

# **Diseño de un sistema de recolección y almacenamiento de agua lluvia para riego de jardines externos, huerto ecológico e inodoros en la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.**

Carolina Abigail Marcial Gallardo. Universidad Internacional SEK. Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. 4 de agosto del 2016.

## **Resumen**

El cambio climático está ligado a la sobre explotación de recursos naturales, el uso excesivo de agua para actividades de uso doméstico y de riego hacen que exista una sobre demanda de agua, lo cual va a ser más evidente conforme avance el tiempo y las necesidades del ser humano crezcan. Para mitigar este problema se propone el aprovechamiento de agua lluvia con fines de riego y utilización en inodoros en la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK ubicada en el campus Miguel de Cervantes. Los sistemas se diseñaron en base a un análisis histórico de precipitaciones utilizando la estación meteorológica de la Universidad Internacional SEK, con el propósito de ahorrar y sustituir agua potable por agua de lluvia ahorrando de esta manera este valioso recurso. En cuanto a los beneficios se puede decir que el sistema para el huerto ecológico abastecería las necesidades de riego, para el sistema de abastecimiento para inodoros abastecería un 12.84% debido a que las precipitaciones son bajas en el área.

**Palabras clave:** precipitación, escorrentía, sistemas de almacenamiento.

## **Abstract**

Climate change is linked to over-exploitation of natural resources, excessive use of water for activities household and irrigation mean that there is an over-supply of water, which will become more evident as time goes on and needs of the human being grow. To mitigate this problem, the use of rain water for irrigation and use in toilets at the Faculty of Natural and Environmental Sciences at the International University SEK located in the Miguel de Cervantes campus is proposed. The systems are designed based on a historical analysis of rainfall using the weather station SEK International University, in order to save and replace drinking water by rainwater thus saving this valuable resource. As for the benefits it can be said that the system would cater for the organic garden irrigation needs for the supply system for toilets would supply 12.84% because rainfall is low in the area.

**Keywords:** Precipitation, runoff, storage systems

## **Introducción**

### **Antecedentes**

El agua es el recurso natural más importante para la vida dentro del planeta, pues es difícil que alguna actividad se pueda realizar sin ella.

Las actividades antropogénicas como la contaminación, deforestación y la sobreexplotación han causado una gran problemática a la calidad de este recurso.

En el Ecuador, la gestión del recurso hídrico es una tarea prioritaria y permanente que debe realizarse en todo el territorio con miras a racionalizar su conservación y el mejor aprovechamiento (CEPAL, 2012)

La recolección de agua lluvia es una alternativa viable a los sistemas de distribución para el suministro de agua y han sido empleados por culturas pre-hispánicas (Sanabria & Pérez, 2012, p 17)

Algunas cuestiones sobre las que se puede actuar para implementar un uso sustentable del agua, es la reutilización del agua de lluvia recogida en las cubiertas como techos y terrazas de los establecimientos, para usos como el riego de jardines, limpieza de espacios comunes en edificios y sanitarios (CEPAL, 2012)

### **Necesidad y Actualidad**

El Distrito Metropolitano de Quito se encuentra en una situación de vulnerabilidad en cuanto al abastecimiento de agua. El consumo de agua potable en Quito es alto y no logra bajar los 200 litros diarios por habitante, consumo que en verano asciende a 220 litros diarios per cápita.

La EPMAPS monitorea permanentemente los niveles de los embalses para prever si los caudales permitirán atender la demanda. Actualmente la demanda de la ciudad es de 8 m<sup>3</sup>/s cuando la demanda debe ser de 7.5 m<sup>3</sup>/s (EPMAPS, Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - Agua de Quito, 2015)

### **Problema científico**

Cómo resolver el suministro de agua con fines de riego y utilización en inodoros, para la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

### **Hipótesis de trabajo**

El diseño del sistema de recolección de agua lluvia, cubre las necesidades de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, en cuanto a riego.

### **Muestra**

Se tomaron muestras de precipitación y de agua de escorrentía en diferentes puntos del Campus Miguel de Cervantes, estas muestras sirvieron para caracterización de agua. Los parámetros para analizar en laboratorio que fueron los expedidos en el Acuerdo Ministerial 097, y se comparó con los máximos permisibles de la Tabla 3: Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego.

En base a lo anteriormente mencionado se investigó y diseñaron dos sistemas de recolección de agua de lluvia con los que es posible ahorrar agua potable en la Universidad Internacional SEK, Campus Miguel de Cervantes.

## **Materiales y Métodos**

### **Procedimientos de campo**

Se recogieron muestras de agua de lluvia, en diferentes puntos del Campus Miguel de Cervantes con el fin de analizarlas en el laboratorio para determinar las características químicas, físicas y biológicas, en base a muestras compuestas con volúmenes iguales, hasta obtener 2 L de agua de lluvia, por cada día de lluvia dando un total de 3 muestras con diferentes fechas cada una:

- 25 de mayo del 2016
- 27 de mayo del 2016
- 30 de mayo del 2016

Los puntos de muestreo se determinaron mediante la observación y con la ayuda de mapas topográficos del campus Miguel de Cervantes y en lugares donde la impermeabilización del terreno provocaba que el agua se empoce, los puntos de muestreo fueron:

- Cancha de Básquet
- Huerto Ecológico
- Escaleras de Emergencia de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales
- Cunetas de la entrada principal del Campus Miguel de Cervantes

En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Algunas veces el término "compuesta en tiempo (time-composite)" se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. (Calderon, 1997) & (Ramalho, 2003)

### **Procedimientos de oficina**

Se recopilaron datos de precipitación de los últimos 15 años del 2000 al 2015 del INAMHI, estación Quito - Iñaquito y de la estación meteorológica de la Universidad Internacional SEK en el campus Miguel de Cervantes de los últimos 3 años del 2014 al 2016, con el fin de hacer un análisis comparativo de los datos. Se elaboraron diagramas de evapotranspiración y balances hídricos del suelo.

En los datos obtenidos de la estación meteorológica de la Universidad Internacional SEK, se tuvo que completar las series de los años 2014 y 2015, una vez completados estos datos se calcula el valor de la media, desviación estándar y error absoluto, para obtener el análisis comparativo de las estaciones meteorológicas de Quito-Iñaquito y Quito Carcelén de la estación de la Universidad Internacional SEK.

En cuanto al cálculo de la evapotranspiración se utilizó la fórmula de Thornthwaite, los cálculos están basados en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes

este cálculo se desarrolló mediante un programa de Excel por la Universidad de Salamanca – España aplica dicha fórmula.

Para la cantidad de agua consumida por los estudiantes y docentes de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales primero se obtuvieron las planillas de consumo total de los meses de marzo, abril y mayo del campus Miguel de Cervantes, luego se obtuvo el número total de estudiantes y docentes en toda la Universidad Internacional SEK dando un total de 1 617 personas, el número total de estudiantes y docentes de la Facultad es de 300 y se hace una regla de tres simple para sacar el consumo de agua y finalmente se dividió la cantidad de agua consumida por toda la Facultad para el número total de docentes y alumnos de la Facultad.

### **Procedimientos de Laboratorio**

Se realizó la caracterización del agua de lluvia para determinar las características físicas, químicas y biológicas. Para lo cual se basó en la Tabla 3: Criterios de Calidad de aguas para riego agrícola, también se utiliza la Tabla 4: Parámetros de los niveles de calidad de agua para riego.

- pH, adimensional: Método de análisis, Sonda multiparámetros
- Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ): Método de análisis, Sonda multiparámetros
- Salinidad ( $\text{m}\Omega/\text{cm}$ ): Método de análisis, Sonda multiparámetros
- Sólidos sedimentables ( $\text{mm}/\text{L}$ ): Método APHA 2540F
- Sólidos disueltos ( $\text{mg}/\text{L}$ ): Método APHA 2540 D
- Oxígeno disuelto ( $\text{mg}/\text{L}$ ): Método de análisis, Sonda multiparámetros
- Cloruros ( $\text{mg}/\text{L}$ ): Método APHA 4500  $\text{Cl}^- \text{F}$ .
- Sulfatos ( $\text{mg}/\text{L}$ ): Método APHA 8051  $\text{SO}_2$
- Nitritos ( $\text{mg}/\text{L}$ ): Método APHA 8039  $\text{NO}_2$
- Coliformes Fecales (NPM). Método APHA part 9000
- Aceites y grasas: criterio de calidad visible o ausencia.
- Materia flotante: criterio de calidad visible o ausencia.

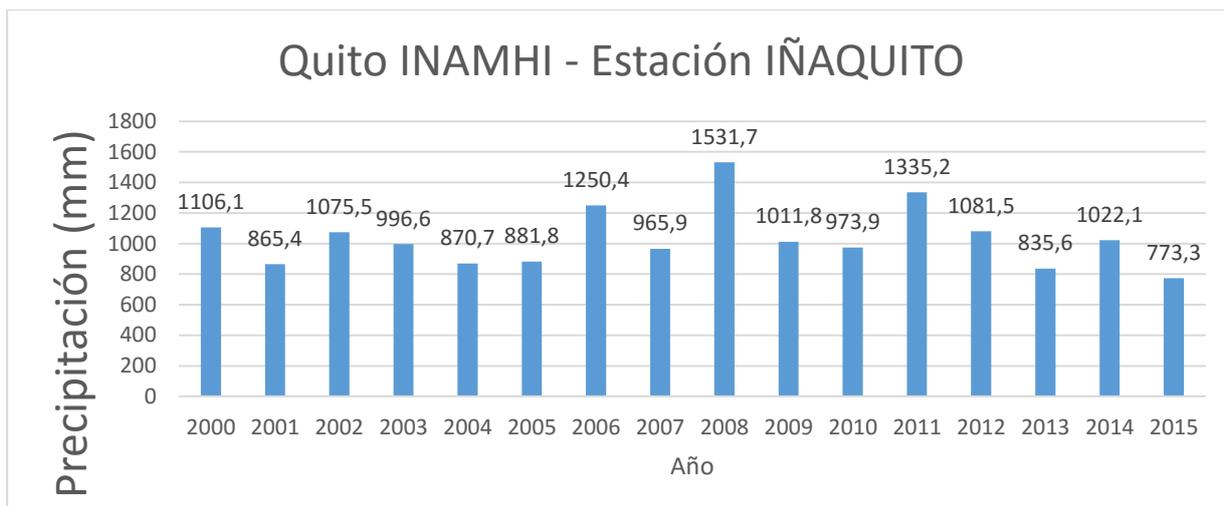
Los materiales a utilizar dependen del parámetro analizado.

### **Resultados**

#### *Cálculos realizados con precipitación*

En cuanto a precipitación, los datos obtenidos del INAMHI fueron los siguientes:

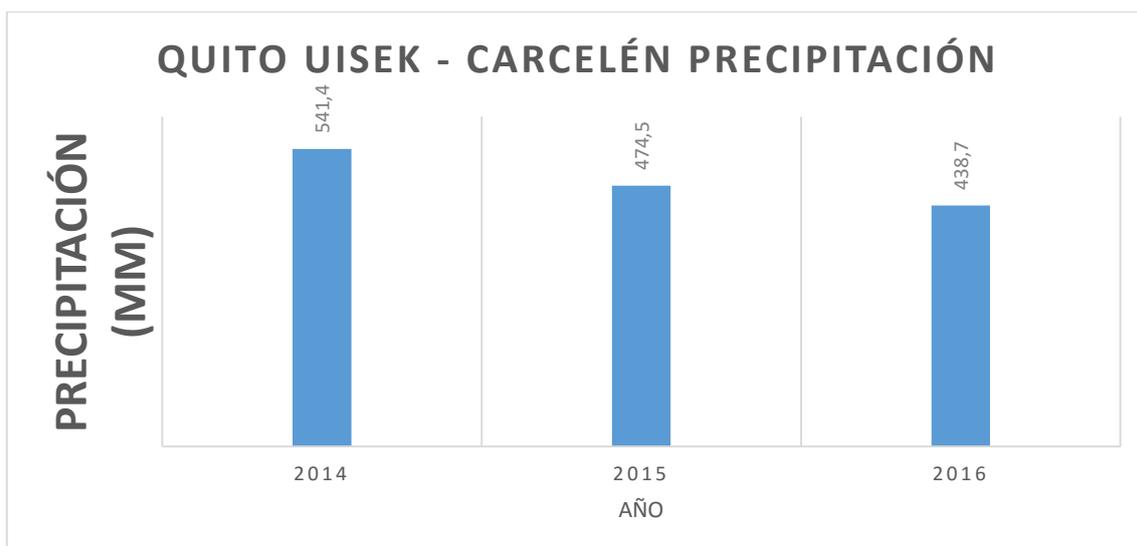
*Gráfico 1: Precipitación Anual 2000 – 2015 estación meteorológica Iñaquito INAMHI.*



Elaborado por: Carolina Marcial, 2016

Como se observa en el gráfico 1, el año donde se registra mayor precipitación es el 2008, con un total de 1531.7 mm.

*Gráfico 2: precipitación anual 2014-2016. Estación Meteorológica UISEK*



Elaborado por: Carolina Marcial, 2016

Como se puede apreciar en el gráfico 2 el año de mayor precipitación es el 2014 con un total de 541.4 mm.

A partir de los datos de precipitación de las estaciones Iñaquito y Carcelén se calcularon valor de la media, desviación estándar y error absoluto, para obtener el análisis comparativo de las estaciones meteorológicas de Quito-Iñaquito y Quito-Carcelén.

*Tabla 1: Comparación de valores de precipitación registrados en el 2015*

	UISEK	IÑAQUITO
Enero (mm)	53,8	63,3
Febrero (mm)	63,0	112,8

Marzo (mm)	126,4	177,4
Abril (mm)	61,8	102,8
Mayo (mm)	2,6	30,8
Junio (mm)	0,8	2,5
Valor media (mm)	57,8	83,05
Desviación estándar (mm)	46,5	62,9
Error absoluto (mm)	6,4	1,5
Error relativo (%)	0,11	0,02
Error porcentual (%)	11,1	1,7

Elaborado por: Carolina Marcial,2016

En la tabla 1, con respecto a la desviación estándar está muy alejada del valor de la media por eso tenemos un valor alto en ambos valores de precipitación, es decir podemos observar la distancia que existe entre cada valor de precipitación. El error absoluto nos indica el valor real de la precipitación y el valor que se midió, el error de la estación de la Universidad Internacional SEK, es más elevado esto puede ser debido al equipo y a la precisión que este tenga, lo cual también se ve reflejado en el error porcentual. El error relativo en los datos obtenidos de la Universidad Internacional SEK, es elevado con respecto a la estación Quito-Iñaquito, esto nos indica que tan simétricos son los datos alrededor del valor promedio.

#### *Cálculo de Evapotranspiración y Balances hídricos*

Tabla 2: Cálculo de la ETP mensual mediante Thornthwaite

<b>Cálculo de la ETP mensual mediante la fórmula de Thornthwaite</b>														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	<b>Total</b>
<b>Temperatura</b>	14,7	14,9	14,8	14,7	14,7	14,8	15,05	15	14,9	15	15,05	15,2	<b>14,7</b>	<b>178,85</b>
I	5,14	5,24	5,17	5,14	5,12	5,17	5,30	5,28	5,22	5,28	5,30	5,36	5,14	<b>62,71</b>
ETP sin corr (mm/mes)	56,6	57,8	57,0	56,6	56,4	57,0	58,4	58,1	57,6	58,1	58,4	59,0	56,6	
n° días mes	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31,0	
<b>n° horas luz</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	
ETP corr.(mm)	<b>59,0</b>	<b>54,8</b>	<b>59,4</b>	<b>57,1</b>	<b>58,8</b>	<b>57,5</b>	<b>60,9</b>	<b>60,6</b>	<b>58,0</b>	<b>60,6</b>	<b>58,9</b>	<b>61,5</b>	<b>59,0</b>	<b>707,0</b>
<b>a=</b>	<b>1,4794</b>													

Elaborado por: Carolina Marcial,2016

Adaptado de: Sánchez, 2010

Para calcular el balance hídrico del suelo de la Universidad Internacional SEK, se usó modelo de cálculo de Balance Hídrico del suelo desarrollado por la Universidad de Salamanca, este

utiliza tres parámetros principales; la precipitación (mm), ETP corregida (mm) y la reserva máxima de agua (mm). La precipitación es obtenida de los datos de la Universidad Internacional SEK para esto se hizo un promedio de los años 2014-2016, la ETP corregida que fue tomada del cálculo mensual mediante la Fórmula de Thornthwaite del modelo adaptado de la Universidad de Salamanca, para este cálculo se tomó la temperatura anual promedio de los años 2014-2016, y por último la reserva máxima de agua dada en mm para 30 mm, 50 mm, 100 mm y 120 mm.

*Tabla 3: Resultado de los balances hídricos.*

Reservas (mm)	Resultados
30	Mayores déficits de agua en julio, agosto. El mayor excedente en octubre, seguido de mayo, abril y noviembre.
50	Mayor déficit de agua se presenta en julio y agosto, el mayor excedente en mayo y octubre.
100 y 120	Los valores se mantienen constantes, por lo tanto, el mayor déficit está en julio y agosto. La mayor reserva de agua en octubre y diciembre, no existen excedentes de agua por lo tanto el agua es aprovechada en su totalidad.

Elaborado por: Carolina Marcial, 2016

#### *Consumo de agua de la Universidad Internacional SEK, campus Miguel de Cervantes*

*Tabla 4: Población y consumo de agua potable en el campus Miguel de Cervantes*

Población Total UISEK	Consumo de agua en m <sup>3</sup>	
1617	Marzo	496
	Abril	535
	Mayo	789

Elaborado por: Carolina Marcial, 2016

De la misma manera se realizó un conteo de docentes y alumnos de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales (FCNA)– UISEK. Y se realizan los respectivos cálculos matemáticos para tener un aproximado consumo de agua en la Facultad

*Tabla 5: Población y consumo real de agua potable en la facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.*

Población Total FCNA	Consumo de agua en m <sup>3</sup>		Cantidad de Agua consumida por persona m <sup>3</sup>	Cantidad de Agua consumida por persona (L)
300	Marzo	92,02	0,31	310
	Abril	99,2	0,33	330
	Mayo	146,38	0,49	490

Elaborado por: Carolina Marcial, 2016

La cantidad de agua potable usada para los sanitarios es de 4 litros por estudiante, en un día 16 litros por persona; el agua potable usada para el riego del Huerto Ecológico es de 2 L x m<sup>2</sup> x día, en el huerto tiene un área de 44 m<sup>2</sup>, si se riega 2 veces por semana, entonces para riego del huerto ecológico se utiliza 0.176 m<sup>3</sup> mensuales es decir anualmente necesitaríamos 2.115 m<sup>3</sup> de agua de agua para riego del huerto ecológico.

Si los gastos teóricos mensuales de agua en la Facultad de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales (FCNA) son los siguientes

Tabla 6: Gasto teórico de agua en la FCNA

Gasto teórico mensual agua en m <sup>3</sup>		Inodoros + riego en m <sup>3</sup>
Inodoros	111,6	112
Riego	0,176	

Elaborado por: Carolina Marcial Gallardo, 2016

#### *Sistema de captación de agua de lluvia para el riego del Huerto Ecológico*

El principal aporte de agua para la obra es la que baja por la cuneta, debido a que se aprovecha la gravedad para captar el agua de lluvia. La obra se beneficia de la ubicación del tanque y su capacidad de almacenamiento.

Se desviarán el caudal de la cuneta para llenar el tanque de almacenamiento, tomando en cuenta precipitaciones extremas, cuando el tanque se encuentre en su capacidad máxima se cerrará la entrada de agua, desviando el agua hacia el alcantarillado.

El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 1 m<sup>3</sup>, para la distribución final del agua se conectarán las mangueras al tanque de almacenamiento y se instalarán las tuberías de riego por goteo.

El agua se recoge de la cuneta mediante un tubo PVC, seguido de una rejilla para remover la materia flotante que tenga un tamaño de partícula de 20 mm, el agua ingresa al tanque por la

parte inferior con el fin de sedimentar las partículas como tierra y sale por la parte de arriba del tanque.

*Sistema de captación de agua de lluvia para uso en inodoros de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.*

La captación del agua de lluvia para los inodoros se realizará mediante pavimentos permeables, cuyas características para el caso de la Universidad Internacional SEK, debe ser un pavimento permeable que tenga un espesor mínimo de 6 a 20 mm en función de un CBR de 203 debido a las características del suelo y se lo ubica en la categoría de carga 5 debido a sus características de carga vehicular en el área donde se implementará el sistema.

En cuanto al sistema de recolección, se implementará un conjunto de tubos flauta que recoja el agua filtrada por los pavimentos a lo largo del parqueadero, este sistema desembocará en un tanque de almacenamiento, el agua ingresará por la parte inferior del tanque y saldrá por la parte superior y será transportado con ayuda de una bomba de 4 Hp hasta la facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

*Análisis costo – beneficio*

*Tabla 7: Consumo de agua de la Universidad Internacional SEK*

Consumo de agua en m <sup>3</sup>		USD
Marzo	496	2204,95
Abril	535	959,95
Mayo	789	2865,57
PROMEDIO	607	2010

Elaborado por: Carolina Marcial Gallardo, 2016

Aplicando una regla de tres se obtienen los valores de consumo de agua en m<sup>3</sup> y en dinero de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

*Tabla 88: Consumo de agua en la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales en m<sup>3</sup> y en USD*

Gasto real mensual FCNA m <sup>3</sup>		USD
Marzo	92,02	409,08
Abril	99,23	178,07
Mayo	146,38	531,56
PROMEDIO	113	372,90

Elaborado por: Carolina Marcial Gallardo, 2016

Si los gastos teóricos mensuales de agua en la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales son los siguientes

Tabla 99: Gasto teórico de Agua en la FCNA

Gasto teórico mensual agua en m <sup>3</sup>		Inodoros + riego en m <sup>3</sup>
Inodoros	111,6	112
Riego	0,176	

Elaborado por: Carolina Marcial Gallardo, 2016

Si el área de captación es de 900 m<sup>2</sup> y para los inodoros se necesita 111.6 m<sup>3</sup> mensual promedio, para el mes más lluvioso que es octubre 2015 con 86.6 mm en la Universidad Internacional SEK, campus Miguel de Cervantes teniendo el valor de relación:

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ L} / \text{m}^2$$

Se podría captar un total de 86.6 L / m<sup>2</sup> multiplicado por el área de captación 900 m<sup>2</sup>

$$= 86.6 \text{ L} / \text{m}^2 * 900 \text{ m}^2$$

$$= 77\,940 \text{ L}$$

$$= 77.94 \text{ m}^3 \text{ de agua captada}$$

$$607 \text{ m}^3 \text{ de agua consumo promedio FCNA} \longrightarrow 100\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$77.94 \text{ m}^3 \text{ de agua captada} \longrightarrow x\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$X = 12.84\% \text{ de H}_2\text{O}$$

El sistema abastecería al 12.84 % de las necesidades de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

Para sacar el valor monetario utilizamos la anterior relación

$$100\% \text{ de H}_2\text{O} \longrightarrow \$ 2.010 \text{ USD}$$

$$12.84\% \text{ de H}_2\text{O} \longrightarrow x \text{ USD}$$

$$x = 258.08 \text{ USD}$$

Ese es el valor de costo que se ahorraría mensualmente a la Universidad Internacional SEK por la implementación del sistema de recolección para inodoros.

## Discusión y Conclusiones

- Los meses de mayor precipitación según los datos del INAMHI son marzo, abril, octubre y noviembre a comparación de los meses de mayor precipitación según los datos de la Universidad Internacional SEK son marzo, abril, mayo octubre y noviembre.
- En cuanto al análisis de datos comparativos de las dos estaciones, se dice que el error absoluto y relativo de la estación meteorológica es más alto a comparación de los datos de Iñaquito, esto se ve reflejado en el error porcentual, ya que la estación de la Universidad es de 11.1% y el de Quito Iñaquito es de 1.7%
- La evapotranspiración refleja el agua que sale de la vegetación hacia el ambiente, los meses que más EPT tuvieron fueron los de julio y agosto, esto se debe al verano que tiene sus valores más altos en esos meses.
- Los balances hídricos son un reflejo del ingreso de agua y de la salida de la misma. Y se pueden interpretar de la siguiente manera: entre ETP y ETR existe un déficit de agua; cuando la precipitación P está por encima de la ETR los datos corresponden a almacenamiento en reserva y excedentes; y finalmente si la ETR está por encima de la precipitación las reservas del suelo se han consumido.
- La Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales consume un total del 19% del agua utilizada en toda la Universidad Internacional SEK.
- El aprovechamiento de agua de lluvia para el huerto Ecológico cubre las necesidades hídricas del mismo. El costo de la aplicación del sistema de recolección para el huerto es de 1862 USD. Sin contar con materiales extra y mano de obra.
- La capacidad volumétrica para la utilización de agua lluvia en inodoros debe ser de 3.72 m<sup>3</sup>/ diarios.
- El sistema de recolección de agua de lluvia para utilización en inodoros cubre las necesidades de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales en un 12.84%.
- El sistema de recolección de agua de lluvia para el Huerto Ecológico, abastece las necesidades un 100%.

## Bibliografía

- Acuerdo Ministerial 097. (14 de Noviembre de 2015). *http://www.ambiente.gob.ec*.  
Obtenido de Ministerio del Ambiente: *http://www.ambiente.gob.ec/biblioteca/*
- Calderon, C. (1997). *Laboratorio de Química Ambiental Ideam*. Obtenido de Toma y preservación de muestras:  
*http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\_De\_Aguas/Toma\_De\_Muestras.htm*
- EPMAPS. (28 de Septiembre de 2015). Obtenido de Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - Agua de Quito  
*http://www.aguaquito.gob.ec/consumo-de-agua*
- Sánchez, J. (Octubre de 2010). *Departamento de Geología. Universidad de Salamanca*. Obtenido de Evapotranspiracion: *http://diarium.usal.es/javisan/hidro*
- Ramalho, S. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Quebec: Reverté, S. A.
- INAMHI. (14 de Agosto de 2014). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de  
*http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/inf%20gestion/Revista%20Inamhi%2053%20a.pdf*