

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Disponibilidad Hídrica Pluvial en el campus USFQ

María Emilia Mariño Cárdenas

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Civil

Quito, 14 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Disponibilidad Hídrica Pluvial en el campus USFQ

María Emilia Mariño Cárdenas

Nombre del profesor, Título académico

Sixto A. Durán-Ballén, PhD.

Quito, 14 de mayo de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: María Emilia Mariño Cárdenas

Código: 00206198

Cédula de identidad: 1725253817

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi mamá, Silvia, por ser mi principal fuente de inspiración. Gracias por siempre apoyarme en cada paso de mi vida. Tu eres el motor que me impulsa a seguir cada día, te agradezco por enseñarme a ser perseverante y ayudarme a alcanzar mis sueños. A mi segunda mamá, Mami Yoli, por ser el pilar fundamental en mi vida y de mi formación académica, por todas sus enseñanzas y amor. A mi papá, Mario, gracias por tus palabras de aliento y consejos, por acompañarme en todos mis eventos y darme la seguridad y confianza para seguir. A mi familia, por creer en mi y ser mi equipo de apoyo. Y a mis amigos, por haberme respaldado y motivado. Este logro no solo es mío, sino de todos ustedes. Gracias por su cariño y apoyo constante.

Quisiera también agradecer a mi tutor, Sixto, quien me ha guiado a lo largo de todo este proceso. A los profesores de la carrera de Ingeniería Civil de la USFQ por sus conocimientos impartidos y al departamento de sostenibilidad de la USFQ, a Juan Sebastián Proaño por la oportunidad de realizar este estudio.

RESUMEN

El agua lluvia ha sido utilizada por más de miles de años como alternativa de abastecimiento de agua principalmente en zonas áridas y secas. En la actualidad millones de personas no tienen acceso a servicios de agua potable debido al aumento de la población, el cambio climático y la contaminación de diversas fuentes causadas por actividades humanas. Como resultado este recurso se ha vuelto cada vez más escaso. Es por esto que los sistemas de recolección de agua lluvia (SCALL) son cada vez más considerados como una alternativa a los sistemas de abastecimiento de agua tradicionales, especialmente para usos no potables.

En el campus USFQ el uso de agua potable es considerable debido a las diversas actividades que se llevan a cado y al gran número de usuarios. Para proponer un consumo más consciente con el ambiente, se plantea utilizar el agua lluvia mediante un sistema de captación de agua lluvia en techos (SCAPT) para utilizarla en: riego, descarga de sanitarios y limpieza. En este estudio se determinó la viabilidad del uso de agua lluvia como alternativa de fuente hídrica. Para lo cual se realizó un estudio hidrológico, medición de áreas de techos, determinación del caudal de esorrentía mediante el método racional y un balance hídrico de acuerdo con la demanda de agua en el campus. Este proyecto permite ahorrar agua potable, generar ahorros económicos, fomentar la concientización del consumo de agua y contribuir al manejo sostenible de este recurso vital.

Palabras clave: agua pluvial, estudio hidrológico, superficie de techos, balance hídrico, sistemas de captación de agua lluvia

ABSTRACT

Rainwater has been used for over thousands of years as an alternative water supply, particularly in arid and dry areas. Currently, millions of people lack access to potable water due to population growth, climate change, and pollution of various sources caused by human activities. As a result, this resource has become increasingly scarce. Therefore, rainwater harvesting systems (RWHS) are increasingly being considered as an alternative to traditional water supply systems, especially for non-potable uses.

At the USFQ campus, the use of potable water is significant due to the various activities and large number of users. To propose a more environmentally conscious consumption, the use of rainwater through a rainwater harvesting system on roofs (RHSR) is suggested for irrigation, toilet flushing, and cleaning purposes. This study aimed to determine the viability of rainwater as an alternative water source. It involved a hydrological study, measurement of roof areas, determination of runoff flow using the rational method, and a water balance according to the campus' water demand. This project allows for saving potable water, generating economic savings, promoting water consumption awareness, and contributing to the sustainable management of this vital resource.

Key words: rainwater, hydrological study, roof area, water balance, rainwater harvesting systems

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Metodología	5
Desarrollo del Tema	6
Marco Teórico	6
Estudio Hidrológico	6
Oferta Hídrica	6
Método Racional	6
Disponibilidad Hídrica Pluvial en campus USFQ	7
Áreas de drenaje	7
Intensidad de lluvia	17
Coeficiente de Escorrentía	21
Caudal de Escorrentía	23
Análisis bibliográfico	28
Análisis internacional	28
Análisis nacional	30
Usos de agua potable en campus USFQ	33
Consumo de agua potable en campus USFQ	33
Propuestas y alternativas para el uso de agua lluvia	34
Análisis de la Oferta	37
Análisis de la oferta hídrica pluvial para riego	40
Áreas verdes principales en campus USFQ	40
Análisis de la oferta hídrica pluvial para riego durante invierno:	44
Análisis de la oferta hídrica pluvial para riego durante verano:	45
Análisis económico y sostenible del uso de agua lluvia para riego	46
Análisis de la oferta hídrica pluvial para descarga de sanitarios	47
Análisis económico y sostenible del uso de agua lluvia para descarga de sanitarios	49
Análisis de la oferta hídrica pluvial para limpieza	50
Análisis económico y sostenible del uso de agua lluvia para limpieza	55
Sistemas de captación de agua lluvia	57
Diseño de un sistema de captación de agua pluvial en techos	59
Área de captación	59
Recolección y conducción	59
Interceptor de primeras aguas	60
Filtros	62
Tanque de almacenamiento	62
Volumen de tanques de almacenamiento para riego	63
Volumen de tanques de almacenamiento para sanitarios	65
Volumen de tanques de almacenamiento para limpieza	66
Conclusiones	67
Recomendaciones	70
Referencias bibliográficas	71
Anexo A: Consumos residenciales típicos	73
Anexo B: Consumos típicos de los sectores comercial e industrial	73

Anexo C: Balance hídrico para limpieza de cada edificio/techo	74
Anexo D: Coeficiente de manning.....	77
Anexo E: Consumo semanal de limpieza por edificio.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Áreas y perímetros techos y laguna campus USFQ.....	16
Tabla 2. Precipitaciones mensuales desde 1994 hasta 2022	17
Tabla 3. Valor anual total de las precipitaciones (mm) desde 1994 hasta 2022.....	19
Tabla 4. Precipitaciones Promedio Mensual.....	21
Tabla 5. Coeficientes de escorrentía para determinar el caudal de escorrentía en campus USFQ.....	22
Tabla 6. Caudal de Escorrentía de la Laguna del primer semestre del año	23
Tabla 7. Caudal de Escorrentía de la Laguna del segundo semestre del año.....	23
Tabla 8. Caudal de Escorrentía anual de la Laguna.....	23
Tabla 9. Caudal de Escorrentía de los techos del primer semestre del año	24
Tabla 10. Caudal de Escorrentía de los techos del segundo semestre del año.....	25
Tabla 11. Caudal de Escorrentía anual de los techos.....	26
Tabla 12. Cantidades de consumo de agua potable sugeridas	34
Tabla 13. Matriz de usos de agua pluvial por edificio/techo	36
Tabla 14. Balance hídrico de agua lluvia recolectada de techos.....	38
Tabla 15. Distribución de consumo de agua potable y alternativas para su ahorro.....	39
Tabla 16. Áreas verdes y obtención de agua lluvia por zona.....	42
Tabla 17. Disponibilidad hídrica pluvial para riego	43
Tabla 18. Balance hídrico para riego durante invierno.....	45
Tabla 19. Balance hídrico para riego durante verano	45
Tabla 20. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para riego	46
Tabla 21. Balance hídrico para sanitarios	49
Tabla 22. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para descarga de sanitarios.....	50
Tabla 23. Consumo de agua potable para limpieza	51
Tabla 24. Consumo ajustado de agua potable para limpieza	52
Tabla 25. Balance hídrico para limpieza de todo el campus.....	53
Tabla 26. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para limpieza.....	55
Tabla 27. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para limpieza por mes considerando las especificaciones de cada edificio.....	56
Tabla 28. Volumen de tanque(s) para interceptar primeras aguas.....	61
Tabla 29. Volumen de tanques.....	63
Tabla 30. Volumen de tanque de almacenamiento para riego	63
Tabla 31. Demanda semanal para riego	64
Tabla 32. Volumen de tanques sugeridos para captación de agua lluvia en riego.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Techo Coliseo Alexandros	7
Figura 2. Techo Edif. Newton y Galileo.....	7
Figura 3. Techo Edif. Einstein	8
Figura 4. Techo Edif. Darwin	8
Figura 5. Techo Hall Principal y Biblioteca	8
Figura 6. Techo Edif. DaVinci.....	8
Figura 7. Techo Edif. Maxwell	9
Figura 8. Techo conexión Newton y Casa Blanca	9
Figura 9. Techo Edif. Casa Blanca	9
Figura 10. Techo Edif. Casa Tomate y Casa Corona.....	9
Figura 11. Techos Clínica Odontológica e IMC	10
Figura 12. Techo Edif. Epicuro y Cicerón	10
Figura 13. Techo 1 sector Edif. Epicuro	10
Figura 14. Techo 2 sector Edif. Epicuro	10
Figura 15. Techo Edif. Espejo	11
Figura 16. Techo Entrada Hall Principal	11
Figura 17. Techo entrada edificios CHAT.....	11
Figura 18. Techo Planta Física.....	11
Figura 19. Techo 1 entrada principal	12
Figura 20. Techo 2 entrada principal	12
Figura 21. Techo Edif. Miguel de Santiago	12
Figura 22. Techo 3 alado del Edif. Miguel de Santiago	12
Figura 23. Techo 4 alado del Edif. Miguel de Santiago	13
Figura 24. Techo Edif. Aristóteles	13
Figura 25. Techo Edif. Sócrates.....	13
Figura 26. Techo Edif. Lao Tse	14
Figura 27. Techo Edif. Mozart.....	14
Figura 28. Techo Taller de Metal	14
Figura 29. Techo Herbario.....	14
Figura 30. Techo baños alado del Obelisco	15
Figura 31. Techo Pagoda	15
Figura 32. Techo Edif. Hannah Arendt.....	15
Figura 33. Laguna	15
Figura 34. Distribución de Precipitaciones para el periodo 1994-2022 (M 114)	18
Figura 35. Distribución de Precipitaciones para el periodo 2003-2013 (M 0002)	18
Figura 36. Distribución de Precipitaciones para el periodo 2014-2022 (EMA – USFQ).....	18
Figura 37. Valor anual de las precipitaciones desde 1994 hasta 2022.....	20
Figura 38. Precipitación promedio mensual	21
Figura 39. Coeficientes de escorrentía típicos	22
Figura 40. Usos de agua lluvia por países.....	29
Figura 41. Usos principales de agua potable en campus USFQ	33
Figura 42. Propuestas para el uso de agua lluvia en campus USQ	35
Figura 43. Distribución de los espacios del campus USFQ.....	35
Figura 44. Cuadrángulos	40
Figura 45. Plaza Da Vinci	40
Figura 46. Plaza Maxwell	41
Figura 47. Alrededores de la laguna	41

Figura 48. Plaza Aristóteles	41
Figura 49. Canchas volley.....	42
Figura 50. Cancha de césped	42
Figura 51. Especificaciones de riego para césped	43
Figura 52. Tarifario de agua potable.....	46
Figura 53. Componente de un sistema de captación de agua lluvia en techos SCAPT	58
Figura 54. Filtro de hojas	62

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural fundamental para la vida, importante para el desarrollo sostenible, socioeconómico, producción de energía y alimentos (WHO, 2022). La disponibilidad de fuentes hídricas en el mundo cada vez es más escasa, esta situación solo empeora debido al rápido crecimiento de la población mundial. Por lo tanto, la demanda de agua aumenta mientras que la oferta hídrica es cada vez más limitada y la calidad de esta permanece constante (UNESCO, n.d.). Además del crecimiento demográfico, la escasez de agua se debe a otros factores como el cambio climático y la contaminación de las fuentes (Agudelo, 2005). Existe una mala interpretación acerca del ciclo hidrológico, y al considerarlo un recurso renovable esto conduce al uso excesivo e inadecuado, sin mencionar la distribución heterogénea en el mundo. Alrededor de 2 200 millones de personas no tienen acceso a servicios de agua potable, más de la mitad de la población mundial no disponen de servicios de saneamiento y al menos 2 000 millones de personas viven en países que sufren escasez de agua (ONU, n.d.).

Ecuador, triplica la media internacional de acceso a fuentes hídricas. Alrededor del 92% de la población cuenta con abastecimiento de agua potable y un 86% con servicios de saneamiento; sin embargo, estos valores se distribuyen de manera desigual entre lo urbano y lo rural. Los factores geográficos, las condiciones climáticas y la biodiversidad son determinantes para el abastecimiento y distribución de agua en el país (Martínez Moscoso, 2019). No obstante, las actividades de cada región han conducido a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas de la mayoría de las fuentes del Ecuador (Izurieta et al., 2019). El uso excesivo de agua potable y el cambio climático hacen que cada vez la cantidad de este recurso sea más escaso y limitado, y el abastecimiento de agua potable más crítico.

En el campus USFQ se consume alrededor de 2350 m³ de agua potable al mes. Para disminuir el uso de agua potable en las distintas actividades del campus, se propone determinar la disponibilidad hídrica pluvial mediante sistemas de captación de agua lluvia de los techos de los edificios y de la laguna del campus. Gran parte de agua potable usada en el campus además de hidratación y servicios sanitarios es utilizada en actividades como riego, limpieza, uso de laboratorios, preparación de alimentos, entre otros. Por lo cual se propone utilizar el agua lluvia en actividades donde no se requiera el consumo de agua potable con el fin de ahorrar recursos, dinero y generar conciencia sobre el aprovechamiento de este recurso vital.

Dentro del ciclo hidrológico el agua se presenta en distintos espacios y momentos para su aprovechamiento. La lluvia puede ser una alternativa de abastecimiento y contribuir al ahorro de agua potable mediante sistemas de captación de agua lluvia. La precipitación es un flujo o proceso hídrico superficial, pero esta es discontinua y variable en el tiempo y en el espacio. En Ecuador durante los meses de febrero y mayo se presentan fuertes lluvias debido a que la corriente cálida del “El Niño” rebasa la Corriente Fría de Humboldt (Cadier et al., 1994). En Quito, se han presentado precipitaciones extremas; en Quito, el coeficiente pluviométrico C_p que relaciona temporalmente la ocurrencia de lluvias máximas dentro del periodo de enero a mayo presenta un valor mayor en el mes de abril ($C_p = 1.75$) (Villacís & Marrero de León, 2017). De igual forma se relaciona la temporada de lluvia con la estación invernal, es decir los meses de octubre, noviembre y diciembre. De acuerdo con datos meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y Estación de Mediciones Atmosféricas EMA USFQ se puede establecer el periodo de lluvias desde octubre hasta abril. Es decir, son 7 meses que se puede disponer de este recurso, pero se debe analizar la cantidad de esta y considerar que existen otros factores climáticos que pueden cambiar estos valores.

Este proyecto se enfoca en analizar y proponer el uso de agua lluvia de forma sostenible en actividades del campus USFQ basándose en revisión literaria relevantes y referencia de otras universidades, ciudades y/o proyectos para el desarrollo sostenible. Mediante un estudio hidrológico se propone estimar la disponibilidad hídrica pluvial en el campus USFQ aplicando el método racional. Con este se determinó el caudal de escorrentía de un área de drenaje de acuerdo con la precipitación promedio mensual y un coeficiente relacionado a la impermeabilidad del área de drenaje. Las áreas de drenaje a considerar en este proyecto son los techos de los edificios y la laguna del campus. Se obtuvo los valores de escorrentía, se proponen soluciones y alternativas para el uso de agua lluvia en actividades como riego y limpieza. Se analizó la viabilidad de todas las propuestas mismas que tienen por objetivo disminuir la necesidad de abastecimiento de agua en el campus USFQ y en consecuencia representar un ahorro no solo del recurso, pero también económico.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar un estudio hidrológico para determinar la oferta hídrica pluvial en el campus USFQ e implementar su uso de manera sostenible para reducir el consumo de agua potable.

Objetivos Específicos

1. Analizar la distribución temporal de la lluvia en el campus para determinar los períodos de mayor y menor disponibilidad hídrica.
2. Identificar y medir áreas de drenaje en el campus.
3. Evaluar la capacidad de retención y el flujo de drenaje de la lluvia en campus para determinar la eficiencia en la gestión de agua.
4. Identificar problemas de escorrentía y/o erosión y proponer soluciones para mejorar su gestión.
5. Revisión literaria relevante y referencias de otras universidades, ciudades y/o proyectos para el desarrollo sostenible.
6. Proponer soluciones, estrategias, campañas, acciones, etc. Para la gestión del agua en el campus y contribuir a la sostenibilidad ambiental.
7. Evaluar el costo de implementación, impacto de soluciones y alternativas propuestas.

METODOLOGÍA

1. Determinar el área de drenaje de los techos de los edificios y laguna del campus USFQ utilizando el programa Google Earth.
2. Determinar la precipitación promedio mensual mediante el análisis de datos proporcionados por la Estación de Mediciones Atmosféricas EMA USFQ y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI de la estación de Tumbaco y La Tola (M114 y M0002).
3. Calcular el caudal de escorrentía mensual mediante el método racional.
4. Proponer el uso del agua lluvia en actividades como riego, ahorro de agua potable, entre otras en el campus UFSQ.
5. Determinar y analizar la viabilidad de las propuestas.
6. Realizar un análisis económico de las posibles aplicaciones.

DESARROLLO DEL TEMA

Marco Teórico

Estudio Hidrológico

La hidrología es la ciencia que estudia el movimiento, distribución y calidad de agua, incluido el ciclo hidrológico, los recursos hídricos y la sostenibilidad ambiental de una determinada cuenca. Un estudio hidrológico analiza la oferta y la demanda de agua en una determinada área geográfica, analiza factores como precipitación, evaporación, infiltración, entre otros, la calidad del agua y el impacto en la salud y medio ambiente (Gribbin, 2014).

Oferta Hídrica

La oferta hídrica se puede entender como la cantidad disponible de agua obtenida de una fuente. Las fuentes hídricas pueden ser superficiales o subterráneas. El agua lluvia, ríos y lagos son ejemplos de aguas superficiales y los acuíferos un ejemplo de aguas subterráneas. Para determinar la oferta hídrica se deben considerar 3 factores: ubicación, calidad y cantidad. Para fuentes de abastecimiento no reguladas, se debe realizar estudios hidrológicos para garantizar el suministro, es decir que la oferta cubra la demanda (Gribbin, 2014).

Método Racional

El método racional determina la esorrentía superficial producida por la lluvia. Es recomendable utilizar este método para superficies menores a 1 300 ha. El caudal superficial producido por una precipitación es: (López Cualla, 2003)

$$Q = ciA$$

En donde:

Q = caudal superficial o de esorrentía
 c = coeficiente de esorrentía
 i = intensidad promedio de la lluvia
 A = área de drenaje

Disponibilidad Hídrica Pluvial en campus USFQ

Para determinar la oferta de agua lluvia dentro del campus USFQ, se identifican las variables del método racional: área de drenaje, intensidad de lluvia y coeficiente de escurrimiento.

Áreas de drenaje

Para determinar el área de drenaje se consideraron los techos de los edificios y la laguna del campus USFQ. Se midió cada área utilizando Google Earth. Cabe recalcar que en algunos edificios no se midió el área de terrazas ya que el objetivo es el uso y aprovechamiento del agua lluvia; por lo tanto, en terrazas donde se usan detergentes por motivos de limpieza no se consideraron dentro de las mediciones.

A continuación, se muestra la delimitación de las áreas de los techos y de la laguna:



Figura 1. Techo Coliseo Alexandros

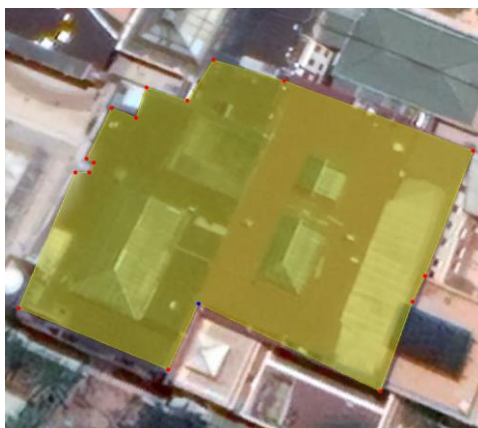


Figura 2. Techo Edif. Newton y Galileo

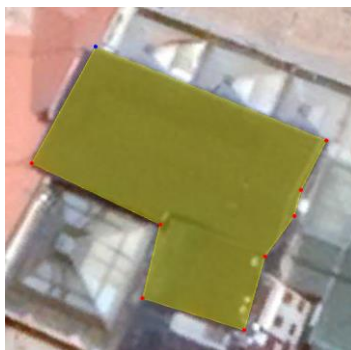


Figura 3. Techo Edif. Einstein



Figura 4. Techo Edif. Darwin



Figura 5. Techo Hall Principal y Biblioteca

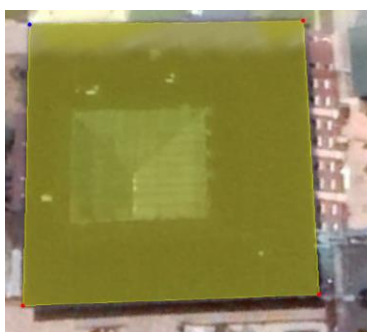


Figura 6. Techo Edif. DaVinci



Figura 7. Techo Edif. Maxwell

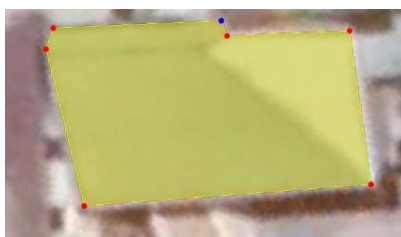


Figura 8. Techo conexión Newton y Casa Blanca



Figura 9. Techo Edif. Casa Blanca



Figura 10. Techo Edif. Casa Tomate y Casa Corona



Figura 11. Techos Clínica Odontológica e IMC

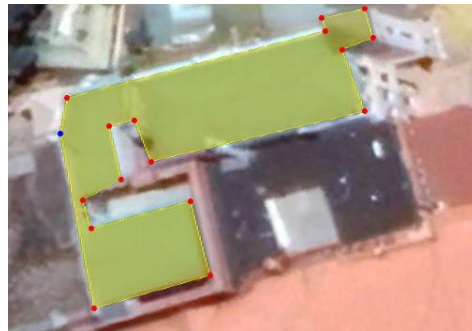


Figura 12. Techo Edif. Epicuro y Cicerón

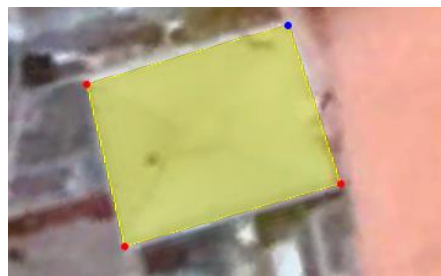


Figura 13. Techo 1 sector Edif. Epicuro

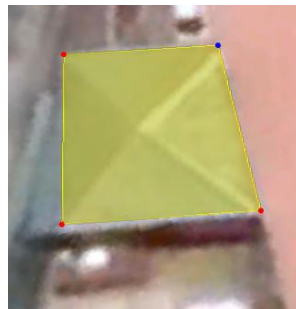


Figura 14. Techo 2 sector Edif. Epicuro



Figura 15. Techo Edif. Espejo

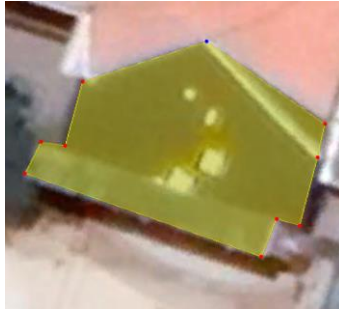


Figura 16. Techo Entrada Hall Principal



Figura 17. Techo entrada edificios CHAT



Figura 18. Techo Planta Física

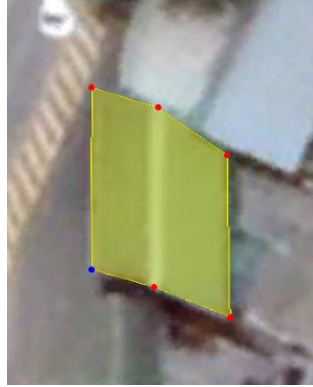


Figura 19. Techo 1 entrada principal



Figura 20. Techo 2 entrada principal



Figura 21. Techo Edif. Miguel de Santiago



Figura 22. Techo 3 alado del Edif. Miguel de Santiago

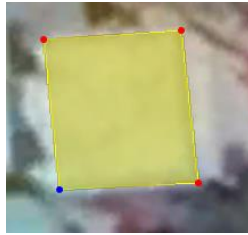


Figura 23. Techo 4 alado del Edif. Miguel de Santiago



Figura 24. Techo Edif. Aristóteles



Figura 25. Techo Edif. Sócrates



Figura 26. Techo Edif. Lao Tse



Figura 27. Techo Edif. Mozart



Figura 28. Techo Taller de Metal

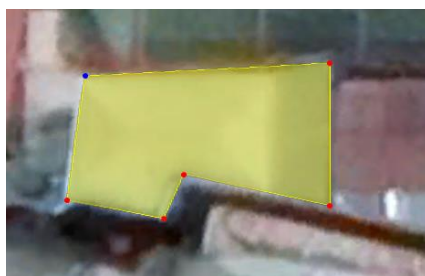


Figura 29. Techo Herbario

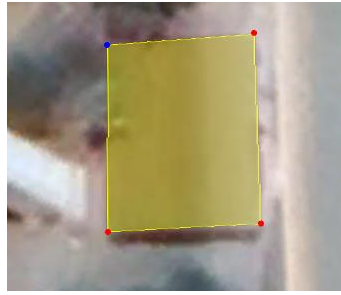


Figura 30. Techo baños alado del Obelisco

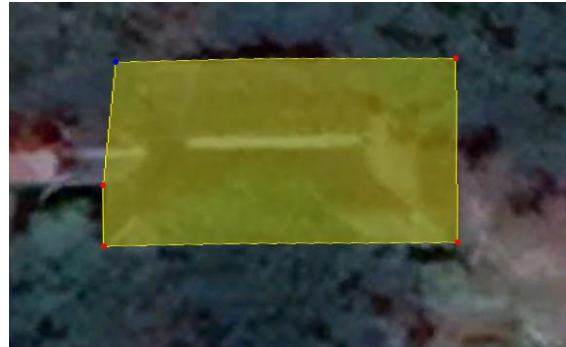


Figura 31. Techo Pagoda



Figura 32. Techo Edif. Hannah Arendt



Figura 33. Laguna

En la siguiente tabla se resume los valores tanto del área (m²) y perímetro (m) de los techos del campus USFQ y de la laguna.

Tabla 1. Áreas y perímetros techos y laguna campus USFQ

Edificio/Lugar	Área de techo (m²)	Perímetro (m)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	2467.00	268.00
Galileo y Newton	1876.00	190.00
Clínica Odontológica e IMC	1712.00	326.90
Coliseo Alexandros	1706.00	168.00
Aristóteles	1603.00	189.00
DaVinci	1538.00	157.00
Maxwell	862.00	141.00
Laguna	583.29	133.51
Sócrates	582.00	106.00
Einstein	485.00	97.00
Lao Tse	467.00	102.00
Edif. Espejo (Hall Principal)	454.00	121.00
Casa Blanca	451.00	95.50
Planta física	426.00	129.00
Epicuro y Cicerón	349.00	136.00
Hannah Arendt	338.00	87.80
Casa Tomate	306.00	85.70
Darwin	283.00	68.90
Entrada a edificios CHAT	280.00	72.00
Miguel de Santiago	275.00	91.70
Mozart	241.00	66.40
Pagoda	240.00	63.90
Entrada Hall Principal	213.00	60.70
Taller de Metal	204.00	71.00
Conexión Maxwell y Casa Blanca	122.00	46.00
Herbario	121.00	48.90
Techo2 entrada principal	106.00	47.20
Edif. Alado de el Obelisco	90.20	38.40
Techo1 - Epicuro	88.60	37.80
Techo2 - Epicuro	81.50	36.20
Techo1 entrada principal	62.50	32.90
Techo 4 -MS	31.80	22.50
Techo 3 - MS	16.00	17.30

Intensidad de lluvia

Para determinar el valor de la intensidad de lluvia se debe realizar un estudio hidrológico de la zona. Se obtuvo información pluviográfica de las estaciones meteorológicas de Tumbaco (M114) para el periodo desde 1994 hasta 2002 y La Tola (M0002) para el periodo desde 2003-2013 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI y de la Estación de Mediciones Atmosféricas EMA USFQ para el periodo desde 2014 hasta 2022. Entre las 3 estaciones se obtuvo los valores de precipitaciones mensuales por cada año desde 1994 hasta el 2022.

A continuación, se muestran los datos recopilados:

Tabla 2. Precipitaciones mensuales desde 1994 hasta 2022

		1994-2022											
		Precipitación (mm)											
Estación	Año/Mes	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
TUMBACO - INAMHI	1994	172.60	71.70	150.90	101.70	59.60	0.00	7.00	3.50	19.60	37.90	213.90	43.20
	1995	2.90	61.60	171.90	117.80	64.30	48.10	17.70	27.70	0.00	228.80	286.40	101.50
	1996	85.20	122.30	76.90	81.40	161.70	40.00	24.00	12.40	77.40	124.10	23.00	38.20
	1997	194.20	48.30	167.90	40.30	52.20	42.90	0.00	0.00	115.60	129.80	156.10	48.90
	1998	36.10	60.80	95.50	87.30	-	10.80	20.40	10.00	13.10	87.90	121.10	24.70
	1999	60.20	118.70	-	118.60	32.70	25.60	0.00	41.60	86.70	147.10	125.80	77.50
	2000	118.30	130.40	120.40	139.20	-	-	20.30	6.60	56.50	22.70	51.00	91.10
	2001	38.20	29.40	-	-	33.20	3.00	-	0.00	37.30	6.70	37.20	36.70
	2002	-	63.40	116.10	177.80	50.70	19.20	0.00	0.00	28.20	-	91.40	122.30
LA TOLA - INAMHI	2003	40.10	68.90	58.30	149.80	15.00	32.00	10.30	20.80	84.30	85.30	146.30	47.10
	2004	82.30	27.30	86.20	79.70	47.40	3.40	4.40	0.70	53.80	105.40	177.90	131.00
	2005	52.80	97.70	75.90	58.70	44.00	29.10	9.10	18.80	20.20	87.00	84.00	79.00
	2006	42.40	74.80	211.80	168.00	30.90	45.60	4.60	3.00	11.00	101.30	153.00	166.40
	2007	69.20	42.50	155.60	141.30	50.70	19.70	3.60	13.10	22.30	143.40	185.10	28.60
	2008	86.40	148.20	198.60	135.90	131.70	60.20	2.40	22.10	25.40	186.70	73.80	108.40
	2009	101.40	48.50	152.90	70.30	46.20	29.70	14.90	0.10	9.90	121.50	55.00	96.60
	2010	15.90	83.00	12.10	163.40	100.40	40.70	69.60	29.50	79.10	66.40	170.40	107.60
	2011	34.80	158.90	116.70	233.20	61.40	19.50	46.60	43.30	35.50	77.80	53.10	60.80
	2012	76.90	59.80	95.10	114.40	16.30	8.20	1.50	2.00	53.30	70.20	235.90	59.80
	2013	17.80	159.80	73.10	103.10	95.20	0.30	4.50	36.30	24.40	77.90	51.60	49.80
EMA - USFQ	2014	-	-	-	-	-	12.40	0.30	0.70	55.50	136.60	61.80	25.50
	2015	46.60	76.80	107.20	50.90	48.10	6.20	13.90	0.00	3.80	116.00	54.80	9.10
	2016	83.00	17.40	112.80	148.80	77.50	30.90	0.80	4.70	57.70	56.10	16.10	62.00
	2017	113.20	73.90	220.40	102.70	127.90	66.70	1.20	34.50	26.30	97.00	37.20	90.40
	2018	67.10	109.60	81.70	106.90	91.50	22.60	22.60	13.60	25.80	5.90	146.20	3.90
	2019	50.80	111.90	180.20	85.70	9.70	17.70	8.20	-	-	-	130.10	91.40
	2020	74.90	112.90	99.80	145.00	25.70	39.10	15.90	43.30	78.70	73.80	129.00	101.60
	2021	96.20	74.30	176.80	120.90	89.20	57.30	13.10	41.10	77.10	209.70	99.90	202.30
	2022	81.50	91.90	115.40	131.30	30.70	57.10	31.50	7.80	10.80	94.30	57.00	29.80

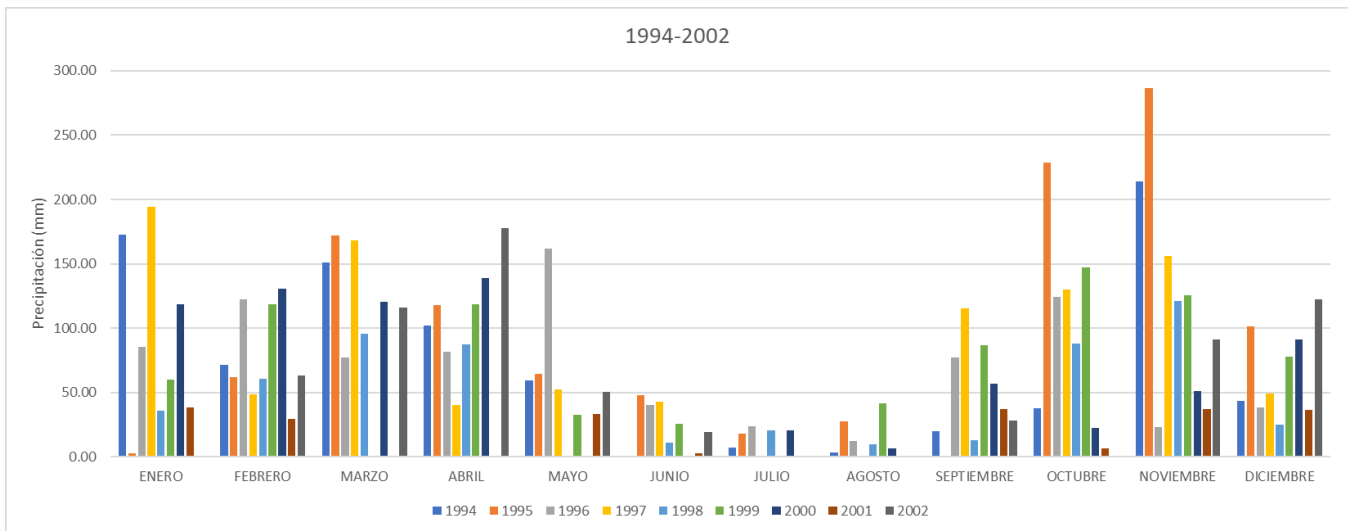


Figura 34. Distribución de Precipitaciones para el periodo 1994-2022 (M 114)

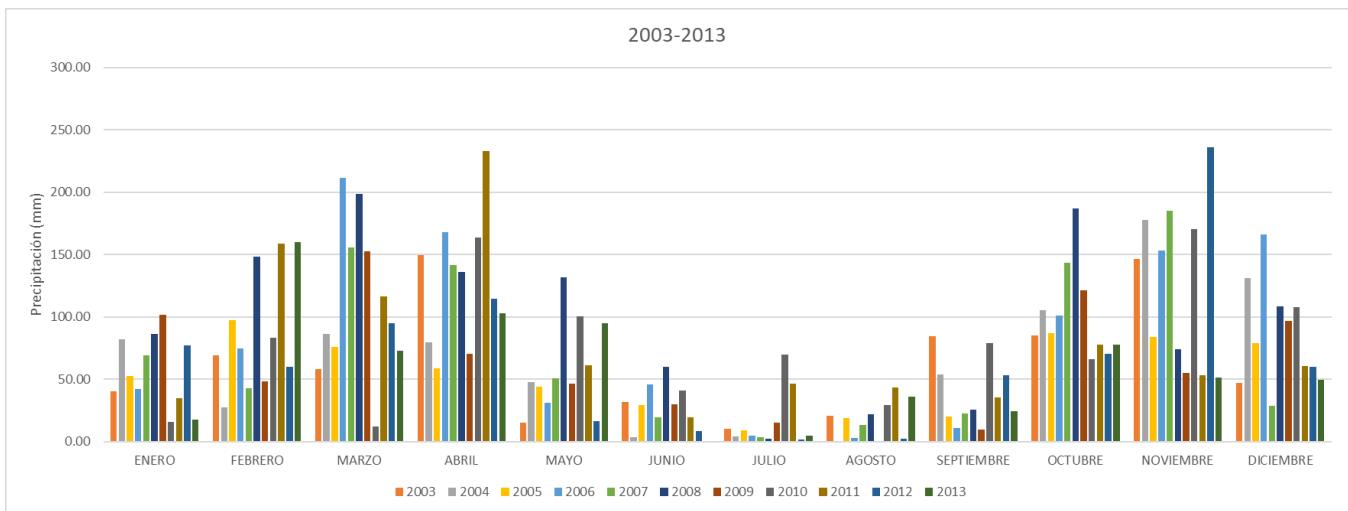


Figura 35. Distribución de Precipitaciones para el periodo 2003-2013 (M 0002)

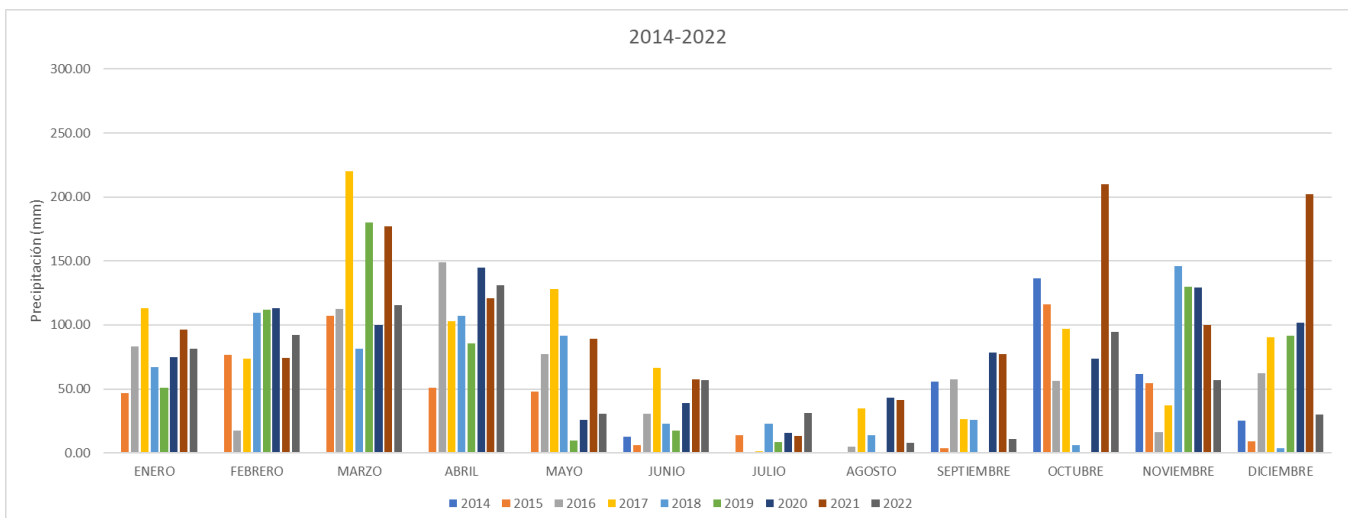


Figura 36. Distribución de Precipitaciones para el periodo 2014-2022 (EMA – USFQ)

Tabla 3. Valor anual total de las precipitaciones (mm) desde 1994 hasta 2022

Año	Valor Anual
1994	881.60
1995	1128.70
1996	866.60
1997	996.20
1998	567.70
1999	834.50
2000	756.50
2001	221.70
2002	669.10
2003	758.20
2004	799.50
2005	656.30
2006	1012.80
2007	875.10
2008	1179.80
2009	747.00
2011	941.60
2012	793.40
2013	693.80
2014	292.80
2015	533.40
2016	667.80
2017	991.40
2018	697.40
2019	685.70
2020	939.70
2021	1257.90
2022	739.10

De acuerdo con la Figura 34, 35 y 36 los meses con mayor cantidad de lluvia son desde octubre hasta a mayo, siendo febrero y abril los meses más lluviosos. Durante esta temporada existe mayor humedad debido a los vientos alisios del noreste y la convergencia intertropical, como consecuencia hay mayor cantidad de nubes y como resultado hay fuertes precipitaciones (Allauca, 1990). Además, se debe considerar dos fenómenos: El Niño y la corriente de Humbolt. Cuando existe la presencia de estos fenómenos, la temporada de lluvias puede extenderse hasta junio, por lo tanto, hay años con mayor precipitación que otros

como se puede observar en la Figura 37 (Allauca, 1990; Pourrut & Gómez, 1998; Zambrano, n.d.).

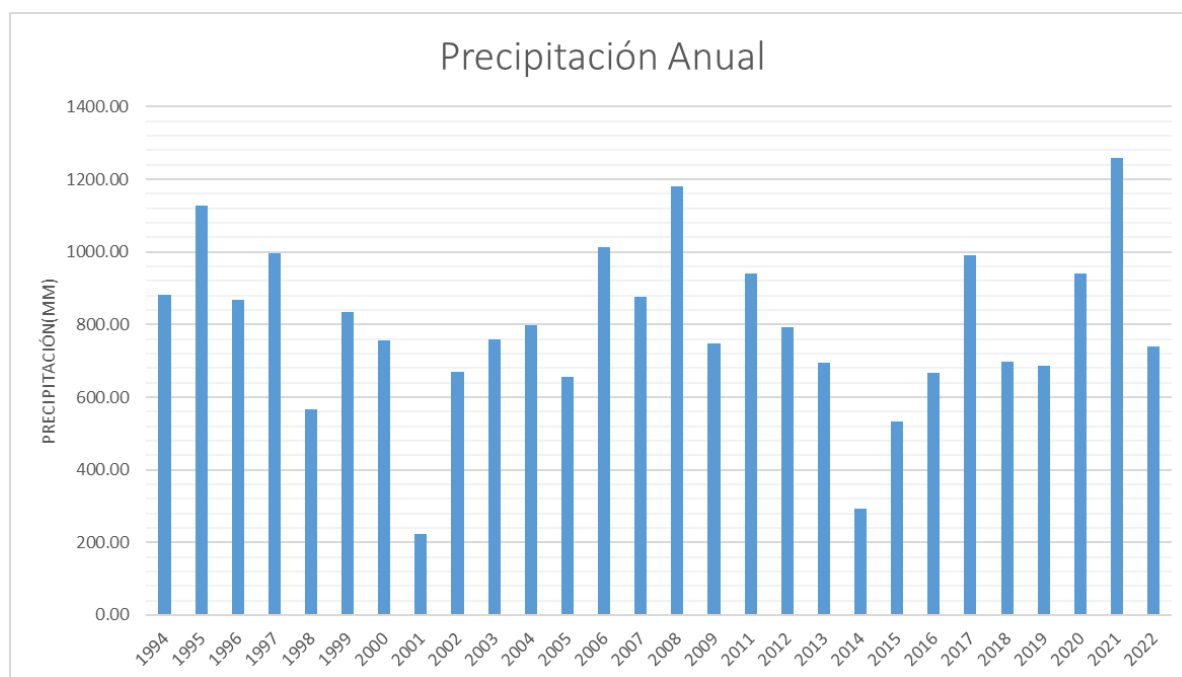


Figura 37. Valor anual de las precipitaciones desde 1994 hasta 2022

La cantidad de lluvia depende de varios factores como la ubicación geográfica, la altitud, el cambio climático, entre otros factores. Por esta razón, los datos recolectados son de la estación EMA y de las estaciones del INAMHI ubicadas en Tumbaco para mayor precisión.

A pesar de que existe influencia en la cantidad de lluvia debido a varios factores ya mencionados, se determina que la temporada de lluvia va desde octubre hasta mayo principalmente.

Una vez obtenidos los valores de las precipitaciones mensuales para cada año desde 1994 hasta el 2022, se procede a calcular el promedio de estos valores para determinar el caudal de escorrentía utilizando el método racional. Este método establece que el valor de la intensidad de lluvia “i” es un promedio. Los resultados de estos cálculos se presentan en la Tabla 3 y Figura 38.

Tabla 4. Precipitaciones Promedio Mensual

Mes	Precipitación promedio (mm)
ENERO	71.89
FEBRERO	83.74
MARZO	124.24
ABRIL	117.56
MAYO	61.30
JUNIO	28.14
JULIO	13.16
AGOSTO	15.61
SEPTIEMBRE	42.48
OCTUBRE	99.90
NOVIEMBRE	111.18
DICIEMBRE	73.63

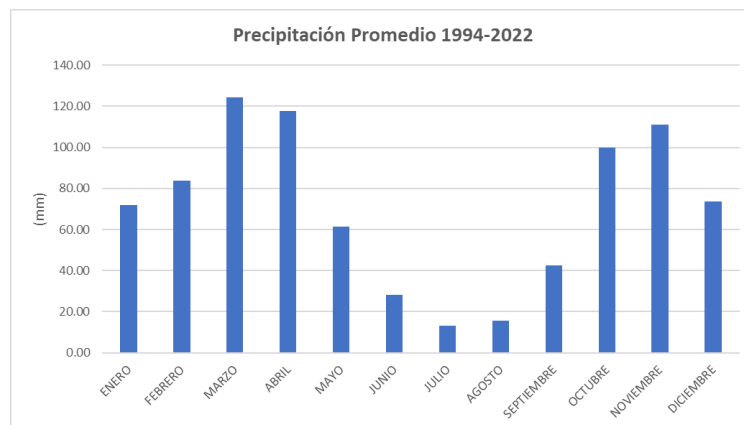


Figura 38. Precipitación promedio mensual

Coefficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es un factor que se utiliza en hidrología para medir la fracción de agua lluvia que se convierte en escorrentía en una determinada área y durante un periodo de tiempo específico. Su valor está entre 0 y 1, 0 indica que toda el agua se infiltra y 1 que toda el agua se convierte en escorrentía. Este coeficiente depende de algunos factores como: tipo de superficie, pendiente del terreno, intensidad de la lluvia, tipo de suelo y cobertura vegetal (Chow et al., 2000; Sotelo, 1974). Es importante determinar el coeficiente de escorrentía para estimar la cantidad de agua lluvia que llegará al sistema y proponer un diseño eficiente para la gestión de agua pluviales.

No existe un valor absoluto para el coeficiente de escorrentía ya que existen factores que puede variar, por ejemplo, las pérdidas de infiltración disminuyen con la duración de la lluvia. A continuación se muestran valores sugeridos de acuerdo con el tipo de superficie (Gribbin, 2014; López Cualla, 2003).

C-1
Values of c, Runoff Coefficient

Character of Surface	Runoff Coefficients
Pavement	
Asphalt and concrete	0.70 to 0.95
Brick	0.70 to 0.85
Roofs	0.75 to 0.95
Lawns, sandy soil	
Flat (2 percent)	0.05 to 0.10
Average (2 to 7 percent)	0.10 to 0.15
Steep (> 7 percent)	0.15 to 0.20
Lawns, heavy soil	
Flat (2 percent)	0.13 to 0.17
Average (2 to 7 percent)	0.18 to 0.22
Steep (> 7 percent)	0.25 to 0.35
Composite c-values:	
Business	
Downtown	0.70 to 0.95
Neighborhood	0.50 to 0.70
Residential	
Single Family	0.30 to 0.50
Multi-units, detached	0.40 to 0.60
Multi-units, attached	0.60 to 0.75
Residential (suburban)	0.25 to 0.40
Apartment	0.50 to 0.70
Industrial	
Light	0.50 to 0.80
Heavy	0.60 to 0.90
Parks, cemeteries	0.10 to 0.25
Playgrounds	0.20 to 0.35
Railroad yards	0.20 to 0.35
Unimproved	0.10 to 0.30

Figura 39. Coeficientes de escorrentía típicos

Fuente:(Gribbin, 2014)

Siguiendo las recomendaciones de la Figura 38, se determinó que el coeficiente de escorrentía para los techos de los edificios será 0.95 mientras que para la laguna de 0.08.

Tabla 5. Coeficientes de escorrentía para determinar el caudal de escorrentía en campus USFQ

Coeficientes de Escorrentía (c)	
Techos	0.95
Laguna	0.08

Caudal de Escorrentía

El caudal de escorrentía se determina mediante el método racional:

$$Q = ciA$$

Fuente:(López Cualla, 2003)

En donde:

Q = caudal superficial o de escorrentía (m³)

c = coeficiente de escorrentía (adimensional). Valores por utilizar se indican en la Tabla 5.

i = intensidad promedio de la lluvia (mm/mes). Valores por utilizar se indican en la Tabla 4.

A = área de drenaje (m²). Valores por utilizar se indican en la Tabla 1.

En las Tabla 6, 7 y 8 se presentan los valores del caudal de escorrentía calculados para la laguna.

Tabla 6. Caudal de Escorrentía de la Laguna del primer semestre del año

Lugar	CAUDAL DE ESCORRENTÍA - LAGUNA					
	Q Enero (m3)	Q Febrero (m3)	Q Marzo (m3)	Q Abril (m3)	Q Mayo (m3)	Q Junio (m3)
Laguna	3.35	3.91	5.80	5.49	2.86	1.31

Tabla 7. Caudal de Escorrentía de la Laguna del segundo semestre del año

Lugar	CAUDAL DE ESCORRENTÍA - LAGUNA					
	Q Julio (m3)	Q Agosto (m3)	Q Septiembre (m3)	Q Octubre (m3)	Q Noviembre (m3)	Q Diciembre (m3)
Laguna	0.61	0.73	1.98	4.66	5.19	3.44

Tabla 8. Caudal de Escorrentía anual de la Laguna

Lugar	Q anual (m3)
Laguna	35.89

Tabla 9. Caudal de Escorrentía de los techos del primer semestre del año

CAUDAL DE ESCORRENTÍA - TECHOS

Edificio	Q Enero (m3)	Q Febrero (m3)	Q Marzo (m3)	Q Abril (m3)	Q Mayo (m3)	Q Junio (m3)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	168.48	196.26	291.17	275.52	143.67	65.96
Galileo y Newton	128.12	149.24	221.42	209.51	109.26	50.16
Clínica Odontológica e IMC	116.92	136.19	202.06	191.20	99.70	45.77
Coliseo Alexandros	116.51	135.72	201.35	190.53	99.36	45.61
Aristóteles	109.48	127.52	189.20	179.03	93.36	42.86
DaVinci	105.04	122.35	181.52	171.77	89.57	41.12
Maxwell	58.87	68.57	101.74	96.27	50.20	23.05
Sócrates	39.75	46.30	68.69	65.00	33.89	15.56
Einstein	33.12	38.58	57.24	54.17	28.25	12.97
Lao Tse	31.89	37.15	55.12	52.16	27.20	12.49
Edif. Espejo (Hall Principal)	31.01	36.12	53.58	50.70	26.44	12.14
Casa Blanca	30.80	35.88	53.23	50.37	26.27	12.06
Planta física	29.09	33.89	50.28	47.58	24.81	11.39
Epicuro y Cicerón	23.83	27.76	41.19	38.98	20.33	9.33
Hannah Arendt	23.08	26.89	39.89	37.75	19.68	9.04
Casa Tomate	20.90	24.34	36.12	34.17	17.82	8.18
Darwin	19.33	22.51	33.40	31.61	16.48	7.57
Entrada a edificios CHAT	19.12	22.27	33.05	31.27	16.31	7.49
Miguel de Santiago	18.78	21.88	32.46	30.71	16.02	7.35
Mozart	16.46	19.17	28.44	26.92	14.04	6.44
Pagoda	16.39	19.09	28.33	26.80	13.98	6.42
Entrada Hall Principal	14.55	16.94	25.14	23.79	12.40	5.69
Taller de Metal	13.93	16.23	24.08	22.78	11.88	5.45
Conexión Maxwell y Casa Blan	8.33	9.71	14.40	13.63	7.11	3.26
Herbario	8.26	9.63	14.28	13.51	7.05	3.24
Techo2 entrada principal 2	7.24	8.43	12.51	11.84	6.17	2.83
Edif. Alado de el Obelisco	6.16	7.18	10.65	10.07	5.25	2.41
Techo1	6.05	7.05	10.46	9.89	5.16	2.37
Techo2	5.57	6.48	9.62	9.10	4.75	2.18
Techo1 entrada principal	4.27	4.97	7.38	6.98	3.64	1.67
Techo 4	2.17	2.53	3.75	3.55	1.85	0.85
Techo 3	1.09	1.27	1.89	1.79	0.93	0.43
Área Total	1234.60	1438.12	2133.64	2018.93	1052.82	483.32

Tabla 10. Caudal de Escorrentía de los techos del segundo semestre del año

CAUDAL DE ESCORRENTÍA - TECHOS

Edificio	Q Julio (m3)	Q Agosto (m3)	Q Septiembre (m3)	Q Octubre (m3)	Q Noviembre (m3)	Q Diciembre (m3)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	30.84	36.59	99.55	234.13	260.56	172.56
Galileo y Newton	23.45	27.83	75.70	178.04	198.14	131.22
Clínica Odontológica e IMC	21.40	25.40	69.08	162.48	180.82	119.75
Coliseo Alexandros	21.32	25.31	68.84	161.91	180.18	119.33
Aristóteles	20.04	23.78	64.68	152.13	169.30	112.12
Da Vinci	19.22	22.81	62.06	145.96	162.44	107.58
Maxwell	10.77	12.79	34.78	81.81	91.04	60.29
Sócrates	7.27	8.63	23.48	55.23	61.47	40.71
Einstein	6.06	7.19	19.57	46.03	51.22	33.92
Lao Tse	5.84	6.93	18.84	44.32	49.32	32.66
Edif. Espejo (Hall Principal)	5.67	6.73	18.32	43.09	47.95	31.76
Casa Blanca	5.64	6.69	18.20	42.80	47.63	31.55
Planta física	5.32	6.32	17.19	40.43	44.99	29.80
Epicuro y Cicerón	4.36	5.18	14.08	33.12	36.86	24.41
Hannah Arendt	4.22	5.01	13.64	32.08	35.70	23.64
Casa Tomate	3.82	4.54	12.35	29.04	32.32	21.40
Darwin	3.54	4.20	11.42	26.86	29.89	19.79
Entrada a edificios CHAT	3.50	4.15	11.30	26.57	29.57	19.58
Miguel de Santiago	3.44	4.08	11.10	26.10	29.04	19.24
Mozart	3.01	3.57	9.72	22.87	25.45	16.86
Pagoda	3.00	3.56	9.68	22.78	25.35	16.79
Entrada Hall Principal	2.66	3.16	8.59	20.21	22.50	14.90
Taller de Metal	2.55	3.03	8.23	19.36	21.55	14.27
Conexión Maxwell y Casa Blan	1.52	1.81	4.92	11.58	12.89	8.53
Herbario	1.51	1.79	4.88	11.48	12.78	8.46
Techo2 entrada principal 2	1.32	1.57	4.28	10.06	11.20	7.41
Edif. Alado de el Obelisco	1.13	1.34	3.64	8.56	9.53	6.31
Techo1	1.11	1.31	3.58	8.41	9.36	6.20
Techo2	1.02	1.21	3.29	7.73	8.61	5.70
Techo1 entrada principal	0.78	0.93	2.52	5.93	6.60	4.37
Techo 4	0.40	0.47	1.28	3.02	3.36	2.22
Techo 3	0.20	0.24	0.65	1.52	1.69	1.12
Área Total	225.96	268.16	729.45	1715.65	1909.30	1264.46

Tabla 11. Caudal de Escorrentía anual de los techos

Edificio	Q anual (m3)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	1975.28
Galileo y Newton	1502.08
Clínica Odontológica e IMC	1370.77
Coliseo Alexandros	1365.96
Aristóteles	1283.49
DaVinci	1231.45
Maxwell	690.19
Sócrates	466.00
Einstein	388.33
Lao Tse	373.92
Edif. Espejo (Hall Principal)	363.51
Casa Blanca	361.11
Planta física	341.09
Epicuro y Cicerón	279.44
Hannah Arendt	270.63
Casa Tomate	245.01
Darwin	226.59
Entrada a edificios CHAT	224.19
Miguel de Santiago	220.19
Mozart	192.96
Pagoda	192.16
Entrada Hall Principal	170.55
Taller de Metal	163.34
Conexión Maxwell y Casa Blan	97.68
Herbario	96.88
Techo2 entrada principal 2	84.87
Edif. Alado de el Obelisco	72.22
Techo1	70.94
Techo2	65.26
Techo1 entrada principal	50.04
Techo 4	25.46
Techo 3	12.81
Área Total	14474.40

Las tablas 10, 11 y 12 presentan los valores del caudal de escorrentía calculados para los techos de los edificios. Debido a que el caudal de escorrentía es proporcional al área de drenaje estas tablas se ordenaron de mayor a menor en cuanto a las mediciones de las áreas de los techos. Por lo tanto, se concluye que los edificios con mayor recolección de agua lluvia son: Hall Principal (incluyendo biblioteca y Teatro Calderón de la Barca), Galileo y Newton, Clínica Odontológica e IMC, Coliseo Alexandros y Aristóteles.

Así también se hizo un cálculo para determinar todo el caudal de escorrentía conjuntamente de todos los techos del campus USFQ obteniendo un valor de área total y con este realizar los cálculos correspondientes para cada mes y con ello el valor de escorrentía anual. En total de todos los techos del campus USFQ, se puede recolectar $14\,187.69\text{ m}^3$ de agua lluvia, y de la laguna 35.36 m^3 , obteniendo un total de $14\,223.05\text{ m}^3$ de agua lluvia al año. Esto representa un 50% del consumo anual de agua en USFQ.

Análisis bibliográfico

Análisis internacional

Desde la antigüedad los edificios ya se diseñaban para canalizar el agua lluvia que caía sobre los techos y almacenarla. En la actualidad, los sistemas de recolección de agua lluvia (SCALL) son considerados una alternativa a los sistemas de abastecimiento de agua debido a la escasez y contaminación del agua por actividades humanas y por el cambio climático. El agua lluvia es utilizada para uso doméstico e industrial. A continuación, se presentan algunos ejemplos y estadísticas de la implementación de SCALL para el aprovechamiento del uso de agua lluvia como una alternativa para el ahorro y consumo de agua potable:

- En Australia un 13% de las casas cuenta con un SCALL y principalmente el agua es utilizada para la preparación de alimentos.
- En Tokio y Japón, estos sistemas son utilizados para controlar inundaciones y almacenamiento para situaciones de emergencia.
- En Alemania cada año se incorporan 50 mil SCALL para satisfacer la oferta frente al crecimiento de la población.
- En Estados Unidos, al menos 15 estados utilizan SCALL.
- En México se han desarrollado sistemas de captación y potabilización de aguas pluviales para el suministro de este recurso en comunidades rurales.

Además de las propuestas políticas de cada gobierno, debido a las tecnologías de los sistemas de captación de agua lluvia, estos también se han incorporado en mayor medida en casas particulares, instituciones académicas, empresas, entre otros. De esta manera se genera concientización sobre el aprovechamiento y ahorro de este recurso que cada vez es más limitado.

Usos del agua pluvial a escala global						
Región/País	Inodoros	Limpieza de Fachadas	Limpieza del hogar	Riego de Jardines	Lavado de autos	Consumo humano
Canadá						
Francia						
Suiza						
Colombia						
Malasia						
Inglaterra						
Estados Unidos						
Japón						
China						
México						
Namibia						
España						
Palestina*						
Malasia*						
India*						

*Baja calidad del agua lluvia para consumo humano y escasas de agua potable

Figura 40. Usos de agua lluvia por países

Fuente: (Cortés Cely, 2015)

En la Figura 40 Oscar Cortés Cely resume los distintos usos del agua lluvia por países.

Además, se puede observar que en países como Palestina, Malasia e India el uso principal de este recurso es para consumo humano, esto se debe a que son países con gran población y por tanto el agua potable es escasa, pero se debe considerar la calidad de esta. En otros países se utiliza para la descarga de inodoros y esto además de gestionar el agua pluvial también representa un ahorro económico. Un país en particular, Colombia, ha implementado en uso de esta fuente en el lavado de autos, sin embargo, este no presenta un adecuado sistema de captación, ni de almacenamiento. Se debe considerar que los usos del agua lluvia y sus sistemas de captaciones primero deben satisfacer la demanda, segundo ser adecuados para su captación y almacenamiento, y si el abastecimiento es para consumo humano, entonces se debe implementar un sistema de potabilización, es por esto que el agua captada se utiliza más en actividades que no requieran de agua potable.

Análisis nacional

En Ecuador, los sistemas de captación de agua lluvia comienzan a implementarse desde la época precolombina. Los principales usos de este recurso fueron para la irrigación y consumo humano, similar a otras civilizaciones. En la región de la sierra principalmente se almacenaba agua lluvia para el riego de plantaciones. En la costa, por otro lado, al ser una región afectada por la corriente cálida de El Niño y en consecuencia se presentan inundaciones, se construyeron los denominados camellones para vaciar el agua de las inundaciones y el sistema de albarradas para la captación de agua (Allauca, 1990; Zambrano, n.d.). En la actualidad se siguen construyendo albarradas por juntas parroquiales con el fin de suministrar agua a las comunidades, gracias a la maquinaria de hoy en día la construcción de estas es más fácil y rápida. En cuanto a los camellones o más conocidos como campos elevados, eran utilizados como un tipo de sistema de drenaje o para humedecer la tierra; sin embargo implican periodos largos periodos de construcción y fuerza laboral, debido a estas demandas se dejaron de utilizar (Delgado Espinoza, 2017).

En la actualidad, Ecuador al igual que otros países en el mundo ha optado por analizar la implementación de los SCALL para el aprovechamiento de esta fuente, ahorro económico y para satisfacer el suministro del recurso. Algunos ejemplos se presentan a continuación:

- Estudio de la viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia en Guamaní – Quito (Simbaña et al., 2022) : En la parroquia de Guamaní, al sur de Quito, se presenta desabastecimiento de agua, por lo tanto, se analizó un diseño de sistema de recolección de agua lluvia. Para ello, se midieron precipitaciones mensuales y el volumen de agua que podría captarse. Dentro de esto, se determinó que no podría satisfacerse la demanda, pero se podría ahorrar entre 6.10 y 17.21 m³ de agua potable entre los meses de abril y julio. En cuanto a costo, el costo de implementación

alcanzaría los USD 460.76 pero el ahorro mensual promedio sería de USD 115.50 para las familias de la parroquia.

- Estudio de caso: Diseño de viviendas ambientales de bajo costo, Cuenca – Ecuador (Barragán & Ochoa, 2014): Este estudio de caso propone el diseño de una vivienda ecológica para minimizar el impacto ambiental de tal manera que el diseño es ecológicamente sostenible y prioriza reducir el consumo de agua y energía. Considerando el área del techo, se estima que se podría recoger 136.88 litros si la precipitación promedio por mes es de 73 mm. El valor del SCALL tiene valores porcentuales menores al 5% del costo de la construcción.
- Sistema de reutilización de agua lluvia en una residencia familiar ubicada en la ciudad de Quito, DMQ (López, 2022): Este proyecto presenta alternativas del uso de agua lluvia para satisfacer las necesidades hidrosanitarias y de limpieza. Para realizar el estudio se hizo un levantamiento de información pluviométrica de la estación Izebamba y revisión pertinente de la normativa hidrosanitaria. El agua lluvia se recolectaría desde la terraza ubicada en el cuarto piso de la residencia, se diseña el sistema considerando: captación, recolección, conducción, filtración, tanque interceptor de primeras aguas de almacenamiento y distribución. Una vez analizado los datos se determinó que el agua captada de la terraza no era suficiente para cubrir la demanda para el uso de inodoros. El costo total del diseño sería \$509.71.

La mayoría de los sistemas de captación de agua lluvia en Ecuador, son casos de estudios para determinar la viabilidad en cuanto a eficiencia y ahorro tanto económico como del uso de agua potable. Existen varias limitaciones para la implementación real de estos sistemas de almacenamiento:

1. Implementación de los sistemas puede incurrir en una inversión inicial, su valor dependerá de las necesidades, ubicación, materiales, entre otros.
2. Requerir de estudios y análisis adicionales como un análisis estructural para no comprometer a la estructura si el sistema de almacenamiento está en los techos.
3. Déficit de volumen de agua lluvia para cubrir con las necesidades requeridas.

Es por esto que los sistemas de captación de agua lluvia son viables en zonas donde existan precipitaciones que permitan cubrir con la demanda. Además, los sistemas de captación de agua lluvia además de contribuir a disminuir el uso de agua potable también evita la erosión del terreno, evita inundaciones. Estos sistemas deben ser analizados con el fin de maximizar su beneficio y reducir su costo, considerando una inversión inicial.

Usos de agua potable en campus USFQ

En el campus USFQ se registra que el consumo de agua potable es de aproximadamente 2 350 m³ al mes, es decir que al año se consumen 28 200 m³. Todo el consumo de agua potable en el campus USFQ podría llenar al menos 7 piscinas olímpicas cada año considerando que una piscina olímpica puede albergar hasta 4 millones de litros (4 000 m³). Debido al consumo y uso de agua, se considera el aprovechamiento de agua lluvia que se puede recolectar de los techos y laguna en el campus es un aporte significativo.

A continuación, se muestran los diferentes usos del agua potable en el campus USFQ:

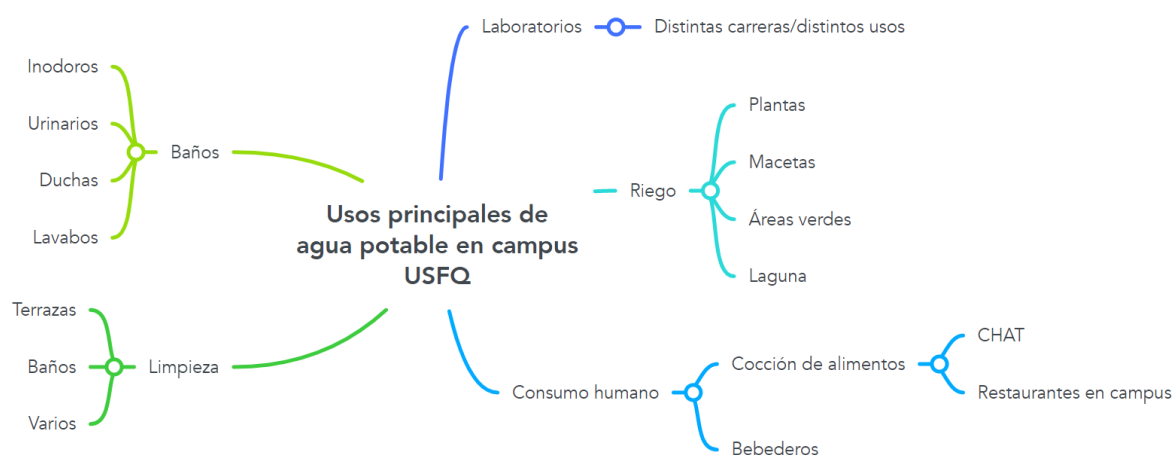


Figura 41. Usos principales de agua potable en campus USFQ

Consumo de agua potable en campus USFQ

El consumo de agua potable en campus se distribuye en las actividades descritas en la Figura 41. Sin embargo, no existen precedentes que indiquen la cantidad exacta que se consume por cada uso. Haciendo un análisis se podría aproximar cantidades para cada uno de los usos como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Cantidades de consumo de agua potable sugeridas

Baños		
Inodoros	10 a 16	L/ descarga
Urinarios	3 a 4	L/ descarga
Lavamanos	2	L/min
Duchas	100	L/5min
Limpieza		
Carritos de limpieza	hasta 34	L/ carrito
Riego		
Césped/áreas verdes	5 a 10	L/m ² (invierno)
	15 a 20	L/m ² (invierno)
Laguna		
Almacenamiento y relleno	al menos 10 cm = 58 cm ³ (dependiendo el mes)	

En la Tabla 12 se presentan valores sugeridos y aproximados de consumo por cada uso, sin embargo, estos valores no toman en cuenta características específicas como la descarga de un baño en el campus USFQ, tiempo de ducha o lavado de manos por estudiante, pero es un valor promedio sugerido y aproximado de varias fuentes en línea. Los valores de consumo para los usos catalogados como *Laboratorio* y *Uso Humano* de la Figura 41 no se incluyen en la Tabla 12 ya que se consideran que esos valores dependen de la actividad, uso y en caso de laboratorios de la carrera en específico.

Considerando los valores de la Tabla 12 se podría sugerir el uso de agua lluvia para los usos descritos en esta, considerando que son usos que no requieren de agua potable como tal a diferencia de otros como para bebederos donde se debería implementar además de un sistema de almacenamiento y distribución, uno de tratamiento y clorinación.

Propuestas y alternativas para el uso de agua lluvia

Las alternativas de uso de agua lluvia en actividades del campus serán para aquellas actividades que no requieren de agua potable principalmente para baños (inodoros), actividades de limpieza y riego.

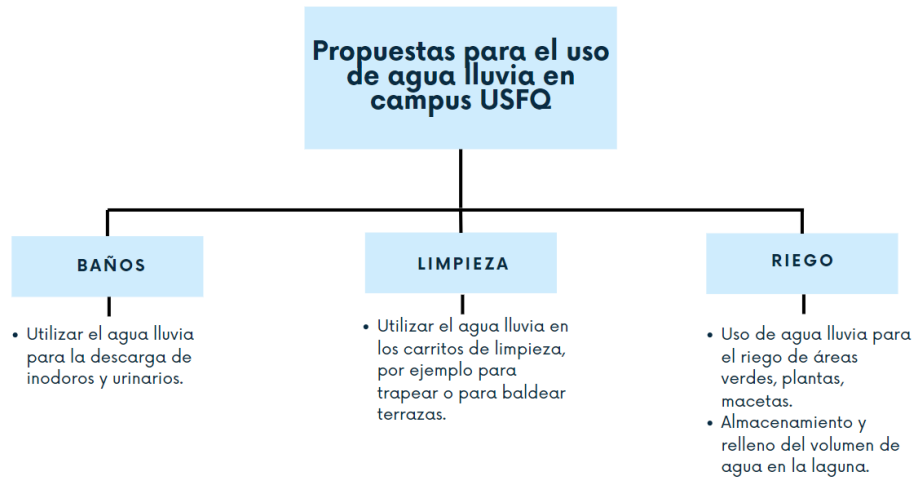


Figura 42. Propuestas para el uso de agua lluvia en campus USFQ

Una vez determinadas las tres principales propuestas para el uso de agua lluvia en las actividades del campus descritas en la Figura 42 se analizará el uso de agua pluvial recolectada por cada techo de cada edificio de acuerdo con su ubicación, alrededores e infraestructura.



Figura 43. Distribución de los espacios del campus USFQ

Tabla 13. Matriz de usos de agua pluvial por edificio/techo

Edificio/Techo	USO DE AGUA PLUVIAL		
	Baños	Limpieza	Riego
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Galileo y Newton	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Clínica Odontológica e IMC	Aplica	Aplica	No aplica
Coliseo Alexandros	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Aristóteles	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
DaVinci	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Maxwell	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Sócrates	Moderadamente aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Einstein	No aplica	Moderadamente aplica	No aplica
Lao Tse	No aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Edif. Espejo (Hall Principal)	Aplica		Aplica
Casa Blanca	Moderadamente aplica		Moderadamente aplica
Planta física	No aplica	No aplica	Aplica
Epicuro y Cicerón	Moderadamente aplica		Moderadamente aplica
Hannah Arendt	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Casa Tomate	Moderadamente aplica		Aplica
Darwin	Moderadamente aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Entrada a edificios CHAT	No aplica		Moderadamente aplica
Miguel de Santiago	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Mozart	No aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Pagoda	No aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Entrada Hall Principal	Aplica	Moderadamente aplica	Aplica
Taller de Metal	No aplica	Moderadamente aplica	No aplica
Conexión Maxwell y Casa Blanca	No aplica	Moderadamente aplica	No aplica
Herbario	No aplica	Moderadamente aplica	
Techo2 entrada principal 2	No aplica		
Edif. Alado de el Obelisco	Moderadamente aplica		
Techo1	No aplica	Moderadamente aplica	
Techo2	No aplica	Moderadamente aplica	
Techo1 entrada principal	No aplica	Moderadamente aplica	
Techo 4	No aplica	Moderadamente aplica	
Techo 3	No aplica	Moderadamente aplica	

	Aplica
	Moderadamente aplica
	No aplica

En la Tabla 13 se presenta una matriz indicando la viabilidad de uso de agua pluvial para baños, limpieza y riego. Para determinar si el uso es apropiado o no para cada actividad se consideraron los siguientes factores:

- Disponibilidad hídrica para abastecer el consumo, por ejemplo, los edificios con mayor captación hídrica pluvial podrían proveer para la descarga de los inodoros.
- Ubicación. En particular, los edificios alrededor de los cuadrángulos y la laguna son altamente viables para utilizar el agua recolectada de sus techos en riego.
- Actividades. Por poner un ejemplo, el techo del taller de metal podría cubrir el agua necesaria para limpieza del taller, materiales, etc.

El factor principal por considerar es la disponibilidad hídrica para abastecer las necesidades y actividades que se desarrollan en cada edificio. Para ello se debería estudiar la demanda de cada una de las actividades para distribuir de manera eficiente el agua pluvial recolectada de los techos considerando que el volumen de agua recolectada no sería suficiente para cubrir el consumo de más de una actividad como se ha propuesto en la Tabla 13. Cabe recalcar que la matriz presentada es una guía para reemplazar el uso de agua potable por agua pluvial pero no necesariamente indica que se debe usar en todas las actividades descritas. De igual forma, un análisis de los consumos y dotaciones podría corregir el enfoque de las actividades y usos potenciales del agua lluvia.

Análisis de la Oferta

Para determinar si el caudal de esorrentía de los techos y lagunas puede satisfacer con la demanda del campus USFQ, se realizará un balance hídrico. Un balance hídrico permite determinar si hay excedente de agua o falta de agua y de esta forma gestionar el uso de agua lluvia recolectada de los techos y laguna para su uso como alternativa de ahorro de agua potable.

Para determinar la oferta, se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Oferta} = \text{Disponibilidad Hídrica} - \text{Consumo}$$

Donde:

- Oferta = agua disponible (puede estar en exceso o en déficit)
- Disponibilidad hídrica = escorrentía, calculado mediante el método racional. (Ver tablas 6, 7, 9 y 10)
- Consumo = demanda, agua requerida. (2 350 m³/mes)

Para realizar este análisis se considerará los caudales de escorrentía que corresponde a la suma de todos los techos del campus USFQ como se presenta en la última columna de la tabla 9 y 10 y otro considerando el volumen de agua lluvia que se puede captar en la laguna.

Como datos iniciales:

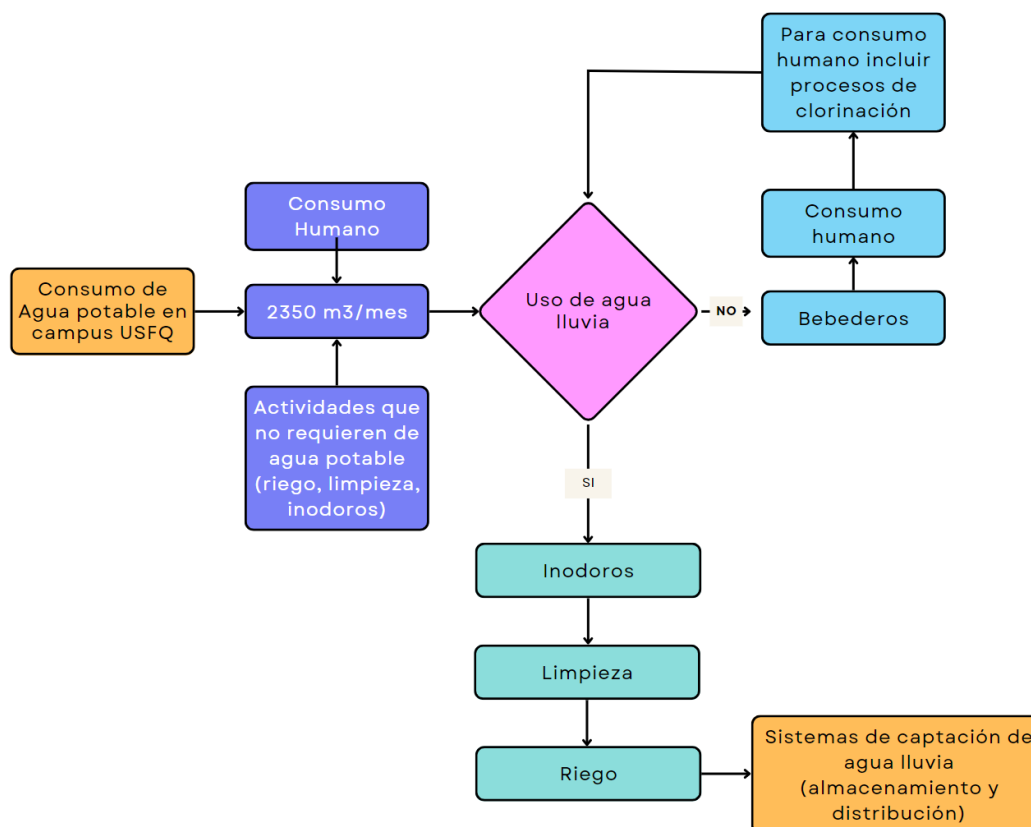
- Área total de los techos = 18 077.6 m²
- Área total de drenaje (techos y laguna) = 18 660.6 m²
- Consumo = 2 350 m³/mes

Tabla 14. Balance hídrico de agua lluvia recolectada de techos

BALANCE HÍDRICO - TECHOS			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	1234.60	2350.00	-1115.40
Febrero	1438.12		-911.88
Marzo	2133.64		-216.36
Abril	2018.93		-331.07
Mayo	1052.82		-1297.18
Junio	483.32		-1866.68
Julio	225.96		-2124.04
Agosto	268.16		-2081.84
Septiembre	729.45		-1620.55
Octubre	1715.65		-634.35
Noviembre	1909.30		-440.70
Diciembre	1264.46		-1085.54

Según el balance hídrico realizado, el agua de lluvia captada no es suficiente para satisfacer la demanda de consumo de agua potable. A pesar de ello existen variables a considerar:

Tabla 15. Distribución de consumo de agua potable y alternativas para su ahorro



El dato de consumo de agua potable en campus USFQ se considera como un mismo valor (promedio) para todos los meses, considerando que el uso de agua potable no es solo para consumo humano sino que este también está destinado a otras actividades como riego, entonces se podría asumir que desde octubre hasta mayo que se considera el periodo de lluvia, el consumo podría ser menor al valor con el cual se está analizando la oferta hídrica disponible.

Dentro de las propuestas para el uso de agua lluvia, se consideran únicamente actividades o usos que no requieran de agua potable; pero, no se conocen los consumos o dotaciones exactas por cada actividad, uso y edificio para tener un análisis más acertado.

Análisis de la oferta hídrica pluvial para riego

Para lograr una evaluación más certera sobre la implementación de agua lluvia en campus USFQ, se analizará individualmente la disponibilidad hídrica pluvial para su uso en riego de áreas verdes del campus.

Áreas verdes principales en campus USFQ

A continuación, se detallan las principales áreas verdes del campus USFQ y los edificios/techos a sus alrededores de los cuales se podría obtener la cantidad de agua necesaria para regar estos espacios.



Figura 44. Cuadrángulos



Figura 45. Plaza Da Vinci



Figura 46. Plaza Maxwell



Figura 47. Alrededores de la laguna



Figura 48. Plaza Aristóteles



Figura 49. Canchas volley



Figura 50. Cancha de césped

Tabla 16. Áreas verdes y obtención de agua lluvia por zona

Área Verde	Área (m2)	Edificio/techo para obtención de agua lluvia para riego
Cuadrángulos	766.97	Galileo y Newton
		Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca
		Planta física
Plaza Da Vinci	805.00	Da Vinci
Plaza Maxwell	140.20	Maxwell
Alrededores de la laguna	2761.00	Coliseo Alexandros
		Pagoda
		Galileo y Newton
Plaza Aristóteles	623.00	Miguel de Santiago
		Aristóteles
Canchas de volley	1699.00	Coliseo Alexandros
		Mozart
		Edif. Alado del Obelisco
Cancha de césped	1127.00	Coliseo Alexandros
ÁREA TOTAL	7922.17	m2

En la Tabla 16 se enlistan las áreas verdes principales del campus USFQ se midió la superficie de cada una de estas y se proponen los edificios/ techos de los cuales se puede obtener el agua lluvia necesario para el riego de estos espacios. Una vez determinados los edificios para la obtención de agua pluvial se analiza su disponibilidad hídrica, misma que se muestra en la Tabla a continuación:

Tabla 17. Disponibilidad hídrica pluvial para riego

Edificio	Q Enero (m3)	Q Febrero (m3)	Q Marzo (m3)	Q Abril (m3)	Q Mayo (m3)	Q Junio (m3)	Q Julio (m3)	Q Agosto (m3)	Q Septiembre (m3)	Q Octubre (m3)	Q Noviembre (m3)	Q Diciembre (m3)
Galileo y Newton	128.12	149.24	221.42	209.51	109.26	50.16	23.45	27.83	75.70	178.04	198.14	131.22
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	168.48	196.26	291.17	275.52	143.67	65.96	30.84	36.59	99.55	234.13	260.56	172.56
Entrada Hall Principal	14.55	16.94	25.14	23.79	12.40	5.69	2.66	3.16	8.59	20.21	22.50	14.90
Planta física	29.09	33.89	50.28	47.58	24.81	11.39	5.32	6.32	17.19	40.43	44.99	29.80
DaVinci	105.04	122.35	181.52	171.77	89.57	41.12	19.22	22.81	62.06	145.96	162.44	107.58
Maxwell	58.87	68.57	101.74	96.27	50.20	23.05	10.77	12.79	34.78	81.81	91.04	60.29
Coliseo Alexandros	116.51	135.72	201.35	190.53	99.36	45.61	21.32	25.31	68.84	161.91	180.18	119.33
Pagoda	16.39	19.09	28.33	26.80	13.98	6.42	3.00	3.56	9.68	22.78	25.35	16.79
Aristóteles	109.48	127.52	189.20	179.03	93.36	42.86	20.04	23.78	64.68	152.13	169.30	112.12
Miguel de Santiago	18.78	21.88	32.46	30.71	16.02	7.35	3.44	4.08	11.10	26.10	29.04	19.24
Mozart	16.46	19.17	28.44	26.92	14.04	6.44	3.01	3.57	9.72	22.87	25.45	16.86
Edif. Alado de el Obelisco	6.16	7.18	10.65	10.07	5.25	2.41	1.13	1.34	3.64	8.56	9.53	6.31
Q total mensual	787.93	917.81	1361.70	1288.49	671.91	308.46	144.21	171.14	465.54	1094.94	1218.53	806.98

Antes de realizar un balance hídrico y determinar la viabilidad de este uso, se deben tomar en cuenta las condiciones de riego. Para ello se considerarán especificaciones de riego sugeridas para césped como parámetro general, estos valores sugeridos podrían variar dependiendo de la zona geográfica, condiciones climáticas, tipo de césped/planta.

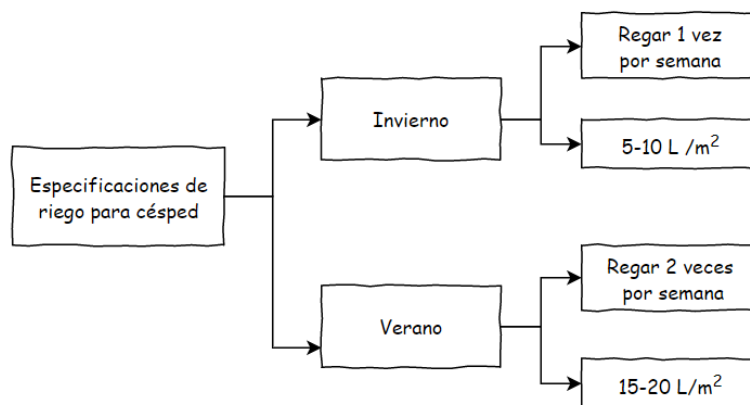


Figura 51. Especificaciones de riego para césped

Con el propósito de obtener una comprensión más profunda, se realizará un análisis separado por cada época, invierno y verano. Para ello se tomará un promedio de la cantidad de agua necesaria para el riego como se especifica en la Fig. 51.

Para poder realizar el análisis hídrico se deberá determinar el agua necesaria para riego por temporada, para ello se tomará el promedio del valor sugerido en las especificaciones:

Cantidad de agua necesaria para riego durante invierno:

$$7.5 \frac{L}{m^2} \cdot \frac{1 \text{ vez}}{\text{semana}} \cdot \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 32.12 \frac{L}{m^2} \text{ al mes}$$

$$32.14 \frac{L}{m^2} \cdot 7922.17 m^2 \cdot \frac{1m^3}{1000L} = 254.64 \frac{m^3}{mes}$$

$$254.64 \frac{m^3}{mes}$$

Cantidad de agua necesaria para riego durante verano:

$$17.5 \frac{L}{m^2} \cdot \frac{2 \text{ vez}}{\text{semana}} \cdot \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 150.00 \frac{L}{m^2} \text{ al mes}$$

$$150.00 \frac{L}{m^2} \cdot 7922.17 m^2 \cdot \frac{1m^3}{1000L} = 1188.325 \frac{m^3}{mes}$$

$$1188.33 \frac{m^3}{mes}$$

Análisis de la oferta hídrica pluvial para riego durante invierno:

Los meses que conforman la temporada de lluvia son desde octubre hasta mayo:

Tabla 18. Balance hídrico para riego durante invierno

Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m ³)	Consumo (m ³)	Oferta (m ³)
Enero	787.93	254.64	533.29
Febrero	917.81		663.17
Marzo	1361.70		1107.06
Abril	1288.49		1033.85
Mayo	671.91		417.27
Octubre	1094.94		840.30
Noviembre	1218.53		963.89
Diciembre	806.98		552.34
			6111.16

De la Tabla 18 se puede observar que el agua recolectada de los techos satisface la demanda para riego durante los ochos meses de la temporada de lluvias y además existen un sobrante de agua mismo que se podría usar durante el verano en caso de ser necesario.

Análisis de la oferta hídrica pluvial para riego durante verano:

Los meses de verano son 4 meses: junio, julio, agosto y septiembre.

Tabla 19. Balance hídrico para riego durante verano

Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m ³)	Consumo (m ³)	Oferta (m ³)
Junio	308.46	1188.33	-879.87
Julio	144.21		-1044.12
Agosto	171.14		-1017.19
Septiembre	465.54		-722.79
			-3663.98

Conforme a la Tabla 19, para los meses de verano hay un déficit del agua lluvia, por lo tanto, no satisface la demanda durante esta temporada. No obstante, durante la temporada de agua lluvia hay un exceso del agua lluvia, por lo tanto, el déficit de verano se puede cubrir con el agua sobrante de verano. Para ello se debería almacenar el agua lluvia de la temporada de invierno.

Análisis económico y sostenible del uso de agua lluvia para riego

Se determinará el ahorro económico y de agua potable al usar agua lluvia como una alternativa para el riego de las principales áreas verdes del campus.

CUADRO N° 1						
PLIEGO TARIFARIO						
CONSUMOS: DOMESTICO, OFICIAL Y MUNICIPAL						
VIGENTE A PARTIR DE CONSUMOS DE JUNIO DE 2015						
CARGO FIJO POR CONEXIÓN USD	RANGOS DE CONSUMO					
	0 - 11 m ³		12 - 18 m ³		> 18 m ³	
	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD	Tarifa básico USD	Tarifa adicional USD
2,10	0,00	0,31	3,41	0,43	6,42	0,72

CUADRO N° 2	
PLIEGO TARIFARIO	
CONSUMOS COMERCIAL E INDUSTRIAL	
CARGO FIJO CONEXIÓN USD	TARIFA USD/m ³
2,10	0,72

CUADRO N° 3		
Descuento por condición socioeconómica en función de la sectorización económica del suelo urbano del DMQ		
Sector Económico	Descuento	Sector económico
9	22,00%	Bajo
8	22,00%	Bajo-medio
7	10,00%	Bajo-alto
6	10,00%	Medio-bajo
5	5,00%	Medio
4	0,00%	Medio-alto
3	0,00%	Alto-bajo
2	0,00%	Alto-medio
1	0,00%	Alto

* La Metodología, conformación y cálculo por sector económico viene definido en la zona catastral municipal

Figura 52. Tarifario de agua potable

Fuente: EPMAPS

Considerando la tarifa comercial del cuadro N°2 del EPMAPS de la Fig. 52 se estima que el valor a pagar cada mes sería $2350 \times \$0.72 = \$ 1 694.1$ asumiendo que cada mes se consumen 2350 m^3 . Del balance hídrico realizado tanto para la temporada de invierno como de verano, se concluye que la disponibilidad hídrica pluvial si cubre con la cantidad de agua necesaria para riego.

Tabla 20. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para riego

Análisis Económico y sostenible					
/ Mes		Verano		Invierno	
Consumo (m ³)	Valor a pagar (\$)	Ahorro/mes (\$)	Ahorro agua potable/mes (m ³)	Ahorro/mes (\$)	Ahorro agua potable/mes (m ³)
2350	\$ 1,694.10	\$ 856.80	1188.33	\$ 184.54	254.64

Al utilizar agua pluvial como una alternativa sostenible para el riego se ahorran al menos 1188.33 m^3 de agua potable durante cada mes de verano lo cual representa aproximadamente

\$856.80 por mes, y 254.64 m³ y \$184.54 cada mes de invierno. Al año se ahorrarían 6790.44 m³ de agua potable y la Universidad ahorraría al menos \$4 891.22. Sin embargo, este ahorro no es neto, ya que se necesita de un sistema de recolección, almacenamiento, recolección y distribución del agua lluvia de los techos.

Análisis de la oferta hídrica pluvial para descarga de sanitarios

Para poder analizar la oferta hídrica pluvial para baños y el uso de agua lluvia principalmente en inodoros y urinarios, se determinará la demanda de esta mediante una dotación per cápita con valores referenciales. De acuerdo con el informe del 2022, en la universidad hay alrededor de 9000 estudiantes de grado, posgrado, intercambio y de diversidad étnica. La USFQ cuenta con al menos 500 profesores a tiempo completo y 400 a tiempo parcial. Y se podría aproximar al menos 1000 personas en temas administrativos, de apoyo, entre otros. Es decir, que la población de la USFQ se puede aproximar a 10 900 personas.

Para determinar el consumo de agua en inodoros y urinarios se toma como referencia el valor referido por López en la Tabla 4.1 de su libro Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados (Ver Anexo 1). De esta forma se calcula el consumo para baños mediante una dotación per cápita para una población de 10 500 personas (este es un valor aproximado considerando el número de personas que trabajan a tiempo parcial).

$$40 \frac{L}{hab \cdot d} \times 10\,500 \text{ hab} \times 30.5 \frac{días}{mes} = 12\,810\,000 \frac{L}{mes}$$

$$12\,810 \frac{m^3}{mes}$$

De acuerdo con el valor calculado, el consumo para la descarga de sanitarios sería de 12 810 m³ al mes, es decir que este valor es casi 5 veces más el consumo del campus. Sin embargo, este cálculo no es completamente fiable debido a que la dotación sugiere que al menos cada persona utilice al menos 3 veces el inodoro, además se considera que tanto inodoros como

urinarios descargan la misma cantidad. Se debería llevar a cabo encuestas ya que también se deben considerar otros factores como horarios de estudiantes, profesores, personal administrativo; también su distribución, es decir tener un enfoque únicamente para el campus ya que este consumo puede ser compartido con los edificios del Hayek ya que se está considerando casi el número total de la población de la comunidad USFQ.

Considerando los detalles previamente mencionados y con el propósito de obtener una estimación más precisa, se ajustarán los siguientes valores dentro del cálculo como se muestra a continuación:

- Para el valor de consumo de 40 L/Hab/día, se utilizará únicamente un tercio de este, asumiendo que todas las personas usan al menos una vez al día el baño y no las 3 debido a horarios de clase, asistencia entre otros.
- Para el número de habitantes se utilizará el 50% de la población total de la comunidad USFQ. No es preciso calcular para el número total ya que la distribución de toda la comunidad USFQ está repartida entre campus, Hayek, Hospital de los Valles y demás extensiones y programas.
- El número de días al mes únicamente serán 18 días. Pensando en que la USFQ los estudiantes asisten de lunes a jueves de manera regular y viernes a medio tiempo según sus actividades. Por lo tanto, se consideraron 4 días completos laborales y uno y medio para los viernes para considerar además de la asistencia de los estudiantes a profesores, personal de apoyo, entre otros.

Realizando estos ajustes, se mejoró la precisión del cálculo obteniendo el siguiente valor:

$$13.33 \frac{L}{hab \cdot d} \times 5450 \text{ hab} \times 18 \frac{días}{mes} = 1\,307\,673 \frac{L}{mes}$$

$$1\,307.67 \frac{m^3}{mes}$$

$$\approx 1\,308 \frac{m^3}{mes}$$

Tabla 21. Balance hídrico para sanitarios

BALANCE HÍDRICO PARA SANITARIOS			
	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m ³)	Consumo (m ³)	Oferta (m ³)
Enero	1234.60	1308.00	-73.40
Febrero	1438.12		130.12
Marzo	2133.64		825.64
Abril	2018.93		710.93
Mayo	1052.82		-255.18
Junio	483.32		-824.68
Julio	225.96		-1082.04
Agosto	268.16		-1039.84
Septiembre	729.45		-578.55
Octubre	1715.65		407.65
Noviembre	1909.30		601.30
Diciembre	1264.46		-43.54

A partir de los cálculos presentados en la Tabla 21, se puede concluir que los meses que pueden satisfacer la demanda de la descarga de sanitarios son: febrero, marzo, abril, octubre y noviembre, además estos además de atender la demanda también se podría almacenar el exceso sin utilizar que serían alrededor de 2675.64 m³; no obstante, este excedente podría no ser suficiente para cubrir el déficit (3897.23 m³) de los otros meses.

Análisis económico y sostenible del uso de agua lluvia para descarga de sanitarios

Una vez obtenido el balance hídrico para el uso de agua lluvia para la descarga de sanitarios se procede a calcular el ahorro tanto económico como de agua potable para la implementación de agua lluvia en este uso. Además, se incluirá un rubro de ahorro considerando el agua que puede almacenarse y podría utilizarse en algún otro uso.

Para los cálculos, se toma en cuenta los tarifarios de la Fig. 52.

Tabla 22. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para descarga de sanitarios

Análisis Económico y sostenible						
Descarga de sanitarios			Almacenamiento /mes		Total	
	Ahorro(\$)	Ahorro agua potable (m3)	Ahorro (\$)	Ahorro agua potable (m3)	Ahorro(\$)	Ahorro agua potable (m3)
Febrero	\$ 943.86	1308	\$ 95.79	130.12	\$1,039.65	1438.12
Marzo			\$ 596.56	825.64	\$1,540.42	2133.64
Abril			\$ 513.97	710.93	\$1,457.83	2018.93
Octubre			\$ 295.61	407.65	\$1,239.47	1715.65
Noviembre			\$ 435.04	601.3	\$1,378.90	1909.3

En la Tabla 22 se muestra el ahorro de agua potable de 1308 m³ para los meses de febrero, marzo abril, octubre y noviembre. Adicionalmente, se considera el volumen de agua que se puede almacenar y que podría ser utilizado en riego y/o limpieza; este rubro también se calcula como un ahorro adicional. Utilizando agua lluvia como alternativa para la descarga de inodoros se podría ahorrar al menos \$ 6 655.62 y aproximadamente 9215 m³ al año, considerando que solo se podrían implementar durante los 5 meses establecidos y utilizando en otro uso el agua lluvia excedente durante estos meses.

Análisis de la oferta hídrica pluvial para limpieza

Para determinar la demanda de agua potable para limpieza se considerarán las áreas de los techos (Tabla 1) para estimar el área de oficinas considerando el número de pisos y el valor de consumo típico de la Tabla 4.3 del libro de López para consumos típicos para oficinas (Ver Anexo 2). Se realizará el siguiente cálculo, reemplazando los valores correspondientes a cada edificio.

Cálculo por realizar:

$$80 \frac{L}{\text{día} \cdot 10m^2 \cdot \text{piso}} \times 30.5 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times \#m^2 \cdot \text{piso} = \# \frac{L}{\text{mes}}$$

Tabla 23. Consumo de agua potable para limpieza

Edificio	Área de techo (m ²)	# Pisos	Consumo (L/mes)	Consumo (m ³ /mes)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	2467.00	2	1203896.00	1203.90
Galileo y Newton	1876.00	3	1373232.00	1373.23
Clínica Odontológica e IMC	1712.00	3	1253184.00	1253.18
Coliseo Alexandros	1706.00	1	416264.00	416.26
Aristóteles	1603.00	1	391132.00	391.13
DaVinci	1538.00	3	1125816.00	1125.82
Maxwell	862.00	3	630984.00	630.98
Sócrates	582.00	1	142008.00	142.01
Einstein	485.00	2	236680.00	236.68
Lao Tse	467.00	1	113948.00	113.95
Edif. Espejo (Hall Principal)	454.00	2	221552.00	221.55
Casa Blanca	451.00	2	220088.00	220.09
Planta física	426.00	1	103944.00	103.94
Epicuro y Cicerón	349.00	3	255468.00	255.47
Hannah Arendt	338.00	2	164944.00	164.94
Casa Tomate	306.00	2	149328.00	149.33
Darwin	283.00	2	138104.00	138.10
Entrada a edificios CHAT	280.00	1	68320.00	68.32
Miguel de Santiago	275.00	3	201300.00	201.30
Mozart	241.00	1	58804.00	58.80
Pagoda	240.00	1	58560.00	58.56
Entrada Hall Principal	213.00	1	51972.00	51.97
Taller de Metal	204.00	1	49776.00	49.78
Conexión Maxwell y Casa Blanca	122.00	1	29768.00	29.77
Herbario	121.00	1	29524.00	29.52
Techo2 entrada principal 2	106.00	1	25864.00	25.86
Edif. Alado de el Obelisco	90.20	1	22008.80	22.01
Techo1	88.60	1	21618.40	21.62
Techo2	81.50	1	19886.00	19.89
Techo1 entrada principal	62.50	1	15250.00	15.25
Techo 4	31.80	1	7759.20	7.76
Techo 3	16.00	1	3904.00	3.90
			TOTAL	8804.89

En la Tabla 23 se muestra la demanda para limpieza de cada edificio. En total, el cálculo indica que se requerirían 8 804.89 m³ al mes para la limpieza de todo el campus, dicho valor excede el valor referencial del consumo total (2 350m³). Para obtener una estimación más precisa se ajustarán los valores dentro del cálculo como se explica a continuación:

- El valor para consumo de oficinas de 80 L/10 m²/día se reducirá a 50 L/10 m²/día, considerando que los carros de limpieza utilizando en la USFQ tienen una capacidad máxima de 10 L, pero se los llenan hasta la mitad y su contenido se cambia hasta 10 veces al día (dependiendo el uso) de esta manera obtenemos el valor promedio de consumo de: 25 L/10 m²/día.

- Para el número de días solo se contarán los días laborales en la USFQ que son 4 (lunes a jueves) y se considerarán los días viernes como medio día laboral, en total 18 días al mes.

Consumo ajustado:

$$25 \frac{L}{\text{día} \cdot 10\text{m}^2 \cdot \text{piso}} \times 18 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times \#m^2 \cdot \text{piso} = \# \frac{L}{\text{mes}}$$

Tabla 24. Consumo ajustado de agua potable para limpieza

Edificio	Área de techo (m2)	# Pisos	Consumo (L/mes)	Consumo (m3/mes)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	2467.00	2	222030.00	222.03
Galileo y Newton	1876.00	3	253260.00	253.26
Clínica Odontológica e IMC	1712.00	3	231120.00	231.12
Coliseo Alexandros	1706.00	1	76770.00	76.77
Aristóteles	1603.00	1	72135.00	72.14
Da Vinci	1538.00	3	207630.00	207.63
Maxwell	862.00	3	116370.00	116.37
Sócrates	582.00	1	26190.00	26.19
Einstein	485.00	2	43650.00	43.65
Lao Tse	467.00	1	21015.00	21.02
Edif. Espejo (Hall Principal)	454.00	2	40860.00	40.86
Casa Blanca	451.00	2	40590.00	40.59
Planta física	426.00	1	19170.00	19.17
Epicuro y Cicerón	349.00	3	47115.00	47.12
Hannah Arendt	338.00	2	30420.00	30.42
Casa Tomate	306.00	2	27540.00	27.54
Darwin	283.00	2	25470.00	25.47
Entrada a edificios CHAT	280.00	1	12600.00	12.60
Miguel de Santiago	275.00	3	37125.00	37.13
Mozart	241.00	1	10845.00	10.85
Pagoda	240.00	1	10800.00	10.80
Entrada Hall Principal	213.00	1	9585.00	9.59
Taller de Metal	204.00	1	9180.00	9.18
Conexión Maxwell y Casa Blanca	122.00	1	5490.00	5.49
Herbario	121.00	1	5445.00	5.45
Techo2 entrada principal 2	106.00	1	4770.00	4.77
Edif. Alado de el Obelisco	90.20	1	4059.00	4.06
Techo1	88.60	1	3987.00	3.99
Techo2	81.50	1	3667.50	3.67
Techo1 entrada principal	62.50	1	2812.50	2.81
Techo 4	31.80	1	1431.00	1.43
Techo 3	16.00	1	720.00	0.72
			TOTAL	1623.85

Realizando los ajustes en el cálculo, se obtiene un valor estimado para el consumo de limpieza del campus USFQ a 1623.85 m³ de agua al mes.

Tabla 25. Balance hídrico para limpieza de todo el campus

BALANCE HÍDRICO PARA LIMPIEZA			
	Disp. Hídrica Caudal de escorrentía (m³)	Consumo (m³)	Oferta (m³)
Enero	1234.60	1623.85	-389.25
Febrero	1438.12		-185.73
Marzo	2133.64		509.79
Abril	2018.93		395.08
Mayo	1052.82		-571.03
Junio	483.32		-1140.53
Julio	225.96		-1397.89
Agosto	268.16		-1355.69
Septiembre	729.45		-894.40
Octubre	1715.65		91.80
Noviembre	1909.30		285.45
Diciembre	1264.46		-359.39

De la Tabla 25 se puede concluir que toda el agua lluvia captada en el campus de todos los edificios únicamente cubre con la demanda para limpieza para 4 meses siendo estos: marzo, abril, octubre y noviembre. El exceso de agua de los cuatro meses no cumple con el déficit de los restantes, pero se podría utilizar en otro uso y todavía representaría ahorro de agua potable y económico.

Analizando las unidades para las cuales sugiere el valor de consumo típico de agua potable para oficinas, se realizará un balance hídrico por cada edificio/lugar para un análisis más preciso en función de la superficie total de cada uno (Ver Anexo C).

En el Anexo C se muestra el balance hídrico para cada edificio/techo, los valores resaltados en verdes indican que en esos meses la oferta si cubre la demanda y además existe un exceso de agua lluvia, misma que puede ser almacenada y cubrir el déficit (valores resaltados en rojo) de los otros meses en el mismo uso dependiendo el edificio o caso contrario esta agua lluvia podría ser utilizada en otra actividad.

Los edificios que pueden utilizar el agua lluvia como alternativa viable considerando que la oferta de agua pluvial está disponible para ciertos meses, pero es excesiva y puede cubrir el déficit de los meses en los que la oferta no cubra con la demanda para su uso en limpieza son:

- Coliseo Alexandros
- Aristóteles
- Sócrates
- Lao Tse
- Planta física
- Entrada a edificios CHAT
- Mozart
- Pagoda
- Entrada Hall Principal
- Taller de Metal
- Conexión Maxwell y Casa Blanca
- Herbario
- Edificio alado del Obelisco
- Techo 1,2,3,4 entrada principal 1

Techo 1 y 2 entrada principal Existe otro grupo de edificios en los que la oferta solo cubre la demanda de 4 meses, pero hay mayor déficit que exceso. Estos edificios son:

- Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca
- Einstein
- Edif Espejo
- Casa Blanca
- Hannah Arendt

- Casa Tomate
- Darwin

Finalmente, los edificios en los que su oferta pluvial no es suficiente para cubrir con la demanda para ningún periodo de tiempo son:

- Galileo y Newton
- Clínica Odontológica e IMC
- DaVinci
- Maxwell
- Epicuro y Cicerón
- Miguel de Santiago

Análisis económico y sostenible del uso de agua lluvia para limpieza

Para analizar la viabilidad del uso de agua lluvia en la limpieza del campus se considerará de dos maneras: del balance hídrico total de todo el campus, y de cada edificio.

Tabla 26. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para limpieza

Análisis Económico y sostenible para el campus USFQ						
LIMPIEZA			Almacenamiento /mes		Total	
	Ahorro(\$)	Ahorro agua potable (m3)	Ahorro (\$)	Ahorro agua potable (m3)	Ahorro(\$)	Ahorro agua potable (m3)
Marzo	\$ 1,171.27	1623.85	\$ 369.15	509.79	\$1,540.42	2133.64
Abril			\$ 286.56	395.08	\$1,457.83	2018.93
Octubre			\$ 68.20	91.8	\$1,239.47	1715.65
Noviembre			\$ 207.62	285.45	\$1,378.90	1909.3

Realizando un análisis económico para el uso de agua pluvial recolectada de todos los techos del campus y su uso en todos los edificios para los meses de marzo, abril, octubre y noviembre se ahorraría \$ 5 616.62 y 7777.52 m³ de agua potable al año, también considerando el uso del exceso de agua de estos meses en otros usos.

Para poder realizar un análisis económico y sostenible considerando el caso de cada edificio, se obtendrá la suma del consumo que se puede cubrir con agua pluvial de cada mes

dependiendo el edificio/techo y de igual manera para calcular el volumen de agua para almacenamiento.

Tabla 27. Ahorro económico y de agua potable utilizando agua lluvia para limpieza por mes considerando las especificaciones de cada edificio

Análisis Económico y sostenible considerando cada edificio						
LIMPIEZA			Almacenamiento /mes		Total	
	Ahorro(\$)	Ahorro agua potable (m3)	Ahorro (\$)	Ahorro agua potable (m3)	Ahorro(\$)	Ahorro agua potable (m3)
Enero	\$ 222.04	305.47	\$ 115.92	158.09	\$ 337.96	463.56
Febrero	\$ 170.10	233.33	\$ 286.56	395.08	\$ 456.66	628.41
Marzo	\$ 532.04	736.03	\$ 455.50	629.73	\$ 987.54	1365.76
Abril	\$ 532.04	736.03	\$ 207.62	285.45	\$ 739.67	1021.48
Mayo	\$ 222.04	305.47	\$ 66.78	89.83	\$ 288.82	395.30
Junio	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00
Julio	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00
Agosto	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00
Septiembre	\$ -	0.00	\$ -	0.00	\$ -	0.00
Octubre	\$ 532.04	736.03	\$ 262.86	362.17	\$ 794.91	1098.20
Noviembre	\$ 565.96	783.15	\$ 352.11	486.13	\$ 918.08	1269.27
Diciembre	\$ 222.04	305.47	\$ 123.99	169.30	\$ 346.03	474.77
					\$ 4,869.66	6716.74

De la Tabla 27 se puede concluir que, considerando el agua recolectada de cada techo, se podría utilizar en la temporada de lluvia, de esta se podría almacenar el exceso y se debería dosificar de manera adecuado y justa las cantidades de agua por cada edificio para poder utilizarla en el mismo uso, caso contrario el agua almacenada se podría utilizar en otra actividad. Además, el ahorro económico puede ser mayor ya que en estos cálculos no se consideró el agua pluvial que puede ser recolectada de los edificios donde la oferta no satisface la demanda pero que podría ser almacenada. El ahorro económico de \$ 4 869.66 y 6716 m³ de agua potable representa un 25% de ahorro o reducción anual.

Sistemas de captación de agua lluvia

Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua lluvia (SCALL) permite interceptar, recolectar y almacenar agua lluvia. Estos sistemas constan de: área de captación, área de conducción, desvío al drenaje, prefiltración y almacenamiento. En función del uso del agua pluvial también se deben considerar el uso de filtros o purificadores (Ortiz Moreno et al., 2014).

La principal área de captación de agua pluvial en el campus USFQ son los techos de los edificios, por lo tanto, se considera el diseño e implementación de un sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT). Los componentes principales de estos sistemas son:

- Captación: es el área del techo de la edificación. Los materiales de los techos que se consideran aptos para obtención de agua son: teja, madera, lámina galvanizada, entre otros, los que se excluyen por temas de contaminación son paja y lámina de asbesto. El volumen de agua lluvia a captar depende del área del techo, por lo que se recomienda aplicar estos sistemas a superficies mínimas de 36m^2 y con pendiente mínima de 2% para generar escurrimiento hacia las canaletas pero para el cálculo se considera la proyección horizontal del techo (*IV Reunión Nacional sobre Sistemas de captación de Lluvia*, 1997; UNATSABAR, 2001).
- Recolección y conducción: son las canaletas adosadas a los bordes de los techos que permiten que el agua lluvia se acumule, se descargue a una pieza especial de campana y luego fluya por una conducción vertical de PVC. Se recomienda implementar filtros como mallas o un dispositivo que permite la entrada de material sólido como hojas que se arrastran en la captación. La pendiente mínima de la canaleta es de 2% para garantizar velocidades óptimas y evitar sedimentación en el sentido del flujo hacia las conducciones verticales. Las longitudes de las canaletas son variables y depende del

área de captación (*IV Reunión Nacional sobre Sistemas de captación de Lluvia*, 1997; UNATSABAR, 2001).

- **Interceptor:** también denominado dispositivo de descarga de las primeras aguas. Usualmente es un tanque que almacena el agua proveniente del lavado del techo por lo tanto cuenta con presencia de contaminantes de dicha precipitación. El objetivo principal de implementar este dispositivo es minimizar la contaminación del agua antes de que esta se almacene y posteriormente se utilice. Como consideración para el diseño se estima 1 L por m² (UNATSABAR, 2001).
- **Almacenamiento:** el agua recolectada es almacenada en tanques cuyo volumen debe ser calculado para la oferta de agua pluvial que puede ser recolectada. Los tanques deben cumplir con las siguientes características: se impermeables para evitar pérdidas por transpiración o fugas, ser herméticos para evitar la contaminación y disponer de una abertura lo suficientemente amplia para limpieza y mantenimiento (UNATSABAR, 2001).

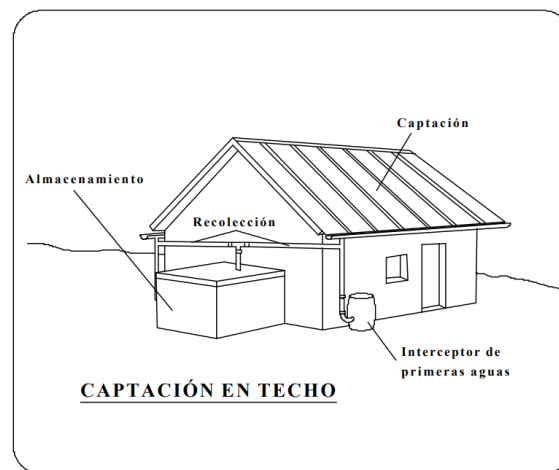


Figura 53. Componente de un sistema de captación de agua lluvia en techos SCAPT

Fuente: (UNATSABAR, 2001)

Además de los componentes mostrados en la Fig. 53. Se deben considerar una red de distribución conformada de tuberías en caso de requerirlo y obras complementarias como

tanques de sedimentación tratamientos como clorinación si el agua es para consumo humano y/o bombas dependiendo la ubicación del tanque y su distribución.

Diseño de un sistema de captación de agua pluvial en techos

Área de captación

El área de captación son las áreas de los techos del campus USFQ (Ver Tabla 1). El caudal de esorrentía se determinó mediante el método racional donde las variables cómo el coeficiente de esorrentía se describe en la Tabla 5 y los caudales se determinaron mediante un estudio hidrológico obteniendo datos de las precipitaciones desde el año 1994 hasta el 2022 de las estaciones meteorológicas INHAMI (Tumbaco y La Tola) y EMA (Campus USFQ). El caudal de esorrentía calculado se presenta en las Tablas 9,10 y 11.

Recolección y conducción

Para implementar un sistema SCAPT en la USFQ es necesario modificar o adaptar las instalaciones para no incurrir en gastos económicos. En caso de que las tuberías de conducción no permitan la conexión hacia los tanques de almacenamiento el cálculo para el diámetro debe ser considerado específico para cada edificio (pendiente) y calcular con el caudal de esorrentía máximo. A continuación, se presentan las ecuaciones y cálculos que deberían realizarse en caso de requerirlo, para ello se debería analizar y estudiar las instalaciones de cada techo/ edificio.

Para determinar el diámetro de la tubería de conducción:

$$D = 1.548 \left(\frac{n * Qp}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/8}$$

(Gribbin, 2014)

Donde:

D: diámetro de tubería de conducción (m)

n: coeficiente de Manning para PVC (-)

Qp: caudal de escorrentía (m³/s)

S: pendiente (m/m)

El radio hidráulico es la dimensión característica de los canales abiertos. El radio hidráulico es la relación de área transversal neta de una corriente al perímetro mojado:

$$R = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro mojado}}$$

(Mott, 2010)

El perímetro mojado es la suma de las fronteras sólidas que entran en contacto con el fluido, en este caso con el agua lluvia y el área depende de la sección geométrica de la canaleta.

Para determinar el caudal máximo de la canaleta se utiliza la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \cdot A$$

(Gribbin, 2014)

Donde:

Q: caudal para un canal abierto (m³/s)

n: coeficiente de rugosidad (-) Ver Anexo D.

R: radio hidráulico (m)

A: área de la sección transversal (m²)

S_o: pendiente del canal (m/m)

Interceptor de primeras aguas

Para determinar el volumen de los tanques interceptores de primeras aguas se sigue el parámetro de UNATSABAR en donde indican que se quiere 1L de agua pluvial por cada m² de la superficie del techo. Por lo tanto, se implementa la siguiente ecuación:

$$V = 1 \frac{L}{m^2} \cdot A$$

Donde:

V: volumen del tanque interceptor de primeras aguas

A: área del techo

Los tanques de primeras aguas tienen por objetivo principal separar los sólidos suspendidos más grandes y pesados. Estos sólidos y materiales flotantes tienden a asentarse en el fondo del tanque.

Tabla 28. Volumen de tanque(s) para interceptar primeras aguas

Edificio	Área de techo (m ²)	V 1eras aguas (m ³)	V 1eras aguas (L)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	2467.00	2467.00	24.67
Galileo y Newton	1876.00	1876.00	18.76
Clínica Odontológica e IMC	1712.00	1712.00	17.12
Coliseo Alexandros	1706.00	1706.00	17.06
Aristóteles	1603.00	1603.00	16.03
DaVinci	1538.00	1538.00	15.38
Maxwell	862.00	862.00	8.62
Sócrates	582.00	582.00	5.82
Einstein	485.00	485.00	4.85
Lao Tse	467.00	467.00	4.67
Edif. Espejo (Hall Principal)	454.00	454.00	4.54
Casa Blanca	451.00	451.00	4.51
Planta física	426.00	426.00	4.26
Epicuro y Cicerón	349.00	349.00	3.49
Hannah Arendt	338.00	338.00	3.38
Casa Tomate	306.00	306.00	3.06
Darwin	283.00	283.00	2.83
Entrada a edificios CHAT	280.00	280.00	2.8
Miguel de Santiago	275.00	275.00	2.75
Mozart	241.00	241.00	2.41
Pagoda	240.00	240.00	2.4
Entrada Hall Principal	213.00	213.00	2.13
Taller de Metal	204.00	204.00	2.04
Conexión Maxwell y Casa Blanca	122.00	122.00	1.22
Herbario	121.00	121.00	1.21
Techo2 entrada principal 2	106.00	106.00	1.06
Edif. Alado de el Obelisco	90.20	90.20	0.902
Techo1	88.60	88.60	0.886
Techo2	81.50	81.50	0.815
Techo1 entrada principal	62.50	62.50	0.625
Techo 4	31.80	31.80	0.318
Techo 3	16.00	16.00	0.16
Área Total	18077.60	18077.60	180.776

Filtros

El SCAPT que se propone implementar en la USFQ es para uso de agua lluvia en usos no potables, por lo tanto, se recomienda implementar filtros como rejillas o mallas en los canales abiertos de los techos para evitar el ingreso de partículas o materiales al tanque de almacenamiento. Para poder determinar la cantidad necesario se debería evaluar la geometría de cada canaleta de cada edificio y considerar los perímetros de estos que se indican en la Tabla 1. El perímetro total de los techos es 3548.60 m



Figura 54. Filtro de hojas

Tanque de almacenamiento

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$V = Aa - Da$$

(UNATSABAR, 2001)

Donde:

V: volumen del tanque de almacenamiento para el mes

A: volumen de agua captada en el mes

D: volumen de agua demandada para el mes

El volumen de tanque de almacenamiento depende de cada uso y este es igual a la oferta calculada de los balances hídricos (Tabla 19, 20, 22 y 26).

Tabla 29. Volumen de tanques

Uso	Volumen (m ³)
Riego	6111.161
Sanitarios	2675.639
Limpieza	1282.124

En la Tabla 30 se muestran los volúmenes de los tanques para poder almacenar el agua lluvia recolectada para cada mes y de acuerdo con su uso. Los volúmenes mostrados son de millones de litros; sin embargo, se debe considerar que estos usos son diarios, por lo tanto, el volumen de los tanques se puede disminuir considerando la demanda de cada uso para que a medida que se vaya almacenando el agua lluvia esta también se use y no tenerla estancada para evitar proliferación de plagas como moscos y contaminación del agua.

Volumen de tanques de almacenamiento para riego

Una vez hecho el estudio sobre el uso de agua pluvial para el riego en el campus USFQ, mismo que se dividió en dos temporadas: invierno y verano. Se pudo concluir que es viable almacenar el agua lluvia obtenida durante la temporada de invierno y utilizarla durante el verano. Por lo tanto, el volumen de almacenamiento debe tener la capacidad de mantener en reserva la demanda de agua para riego para los meses de verano: junio, julio, agosto y septiembre.

Tabla 30. Volumen de tanque de almacenamiento para riego

Demanda de riego (m ³ /mes)	# Meses	Volumen del tanque (m ³)
1188.33	4	4753.32

De los cálculos realizados, se obtuvo que la demanda para riego es de 1188.33 m³ por cada mes. Por lo tanto, el total del volumen del tanque debe tener la capacidad de mantener en reserva la demanda para esta temporada de verano es decir 4753.32 m³. No obstante, de

acuerdo con la Tabla 19 la demanda para verano sería de 3663.98 m³ ya que se debe considerar la lluvia de esta temporada. Tomando en cuenta que físicamente no es posible almacenar todo el volumen de agua pluvial del invierno, además que para mantener agua almacenada por tanto tiempo, se requeriría de tratamiento para evitar contaminación y generación de malos olores, microbios, bacterias, entre otros. Se calculará el volumen de los tanques considerando la demanda semanal del uso siguiendo las especificaciones de la Fig 51, utilizando el promedio de las cantidades de agua sugeridas para la demanda de riego y la superficie de cada área verde. Una vez obtenido este valor, se propondrá la distribución y especificaciones de los tanques.

Tabla 31. Demanda semanal para riego

Área Verde	Área (m ²)	Demanda Verano (L/semana)	Demanda Invierno (L/semana)
Cuadrángulos	766.97	26843.95	5752.28
Plaza Da Vinci	805.00	28175.00	6037.50
Plaza Maxwell	140.20	4907.00	1051.50
Alrededores de la laguna	2761.00	96635.00	20707.50
Plaza Aristóteles	623.00	21805.00	4672.50
Canchas de volley	1699.00	59465.00	12742.50
Cancha de césped	1127.00	39445.00	8452.50

Los volúmenes de los tanques pueden disponerse de acuerdo con la demanda semanal para la temporada de invierno de acuerdo con Tabla 31, considerando que la disponibilidad hídrica pluvial es suficiente para cubrir la demanda de esta temporada. Al considerar la demanda de verano, los volúmenes y tamaños de los tanques serían mayores, pero estos no serían prácticos ya que durante 4 meses no hay suficiente disponibilidad hídrica para llenarlos. A continuación, se presenta una propuesta de volúmenes de tanques considerando la distribución de la demanda y la ubicación de los edificios/techos:

Tabla 32. Volumen de tanques sugeridos para captación de agua lluvia en riego

# Tanque por edificios	Distribución de agua captada para áreas verdes	Volumen tanque (L)	Volumen Tanque Comercial Sugerido (L)	Precio Estimado (\$)
1 x Galileo y Newton	100% Alrededores de laguna	20707.50	20000.00	4050
1 x Hall Principal y Planta Física	100% Cuadrángulos	5752.28	5000.00	1050
1 x Da Vinci y Maxwell	100% Plaza Da Vinci	7089.00	5000.00	1050
	100% Plaza Maxwell			
1 x Coliseo Alexandros y Pagoda	100% Cancha de Césped	8452.50	5000.00	1050
1 x Edif alado del Obelisco	30% Canchas de Volley	3822.75	2500.00	270
1 x Mozart	70% Canchas de Volley	8919.75	5000.00	1050
1 x Aristóteles y Miguel de Santiago	100% Plaza Aristóteles	4672.50	2500.00	270
			45000.00	8790.00

El volumen de los tanques podrá cubrir con el 75.74% de la demanda para la temporada de invierno, para verano, el porcentaje será menor, aproximadamente el 10% más o menos dependiendo de la cantidad de lluvia durante la temporada. El costo de los tanques es de \$ 8790.00 y el ahorro de al menos 180 000 L de agua potable en la temporada de invierno y alrededor de 30 000 L en la temporada de verano, tomando estos valores como referencia el ahorro al año sería un valor aproximado de 1560m³ de agua potable y \$1125.3 al año. La inversión se recuperaría en aproximadamente 8 años.

Volumen de tanques de almacenamiento para sanitarios

La demanda de uso de agua para descarga de sanitarios es de aproximadamente 1305 m³ por mes. La oferta hídrica pluvial puede abastecer dicha demanda para los meses de febrero, marzo, abril, octubre y noviembre y además hay un excedente de agua el cual se puede almacenar. A diferencia del caso de riego, el exceso de agua lluvia no puede cubrir el déficit de agua demandada para los meses restantes.

El volumen de los tanques sería igual a la oferta calculada del balance hídrico (Ver Tabla 20) y el total se podría almacenar 2675.39 m³ de agua lluvia de 5 meses. De acuerdo con la Tabla 20 y los valores resaltados en verde en promedio para estos 5 meses se podría recolectar aproximadamente 535 m³ de agua lluvia únicamente por cada mes.

Considerando la demanda semanal para la descarga de sanitarios:

$$13.33 \frac{L}{hab \cdot d} \times 5450 \text{ hab} \times 4.5 \frac{días}{semana} = 326\,918.25 \frac{L}{semana}$$

El volumen del tanque sería de 326 918.25 L. La distribución de la demanda es dependiente de cada edificio, número de baños y usuarios, por lo tanto, el volumen de los tanques depende de estos factores y además del volumen de agua lluvia que puede captar el techo de cada edificio. No se puede proponer una distribución ni volumen de tanques para este uso ya que se necesita información específica de cada edificio.

Volumen de tanques de almacenamiento para limpieza

El consumo de agua potable para limpieza depende de cada edificio, área y número de pisos (Ver Tabla 25). El volumen del tanque sería igual a la oferta del balance hídrico (Ver Tabla 26). Sin embargo, de acuerdo con el balance hídrico, solo se podría almacenar agua lluvia de marzo, abril, octubre y noviembre y en promedio 320.53 m³ cada mes y el exceso de agua durante estos 4 meses tampoco podría cubrir con la demanda de los 8 meses restantes.

Para lograr cubrir la demanda de agua potable para limpieza con agua lluvia recolectada de los techos lo óptimo sería instalar un tanque por edificio y de acuerdo con su demanda específica; sin embargo, debido al espacio físico no sería posible.

Para este uso se sugiere recolectar agua lluvia de los edificios con mayor superficie por ejemplo: Hall principal, Galileo y Newton, Maxwell, Da Vinci, Coliseo Alexandros y que el volumen del tanque sea proporcional al volumen de agua lluvia que puede ser captada por cada techo y espacio físico e incorporar su uso de acuerdo a la disponibilidad hídrica pluvial.

CONCLUSIONES

El agua lluvia es una fuente renovable y gratuita que permite reducir el consumo de agua potable, considerando que este recurso es cada vez más escaso debido al crecimiento de las poblaciones, contaminación de las fuentes, cambio climático y en algunos países conflictos políticos, entre otros. Usar agua lluvia como alternativa en usos que no requieren de agua potable proporciona beneficios de carácter ambiental, económico y social. Para determinar la viabilidad del uso de agua lluvia es importante realizar un estudio hidrológico para determinar la cantidad de lluvia y de acuerdo con el sistema de captación, determinar el volumen que puede ser recolectado y mediante un balance hídrico analizar si la oferta de agua pluvial es suficiente para cubrir con la demanda del uso.

En esta investigación se propuso recolectar el agua lluvia de los techos de los edificios del campus USFQ y analizar su uso en 3 actividades que no requieran de agua potable como son: riego, descarga de sanitarios y limpieza. Del estudio hidrológico se pudo determinar que hay disponibilidad hídrica pluvial para 8 meses siendo estos desde octubre hasta mayo. El caudal de escorrentía calculado mediante el método racional es proporcional al área de captación, es decir, los edificios con mayor área de techo son los que pueden recolectar mayor cantidad de agua lluvia, pero se debe analizar la ubicación del edificio y el uso a aplicar del agua recolectada.

Al analizar el uso de agua lluvia en riego, se determinó utilizar el agua recolectada de los techos cercanos a las áreas verdes. De este análisis se concluye que se podría almacenar el agua lluvia de la temporada de invierno y utilizarla en los meses de verano. Sin embargo, son millones de litros de agua lluvia que no se puede almacenar físicamente y se debería considerar tratamiento para mantener almacenada el agua por lo menos cuatro meses. De esta manera se propuso el diseño del volumen de los tanques de almacenamiento de acuerdo con

la demanda para el riego en invierno considerando que estos tanques estarán llenos los 8 meses de la temporada invernal y cubrirán al menos el 75% de la demanda y entre 10-15% de la demanda en verano.

El análisis realizado para el uso de agua lluvia en descarga de sanitarios y limpieza considera todos los techos del campus USFQ. La demanda se determinó mediante un consumo per cápita y por lo tanto, su análisis no fue tan preciso como el de riego. Se debe considerar para estos usos que la demanda es única para cada edificio, en el caso de descarga de sanitarios se debe considerar número de inodoros, usuarios y número de descargas por día y para limpieza los espacios de cada edificio, especificaciones de limpieza, entre otros. Para estos usos los análisis deberían ser específicos por cada edificio y detallado de acuerdo con sus especificaciones. Para diseñar el sistema de captación de agua lluvia para el uso en descarga de sanitarios y de limpieza sería más viable analizar los siguientes factores: espacio físico para la ubicación del tanque, volumen de agua lluvia que puede ser recolectada y proponer el uso diario del agua almacenada a medida que este se llena.

Al utilizar agua pluvial como una alternativa para riego se ahorraría 6790.44 m³ de agua potable y \$4891.22 al año, para descarga de sanitarios aproximadamente 9215 m³ y \$ 6655.62 al año y para limpieza, 7777.52 m³ y \$5616.62 al año.

Además del estudio hidrológico y el balance hídrico, se debe considerar la instalación del sistema de captación de aguas lluvias en techos SCAPT y su costo, para esto se debe considerar los siguientes componentes: mallas o filtros, tuberías, tanques de primeras aguas para que permita la decantación de partículas, tanques de almacenamiento y en caso de requerir otros equipos como bombas para la descarga de sanitarios, por ejemplo. El costo de inversión inicial puede ser alto y el retorno de esta inversión dependerá del volumen de agua lluvia que pueda ser recolectada y utilizada, más o menos 8 años. También se requiere de

mantenimiento como: limpieza de las canaletas, retiro de hojas y otros escombros. A pesar de que el costo inicial puede ser alto dependiendo de las instalaciones que se requieran, el beneficio es a largo plazo y contribuye al ahorro de un recurso tan vital como lo es el agua.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda realizar un estudio de la demanda hídrica. Para la demanda de riego medir la cantidad de agua lluvia necesaria para invierno y verano de acuerdo con las especificaciones de cada área verde. Para la demanda de sanitarios tener un estudio de demanda por edificio, por baño (segmentado para hombres y mujeres) y por día, contabilizar el número de personas presentes en campus/día. Y, finalmente para la demanda de limpieza hacer un análisis por edificio y por piso. Realizar un levantamiento de información para determinar dotaciones reales de consumo.

Además, se recomienda realizar un estudio de canaletas, tuberías bajantes y sus conexiones para su uso e implementación de sistemas de captación de agua lluvia de los techos y analizar y medir el espacio físico para ubicar tanques de almacenamiento. Para almacenar mayor cantidad de agua lluvia en el campus, también se podría realizar un estudio para incorporar cisternas subterráneas y analizar la viabilidad económica y sostenible de su implementación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, R. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI: strategic resource in the 21st century. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 23, 91–102.
- Allauca, S. (1990). Presencia de la corriente costanera ecuatoriana. *Instituto Oceanográfico de La Armada, Guayaquil, Ecuador*, 6(1).
- Barragán, A., & Ochoa, P. (2014). Estudio de caso: Diseño de viviendas ambientales de bajo costo, Cuenca (Ecuador). *MASKANA*, 5(1), 81–98.
<https://doi.org/10.18537/mskn.05.01.06>
- Cadier, É., Gómez, G., Calvez, R., & Rossel, F. (1994). *Inundaciones y sequías en el Ecuador*.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (2000). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Cortés Cely, O. (2015). Revisión sobre los usos y variables para determinar la calidad del agua pluvial en superficies de cubierta. *Revista de Investigación*, 8(2), 146–159.
<https://doi.org/10.29097/2011-639X.34>
- Delgado Espinoza, F. (2017). Los sistemas precolombinos de manejo del agua en la Costa del Ecuador. *Antropología Cuadernos de Investigación*, 11, 13.
<https://doi.org/10.26807/ant.v0i11.83>
- Gribbin, J. E. (2014). *Introduction to hydraulics and hydrology with applications for stormwater management* (Fourth edition). Delmar/Cengage Learning.
- IV Reunión Nacional sobre Sistemas de captación de Lluvia: 6 al 9 de octubre de 1997, Torreón Coahuila, México*. (1997). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Izurieta, R., Campaña, A., Calles, J., Estévez, E., & Ochoa, T. (2019). Calidad del agua en Ecuador. *Calidad de Agua En Las Américas*, 284.

- López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (2a ed). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- López, K. (2022). Sistema de reutilización de agua lluvia en una residencia familiar ubicada en la ciudad de Quito, DMQ. *EPN*, 79.
- Martínez Moscoso, A. (2019). La regulación del abastecimiento de agua en Ecuador. Evolución histórica y realidad actual. *Sustainability Economic Social and Environmental*, 1, 31. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2019.1.03>
- Mott, R. L. (2010). *Mecánica de fluidos* (6a ed). Pearson Educación.
- ONU. (n.d.). *Desafíos Globales: Agua*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Ortiz Moreno, J. A., Maser Cerutti, O. R., & Fuentes Gutiérrez, A. F. (2014). *La ecotecnología en México*. Unidad de Ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia.
- Pourrut, P., & Gómez, G. (1998). El Ecuador al cruce de varias influencias climáticas. Una situación estratégica para el estudio del fenómeno El Niño. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*, 27.
- Simbaña, I., Quitiaquez, W., & Saquina, D. (2022). Estudio de viabilidad de un sistema de captación de agua lluvia en Guamaní–Quito. *Revista Científica Unanchay*, 1, 47–63.
- Sotelo, G. (1974). *Hidráulica General*. Editorial Limusa.
- UNATSABAR. (2001). *Guía de diseño para captación del agua lluvia*.
- Villacís, E., & Marrero de León, N. (2017). Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha- Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*.
- WHO. (2022). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/drinking-water>
- Zambrano, E. (n.d.). El Niño. *Instituto Oceanográfico de La Armada, Guayaquil, Ecuador*, 8(1).

ANEXO A: CONSUMOS RESIDENCIALES TÍPICOS

Tabla 4.1
Consumos residenciales típicos

Usos	Consumo (L/hab.-d)
Aseo personal	45
Descarga de sanitarios	40
Lavado de ropa	20
Cocina	15
Riego de jardines	10
Lavado de pisos	5

Fuente: (López Cualla, 2003)

ANEXO B: CONSUMOS TÍPICOS DE LOS SECTORES COMERCIAL E INDUSTRIAL

Tabla 4.3
Consumos típicos de los sectores comercial e industrial

Usos	Consumo (L/d)
Hoteles (por habitación)	200 - 300
Escuelas:	
< 20 alumnos	50
> 20 alumnos	80
Industrias (por persona empleada)	80
Lecherías (por habitante)	0,8
Fábricas de bebidas (por habitante)	0,2
Fábricas de hielo (por habitante)	1,0
Curtiembre (por habitante)	0,5
Depósitos de materiales	100
Farmacias o graneros hasta 50 m ²	500
hasta 100 m ²	1.000
hasta 200 m ²	1.600
≥ 200 m ² (por m ²)	8
Fuentes de soda y heladerías hasta 20 m ²	1.000
hasta 50 m ²	2.000
> 50 m ²	3.000
Restaurantes hasta 50 m ²	40
>50 m ²	90
Oficina (por empleado y por 10 m ²)	80
Hospitales (por cama)	400
Mataderos (por cabeza sacrificada)	300 - 500
Riego de parques (por habitante)	9
Lavado de calles (por m ²)	1,5
Lavado del alcantarillado (por habitante)	3

Fuente: (López Cualla, 2003)

ANEXO C: BALANCE HÍDRICO PARA LIMPIEZA DE CADA EDIFICIO/TECHO

Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	168.48	222.03	-53.55
Febrero	196.26		-25.77
Marzo	291.17		69.14
Abril	275.52		53.49
Mayo	143.67		-78.36
Junio	65.96		-156.07
Julio	30.84		-191.19
Agosto	36.59		-185.44
Septiembre	99.55		-122.48
Octubre	234.13		12.10
Noviembre	260.56		38.53
Diciembre	172.56		-49.47

Galileo y Newton			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	128.12	253.26	-125.14
Febrero	149.24		-104.02
Marzo	221.42		-31.84
Abril	209.51		-43.75
Mayo	109.26		-144.00
Junio	50.16		-203.10
Julio	23.45		-229.81
Agosto	27.83		-225.43
Septiembre	75.70		-177.56
Octubre	178.04		-75.22
Noviembre	198.14		-55.12
Diciembre	131.22		-122.04

Clínica Odontológica e IMC			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	116.92	231.12	-114.20
Febrero	136.19		-94.93
Marzo	202.06		-29.06
Abril	191.20		-39.92
Mayo	99.70		-131.42
Junio	45.77		-185.35
Julio	21.40		-209.72
Agosto	25.40		-205.72
Septiembre	69.08		-162.04
Octubre	162.48		-68.64
Noviembre	180.82		-50.30
Diciembre	119.75		-111.37

Coliseo Alexandros			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	116.51	76.77	39.74
Febrero	135.72		58.95
Marzo	201.35		124.58
Abril	190.53		113.76
Mayo	99.36		22.59
Junio	45.61		-31.16
Julio	21.32		-55.45
Agosto	25.31		-51.46
Septiembre	68.84		-7.93
Octubre	161.91		85.14
Noviembre	180.18		103.41
Diciembre	119.33		42.56

Aristóteles			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	109.48	72.14	37.34
Febrero	127.52		55.38
Marzo	189.20		117.06
Abril	179.03		106.89
Mayo	93.36		21.22
Junio	42.86		-29.28
Julio	20.04		-52.10
Agosto	23.78		-48.36
Septiembre	64.68		-7.46
Octubre	152.13		79.99
Noviembre	169.30		97.16
Diciembre	112.12		39.98

DaVinci			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	105.04	207.63	-102.59
Febrero	122.35		-85.28
Marzo	181.52		-26.11
Abril	171.77		-35.86
Mayo	89.57		-118.06
Junio	41.12		-166.51
Julio	19.22		-188.41
Agosto	22.81		-184.82
Septiembre	62.06		-145.57
Octubre	145.96		-61.67
Noviembre	162.44		-45.19
Diciembre	107.58		-100.05

Maxwell			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	58.87	116.37	-57.50
Febrero	68.57		-47.80
Marzo	101.74		-14.63
Abril	96.27		-20.10
Mayo	50.20		-66.17
Junio	23.05		-93.32
Julio	10.77		-105.60
Agosto	12.79		-103.58
Septiembre	34.78		-81.59
Octubre	81.81		-34.56
Noviembre	91.04		-25.33
Diciembre	60.29		-56.08

Sócrates			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	39.75	26.19	13.56
Febrero	46.30		20.11
Marzo	68.69		42.50
Abril	65.00		38.81
Mayo	33.89		7.70
Junio	15.56		-10.63
Julio	7.27		-18.92
Agosto	8.63		-17.56
Septiembre	23.48		-2.71
Octubre	55.23		29.04
Noviembre	61.47		35.28
Diciembre	40.71		14.52

Einstein			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	33.12	43.65	-10.53
Febrero	38.58		-5.07
Marzo	57.24		13.59
Abril	54.17		10.52
Mayo	28.25		-15.40
Junio	12.97		-30.68
Julio	6.06		-37.59
Agosto	7.19		-36.46
Septiembre	19.57		-24.08
Octubre	46.03		2.38
Noviembre	51.22		7.57
Diciembre	33.92		-9.73

Lao Tse			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	31.89	21.02	10.87
Febrero	37.15		16.13
Marzo	55.12		34.10
Abril	52.16		31.14
Mayo	27.20		6.18
Junio	12.49		-8.53
Julio	5.84		-15.18
Agosto	6.93		-14.09
Septiembre	18.84		-2.18
Octubre	44.32		23.30
Noviembre	49.32		28.30
Diciembre	32.66		11.64

Edif. Espejo (Hall Principal)			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	31.01	40.86	-9.85
Febrero	36.12		-4.74
Marzo	53.58		12.72
Abril	50.70		9.84
Mayo	26.44		-14.42
Junio	12.14		-28.72
Julio	5.67		-35.19
Agosto	6.73		-34.13
Septiembre	18.32		-22.54
Octubre	43.09		2.23
Noviembre	47.95		7.09
Diciembre	31.76		-9.10

Casa Blanca			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	30.80	40.59	-9.79
Febrero	35.88		-4.71
Marzo	53.23		12.64
Abril	50.37		9.78
Mayo	26.27		-14.32
Junio	12.06		-28.53
Julio	5.64		-34.95
Agosto	6.69		-33.90
Septiembre	18.20		-22.39
Octubre	42.80		2.21
Noviembre	47.63		7.04
Diciembre	31.55		-9.04

Planta física			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	29.09	19.17	9.92
Febrero	33.89		14.72
Marzo	50.28		31.11
Abril	47.58		28.41
Mayo	24.81		5.64
Junio	11.39		-7.78
Julio	5.32		-13.85
Agosto	6.32		-12.85
Septiembre	17.19		-1.98
Octubre	40.43		21.26
Noviembre	44.99		25.82
Diciembre	29.80		10.63

Epicuro y Cicerón			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	23.83	47.12	-23.28
Febrero	27.76		-19.35
Marzo	41.19		-5.92
Abril	38.98		-8.14
Mayo	20.33		-26.79
Junio	9.33		-37.78
Julio	4.36		-42.75
Agosto	5.18		-41.94
Septiembre	14.08		-33.03
Octubre	33.12		-13.99
Noviembre	36.86		-10.25
Diciembre	24.41		-22.70

Hannah Arendt			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	23.08	30.42	-7.34
Febrero	26.89		-3.53
Marzo	39.89		9.47
Abril	37.75		7.33
Mayo	19.68		-10.74
Junio	9.04		-21.38
Julio	4.22		-26.20
Agosto	5.01		-25.41
Septiembre	13.64		-16.78
Octubre	32.08		1.66
Noviembre	35.70		5.28
Diciembre	23.64		-6.78

Casa Tomate			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	20.90	27.54	-6.64
Febrero	24.34		-3.20
Marzo	36.12		8.58
Abril	34.17		6.63
Mayo	17.82		-9.72
Junio	8.18		-19.36
Julio	3.82		-23.72
Agosto	4.54		-23.00
Septiembre	12.35		-15.19
Octubre	29.04		1.50
Noviembre	32.32		4.78
Diciembre	21.40		-6.14

Darwin			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	19.33	25.47	-6.14
Febrero	22.51		-2.96
Marzo	33.40		7.93
Abril	31.61		6.14
Mayo	16.48		-8.99
Junio	7.57		-17.90
Julio	3.54		-21.93
Agosto	4.20		-21.27
Septiembre	11.42		-14.05
Octubre	26.86		1.39
Noviembre	29.89		4.42
Diciembre	19.79		-5.68

Entrada a edificios CHAT			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	19.12	12.60	6.52
Febrero	22.27		9.67
Marzo	33.05		20.45
Abril	31.27		18.67
Mayo	16.31		3.71
Junio	7.49		-5.11
Julio	3.50		-9.10
Agosto	4.15		-8.45
Septiembre	11.30		-1.30
Octubre	26.57		13.97
Noviembre	29.57		16.97
Diciembre	19.58		6.98

Miguel de Santiago			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	18.78	37.13	-18.35
Febrero	21.88		-15.25
Marzo	32.46		-4.67
Abril	30.71		-6.42
Mayo	16.02		-21.11
Junio	7.35		-29.78
Julio	3.44		-33.69
Agosto	4.08		-33.05
Septiembre	11.10		-26.03
Octubre	26.10		-11.03
Noviembre	29.04		-8.09
Diciembre	19.24		-17.89

Mozart			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	16.46	10.85	5.61
Febrero	19.17		8.32
Marzo	28.44		17.59
Abril	26.92		16.07
Mayo	14.04		3.19
Junio	6.44		-4.41
Julio	3.01		-7.84
Agosto	3.57		-7.28
Septiembre	9.72		-1.13
Octubre	22.87		12.02
Noviembre	25.45		14.60
Diciembre	16.86		6.01

Pagoda			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	16.39	10.80	5.59
Febrero	19.09		8.29
Marzo	28.33		17.53
Abril	26.80		16.00
Mayo	13.98		3.18
Junio	6.42		-4.38
Julio	3.00		-7.80
Agosto	3.56		-7.24
Septiembre	9.68		-1.12
Octubre	22.78		11.98
Noviembre	25.35		14.55
Diciembre	16.79		5.99

Entrada Hall Principal			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	14.55	9.59	4.96
Febrero	16.94		7.35
Marzo	25.14		15.55
Abril	23.79		14.20
Mayo	12.40		2.81
Junio	5.69		-3.90
Julio	2.66		-6.93
Agosto	3.16		-6.43
Septiembre	8.59		-1.00
Octubre	20.21		10.62
Noviembre	22.50		12.91
Diciembre	14.90		5.31

Taller de Metal			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	13.93	9.18	4.75
Febrero	16.23		7.05
Marzo	24.08		14.90
Abril	22.78		13.60
Mayo	11.88		2.70
Junio	5.45		-3.73
Julio	2.55		-6.63
Agosto	3.03		-6.15
Septiembre	8.23		-0.95
Octubre	19.36		10.18
Noviembre	21.55		12.37
Diciembre	14.27		5.09

Conexión Maxwell y Casa Blanca			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	8.33	5.49	2.84
Febrero	9.71		4.22
Marzo	14.40		8.91
Abril	13.63		8.14
Mayo	7.11		1.62
Junio	3.26		-2.23
Julio	1.52		-3.97
Agosto	1.81		-3.68
Septiembre	4.92		-0.57
Octubre	11.58		6.09
Noviembre	12.89		7.40
Diciembre	8.53		3.04

Herbario			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	8.26	5.45	2.81
Febrero	9.63		4.18
Marzo	14.28		8.83
Abril	13.51		8.06
Mayo	7.05		1.60
Junio	3.24		-2.21
Julio	1.51		-3.94
Agosto	1.79		-3.66
Septiembre	4.88		-0.57
Octubre	11.48		6.03
Noviembre	12.78		7.33
Diciembre	8.46		3.01

Techo2 entrada principal 2			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	7.24	4.77	2.47
Febrero	8.43		3.66
Marzo	12.51		7.74
Abril	11.84		7.07
Mayo	6.17		1.40
Junio	2.83		-1.94
Julio	1.32		-3.45
Agosto	1.57		-3.20
Septiembre	4.28		-0.49
Octubre	10.06		5.29
Noviembre	11.20		6.43
Diciembre	7.41		2.64

Edif. Alado de el Obelisco			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	6.16	4.06	2.10
Febrero	7.18		3.12
Marzo	10.65		6.59
Abril	10.07		6.01
Mayo	5.25		1.19
Junio	2.41		-1.65
Julio	1.13		-2.93
Agosto	1.34		-2.72
Septiembre	3.64		-0.42
Octubre	8.56		4.50
Noviembre	9.53		5.47
Diciembre	6.31		2.25

Techo1			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	6.05	3.99	2.06
Febrero	7.05		3.06
Marzo	10.46		6.47
Abril	9.89		5.90
Mayo	5.16		1.17
Junio	2.37		-1.62
Julio	1.11		-2.88
Agosto	1.31		-2.68
Septiembre	3.58		-0.41
Octubre	8.41		4.42
Noviembre	9.36		5.37
Diciembre	6.20		2.21

Techo2 entrada principal 2			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	7.24	4.77	2.47
Febrero	8.43		3.66
Marzo	12.51		7.74
Abril	11.84		7.07
Mayo	6.17		1.40
Junio	2.83		-1.94
Julio	1.32		-3.45
Agosto	1.57		-3.20
Septiembre	4.28		-0.49
Octubre	10.06		5.29
Noviembre	11.20		6.43
Diciembre	7.41		2.64

Techo2			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	5.57	3.67	1.90
Febrero	6.48		2.81
Marzo	9.62		5.95
Abril	9.10		5.43
Mayo	4.75		1.08
Junio	2.18		-1.49
Julio	1.02		-2.65
Agosto	1.21		-2.46
Septiembre	3.29		-0.38
Octubre	7.73		4.06
Noviembre	8.61		4.94
Diciembre	5.70		2.03

Techo1 entrada principal			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	4.27	2.81	1.46
Febrero	4.97		2.16
Marzo	7.38		4.57
Abril	6.98		4.17
Mayo	3.64		0.83
Junio	1.67		-1.14
Julio	0.78		-2.03
Agosto	0.93		-1.88
Septiembre	2.52		-0.29
Octubre	5.93		3.12
Noviembre	6.60		3.79
Diciembre	4.37		1.56

Techo 4			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	2.17	1.43	0.74
Febrero	2.53		1.10
Marzo	3.75		2.32
Abril	3.55		2.12
Mayo	1.85		0.42
Junio	0.85		-0.58
Julio	0.40		-1.03
Agosto	0.47		-0.96
Septiembre	1.28		-0.15
Octubre	3.02		1.59
Noviembre	3.36		1.93
Diciembre	2.22		0.79

Techo 3			
Mes	Disp. Hídrica - Caudal de escorrentía (m3)	Consumo (m3)	Oferta (m3)
Enero	1.09	0.72	0.37
Febrero	1.27		0.55
Marzo	1.89		1.17
Abril	1.79		1.07
Mayo	0.93		0.21
Junio	0.43		-0.29
Julio	0.20		-0.52
Agosto	0.24		-0.48
Septiembre	0.65		-0.07
Octubre	1.52		0.80
Noviembre	1.69		0.97
Diciembre	1.12		0.40

ANEXO D: COEFICIENTE DE MANNING

Roughness Coefficients (Manning's *n*)

I. CLOSED CULVERTS:	
A. Concrete pipe	0.012–0.015
B. Corrugated-metal pipe or pipe-arch (annular unpaved):	
1. 2 ² / ₃ by 1 ¹ / ₂ in corrugation riveted pipe	0.024
2. 3 in by 1 in corrugation	0.027
3. 5 in by 1 in corrugation	0.025
4. 6 in by 2 in corrugation (field bolted)	0.033
C. Vitrified clay pipe	0.012–0.014
D. Cast-iron pipe, uncoated	0.013
E. Steel pipe	0.009–0.011
F. Brick	0.014–0.017
G. Monolithic concrete:	
1. Wood forms, rough	0.015–0.017
2. Wood forms, smooth	0.012–0.014
3. Steel forms	0.012–0.013
H. Cemented rubble masonry walls:	
1. Concrete floor and top	0.017–0.022
2. Natural floor	0.019–0.025
I. Laminated treated wood	0.015–0.017
J. Vitrified clay liner plates	0.015
K. Polyvinyl chloride (PVC)	0.007–0.011
II. OPEN CHANNELS, LINED (Straight Alignment):	
A. Concrete, with surfaces as indicated:	
1. Formed, no finish	0.013–0.017
2. Trowel finish	0.012–0.014
3. Float finish	0.013–0.015
4. Float finish, some gravel on bottom	0.015–0.017
5. Gunite, good section	0.016–0.019
6. Gunite, wavy section	0.018–0.022
B. Concrete, bottom float finished, sides as indicated:	
1. Dressed stone in mortar	0.015–0.017
2. Random stone in mortar	0.017–0.020
3. Cement rubble masonry	0.020–0.025
4. Cement rubble masonry, plastered	0.016–0.020
5. Dry rubble (riprap)	0.020–0.030
C. Gravel bottom, sides as indicated:	
1. Formed concrete	0.017–0.020
2. Random stone in mortar	0.020–0.023
3. Dry rubble (riprap)	0.023–0.033
D. Brick	0.014–0.017
E. Asphalt:	
1. Smooth	0.013
2. Rough	0.016
F. Wood, planed, clean	0.001–0.013
G. Concrete-lined excavated rock:	
1. Good section	0.017–0.020
2. Irregular section	0.022–0.027
III. OPEN CHANNELS, EXCAVATED (Straight Alignment, Natural Lining):	
A. Earth, uniform section:	
1. Clean, recently completed	0.016–0.018
2. Clean, after weathering	0.018–0.020
3. With short grass, few weeds	0.022–0.027
4. In gravelly soil, uniform section, clean	0.022–0.025
B. Earth, fairly uniform section:	
1. No vegetation	0.022–0.025
2. Grass, some weeds	0.025–0.030
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030–0.035
4. Sides clean, gravel bottom	0.025–0.030
5. Sides clean, cobble bottom	0.030–0.040

ANEXO E: CONSUMO SEMANAL DE LIMPIEZA POR EDIFICIO

Para estimar el volumen del tanque de acuerdo con la demanda se realizará el siguiente cálculo:

$$25 \frac{L}{\text{día} \cdot 10\text{m}^2 \cdot \text{piso}} \times 4.5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \times \#m^2 \cdot \text{piso} = \# \frac{L}{\text{semana}}$$

Edificio	Área de techo (m ²)	# Pisos	Demanda (L/semana) = Volumen Tanque (L)
Hall Principal, Biblioteca, Teatro Calderón de la Barca	2467.00	2	55507.50
Galileo y Newton	1876.00	3	63315.00
Clínica Odontológica e IMC	1712.00	3	57780.00
Coliseo Alexandros	1706.00	1	19192.50
Aristóteles	1603.00	1	18033.75
DaVinci	1538.00	3	51907.50
Maxwell	862.00	3	29092.50
Sócrates	582.00	1	6547.50
Einstein	485.00	2	10912.50
Lao Tse	467.00	1	5253.75
Edif. Espejo (Hall Principal)	454.00	2	10215.00
Casa Blanca	451.00	2	10147.50
Planta física	426.00	1	4792.50
Epicuro y Cicerón	349.00	3	11778.75
Hannah Arendt	338.00	2	7605.00
Casa Tomate	306.00	2	6885.00
Darwin	283.00	2	6367.50
Entrada a edificios CHAT	280.00	1	3150.00
Miguel de Santiago	275.00	3	9281.25
Mozart	241.00	1	2711.25
Pagoda	240.00	1	2700.00
Entrada Hall Principal	213.00	1	2396.25
Taller de Metal	204.00	1	2295.00
Conexión Maxwell y Casa Blanca	122.00	1	1372.50
Herbario	121.00	1	1361.25
Techo2 entrada principal 2	106.00	1	1192.50
Edif. Alado de el Obelisco	90.20	1	1014.75
Techo1	88.60	1	996.75
Techo2	81.50	1	916.88
Techo1 entrada principal	62.50	1	703.13
Techo 4	31.80	1	357.75
Techo 3	16.00	1	180.00
			405963.00