	50,4	138,9	109,5	128,8	63,5
1989	56,3	113	158,8	120,8	65,4	64,6	9,3	36,7	108,8	191,2	13,9	40,2
1990	46,6	150,2	79,7	123,3	19,7	21,1	15,4	37,1	27,8	246,8	39,9	46,8
1991	96,7	48,6	232,9	84	104,9	30	16,1	2,9	69	37,2	134,9	44,3
1992	51,3	68,7	105	96,1	127,6	14,3	17,9	14,7	109,9	78,3	107,4	45,2
1993	111,4	219,3	235,2	228,1	94,6	12,7	8,2	3,3	96	72	128,5	177
1994	193,4	112,2	244,4	201,1	103,2	0,9	2,9	3,4	27,9	90,2	186,8	79,9
1995	14,9	85,2	118,7	158,4	155,4	97,5	42,5	83,9	5,7	152,7	232,4	77,8
1996	146,5	138,3	181,8	199,4	189,4	37,2	29	83,2	84,5	169,4	14,4	47,7
1997	140,9	13,2	167,7	83,2	65,9	58,8	0	0	108,6	152,7	219,2	120,3
1998	58,1	86,5	127,5	143,9	193,9	14,5	32,2	18,8	58,8	103,6	138,6	32,6
1999	81,6	237,2	185,3	234,1	70,1	126,6	25,1	24,8	136,3	87,1	101	221,2
2000	177,3	165,8	149,5	187,6	123,8	66,4	22,1	9,7	67,3	43,8	16,7	76,1
2001	84,1	63,9	186,4	63,1	88,8	8,5	35	0	94,6	9,3	113,6	118,1
2002	36,6	59,1	123,1	256,6	133,1	37,3	8,2	9,8	19,2	144,6	95	152,9
2003	25,4	79,1	100,9	244,6	28,7	54,1	15,7	NA	67,8	117,7	159,4	103,2
2004	56	34,4	75,2	156,3	113,8	11	6,7	0,6	97,6	98,8	125,5	94,8
2005	37,9	150,6	134,3	84,2	37,7	31,8	53,4	26,8	35,6	116	58,4	115,1
2006	52,3	105,2	202,5	209,5	113,6	50,2	3,1	3,5	35,6	109,5	182,4	183
2007	66,2	67,5	177,2	188,1	101	22,2	12,5	33,4	3	160,1	194,7	NA
2008	156,5	218,4	188,8	203,8	171,3	56,5	12,3	37	58,7	235,3	72,4	121,2
2009	165,8	141,5	173,8	161,3	62,7	35	2,6	1	7,4	69,4	71,3	120
2010	4,6	46	26,5	220,4	NA	34,5	93,6	59,4	87,8	51,8	167,6	181,7
2011	82,4	182,5	145,8	372,9	55,2	28,5	117	48,9	73,3	54,8	65,7	107
2012	158,9	125,3	NA	203,4	40,2	21,4	1,8	2,6	12,5	133,8	NA	NA

### Anexo 8. Calculo de la desviación estándar de la precipitación

<b>Sumatoria</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>VARIANZA</b>	
1246,6	103,88	142,86	
1237,3	103,11	124,93	
1191	99,25	53,57	
343,7	85,93	36,07	
919,2	76,60	235,04	
757,1	63,09	831,70	
1266,2	105,52	184,57	
979	81,58	107,07	
854,4	71,20	429,77	
901,5	75,13	282,44	
836,4	69,70	494,21	
1386,3	115,53	556,68	
1246,3	103,86	142,26	
1225,1	102,09	103,24	
1320,8	110,07	328,91	
1130,5	94,21	5,19	
1009	84,08	61,58	
1530,4	127,53	1267,53	
1106,1	92,18	0,06	
865,4	72,12	392,60	
1075,5	89,63	5,32	
996,6	90,60	1,77	
870,7	72,56	375,30	
881,8	73,48	340,31	
1250,4	104,20	150,53	
1025,9	93,26	1,78	
1532,2	127,68	1278,24	
1011,8	84,32	57,98	
973,9	88,54	11,52	
1334,2	111,18	370,66	
699,9	77,77	200,63	
	<b>PROMEDIO</b>	<b>SUMATORIA</b>	<b>D. ESTANDAR</b>
	<b>91,93</b>	<b>8574,32</b>	<b>16,91</b>