

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA LA CERTIFICACIÓN
LEED Y MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EN EL NUEVO
CAMPUS USFQ EN SANTA CRUZ, GALÁPAGOS.**

Mishel Odalis Camargo Velasco

Ingeniería Civil

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

Quito, 14 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA LA CERTIFICACIÓN LEED Y
MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EN EL NUEVO CAMPUS USFQ EN
SANTA CRUZ, GALÁPAGOS**

Mishel Odalis Camargo Velasco

Nombre del profesor, Título académico

Sixto Andrés Durán Ballén, PhD, Ing

Quito, 14 de mayo de 2025

© 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: Mishel Odalis Camargo Velasco

Código: 00322005

Cédula de identidad: 0923664486

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2025

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UNPUBLISHED DOCUMENT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>.

RESUMEN

El presente proyecto integrador tiene como objetivo principal el desarrollo de estrategias sostenibles de gestión de aguas pluviales mediante la aplicación del método de Green-Ampt, en el contexto de la Certificación LEED para el nuevo campus de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) en Santa Cruz, Galápagos. El estudio busca integrar principios de diseño sostenible y tecnologías verdes que permitan mitigar los impactos ambientales del desarrollo urbano, conservando el equilibrio ecológico de una zona sensible como lo son las Islas Galápagos. La propuesta considera las condiciones climáticas locales, la capacidad de infiltración del suelo y criterios técnicos establecidos por LEED para promover prácticas responsables en la planificación hídrica del campus.

Palabras clave: Certificación LEED, Green-Ampt, aguas pluviales, sostenibilidad, infiltración, Galápagos, campus universitario, diseño ecológico, gestión hídrica, USFQ.

ABSTRACT

The main objective of this integrative project is to develop sustainable stormwater management strategies through the application of the Green-Ampt method, within the context of LEED Certification for the new campus of the Universidad San Francisco de Quito (USFQ) in Santa Cruz, Galapagos. The study seeks to integrate sustainable design principles and green technologies to mitigate the environmental impacts of urban development while preserving the ecological balance of a sensitive area such as the Galapagos Islands. The proposal considers local climatic conditions, soil infiltration capacity, and technical criteria established by LEED to promote responsible practices in campus water planning.

Keywords: LEED Certification, Green-Ampt, stormwater, sustainability, infiltration, Galapagos, university campus, ecological design, water management, USFQ.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Justificación del proyecto.....	11
1.3. Objetivos.....	12
1.4. Metodología	12
1.5. Certificación LEED.....	13
1.5.1. Requisitos específicos LEED.	13
1.5.3. Proyectos en Ecuador con certificación LEED.	17
2. DESARROLLO DEL TEMA	21
2.1. Ubicación del Proyecto	21
2.1.1. Características físicas y geológicas de las islas Galápagos	21
2.2. Capacidad de infiltración del suelo.	28
2.2.1. Método de Horton	28
2.2.2. Método Green-Ampt	28
2.4.2. Pruebas de campo con infiltrómetros.....	36
3. PRECIPITACIÓN.....	49
3.1. Estaciones Meteorológicas	49
3.2. Percentiles	53
4. ESCORRENTÍA.....	55
4.1. Método Racional.....	55
4.2. Coeficientes de escorrentía del suelo.	55
4.3. Cálculos de la Intensidad.....	56
4.4. Distribución de Áreas del Proyecto.....	57
4.5. Cálculo de Caudales	58
4.6. Análisis comparativo.....	63
5. ESTRATEGIAS	64
5.1. Gestión Aguas Pluviales.....	64
6. CONCLUSIONES.....	68
6.1. Recomendaciones	69
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos para la certificación LEED en categorías, recuperado de LEED v4 para Diseño y Construcción de Edificios.....	16
Tabla 2 Clasificación de los perfiles de suelo, NEC (2014).....	26
Tabla 3 Parámetros de infiltración de Green-Ampt para varias clases de suelos. Fuente: Rawls, Brakensiek y Miller, (1983).	30
Tabla 4 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Limosa	34
Tabla 5 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Arenosa	35
Tabla 6 Infiltración In situ, Prueba 1	37
Tabla 7 Infiltración In situ, Prueba 2	39
Tabla 8 Infiltración In situ, Prueba 3	41
Tabla 9 Infiltración In situ, Localización 2, Prueba 1	43
Tabla 10 Infiltración In situ, Localización 2, Prueba 2.....	45
Tabla 11 Infiltración In situ, Localización 2, Prueba 3.....	46
Tabla 12 Percentiles de precipitación, Estación Charles Darwin	53
Tabla 13 Periodo de Retorno Estación San Cristóbal	53
Tabla 14 Precipitación, Estación San Cristóbal.....	54
Tabla 15 Porcentaje de Probabilidad de Precipitación.....	54
Tabla 16 Percentiles de precipitación, Estación San Cristóbal	54
Tabla 17 Intensidades, Estación San Cristóbal.....	56
Tabla 18 Intensidades, Estación Charles Darwin	57
Tabla 19 Caudales antes y después de la construcción.	61
Tabla 20 Resumen, Caudal total mitigado por cada estrategia.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Proyecto, Google Earth (2025).....	22
Figura 2 Mapa satelital del terreno del proyecto	23
Figura 3 Mapa del uso de la tierra, Gobierno Municipal de Santa Cruz (2024).....	24
Figura 4 Cobertura vegetal y suelo de la zona, Geosuelos (2024).....	27
Figura 5 Tipo de suelo de la zona, Geosuelos (2024).....	27
Figura 6 Ensayo de Infiltración en la zona (2025).....	47
Figura 7 Tubo PVC, Ensayo de Infiltración (2025).....	47
Figura 8 Tubo PVC y agua para Ensayo de Infiltración (2025).	48
Figura 9 Ubicación de Estación Charles Darwin.....	49
Figura 10 Índice de Estaciones Meteorológicas (2024).	49
Figura 11 Ubicación de Estación San Cristóbal	51
Figura 12 Intensidad duración, frecuencia estación M0221, San Cristóbal (INAMHI,2025) 52	
Figura 13 Coeficiente de escorrentía, Método Racional	56
Figura 14 Distribución de Áreas de construcción del proyecto.....	58
Figura 15 Planos, Vista en Planta de Áreas del Campus.....	62
Figura 16 Áreas del campus USFQ.....	62
Figura 17 Grietas Naturales para infiltración	64
Figura 18 Jardines de Lluvia para Infiltración.....	65
Figura 19 Pavimentos Permeables para infiltración	66
Figura 20 Aquacell como tanque de recolección.....	66

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Limosa.....	34
Gráfica 2 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Arenosa.	35
Gráfica 3 Ensayo de Infiltración Prueba 1	38
Gráfica 4 Ensayo de Infiltración Prueba 2	39
Gráfica 5 Ensayo de Infiltración Prueba 3	41
Gráfica 6 Ensayo de Infiltración Prueba 1, Localización 2.....	43
Gráfica 7 Ensayo de Infiltración Prueba 2, Localización 2.....	45
Gráfica 8 Ensayo de Infiltración Prueba 3, Localización 2.....	46
Gráfica 9 Datos de Precipitación 1965-2025.....	50
Gráfica 10 Percentiles de Precipitación	54

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente trabajo final se centra en el desarrollo de un sistema de manejo de aguas pluviales con criterios sostenibles aplicables al diseño del nuevo campus de la USFQ, ubicado en la Isla Santa Cruz, dentro del archipiélago de Galápagos. La creación de este campus responde a la necesidad creciente de contar con una institución de educación superior en la isla, que permita formar profesionales locales y apoyar la investigación científica.

Además, la creciente necesidad de integrar criterios ambientales en los procesos constructivos ha impulsado la adopción de normativas internacionales como la Certificación LEED, orientadas a promover prácticas responsables con el medio ambiente y el uso eficiente de los recursos naturales. En este contexto, el diseño del nuevo campus busca no solo responder a las demandas académicas de la población insular, sino también convertirse en un modelo de infraestructura sostenible y resiliente en un entorno único y frágil.

1.2. Justificación del proyecto

La idea del trabajo surge de la importancia ambiental y normativa del archipiélago de Galápagos, declarado Patrimonio Natural de la Humanidad, donde toda intervención requiere un enfoque que priorice la conservación de los ecosistemas. El análisis desarrollado contempla el estudio de las características hidrológicas del sitio, así como la aplicación de distintos métodos de infiltración como herramientas para la estimación de escorrentías. En este contexto, el tema adquiere especial relevancia dentro del área de la ingeniería civil, al combinar principios de hidrología y sostenibilidad. En este sentido, el cumplimiento de criterios LEED representa una oportunidad para consolidar un modelo de diseño académico replicable, responsable y alineado con las políticas de sostenibilidad ambiental vigentes en Ecuador.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Realizar un análisis hidrológico con el fin de desarrollar estrategias sostenibles de manejo de aguas pluviales mediante análisis de precipitaciones, infiltraciones, caudales de escorrentía del proyecto, orientados a cumplir los requisitos de la Certificación LEED para promover la conservación ecológica del entorno de la Isla Santa Cruz, Galápagos.

- Aplicar el método de infiltración Green-Ampt para determinar la capacidad de infiltración del suelo, utilizando tanto datos bibliográficos como resultados de pruebas de campo con infiltrómetros.
- Calcular los percentiles de precipitación, escorrentía y caudales del área de estudio, mediante métodos estadísticos y el uso del método racional, para evaluar el comportamiento hidrológico del sitio en distintos escenarios.
- Diseñar estrategias sostenibles de manejo de aguas pluviales, tales como zanjas de infiltración, pavimentos permeables o sistemas de biorretención, que cumplan con los créditos establecidos por la Certificación LEED en las categorías de Sitios Sostenibles (SS) y Eficiencia del Agua (WE).

1.4. Metodología

Este documento se organiza en distintas secciones que abordan: el marco conceptual y normativo relacionado con la Certificación LEED; el análisis del sitio y sus condiciones climáticas e hidrológicas; la aplicación del método Green-Ampt para calcular la infiltración; el cálculo de percentiles de precipitación, escorrentía y caudales de la zona; la propuesta de diseño basada en los resultados obtenidos; y finalmente, una reflexión sobre la viabilidad y replicabilidad del modelo.

1.5.Certificación LEED

La certificación LEED o Leadership in Energy and Environmental Design es un sistema de calificación reconocido a nivel mundial debido al diseño, construcción y operación de edificaciones sostenibles. Es un sistema de clasificación introducido en EE. UU en 1994 por el USGBC también conocido como U.S. Green Building Council. La certificación LEED funciona a través de un sistema de créditos en diferentes áreas de sostenibilidad de la edificación. Según el número de créditos se alcanza diferentes niveles de puntuación, se clasifica el certificado como plata, oro o platino. “En un proyecto, LEED mide el impacto reducido principalmente de las siguientes áreas: Uso del Agua, Emisiones de gases de efecto invernadero, Calidad del aire interior, Uso de materiales reciclados, Utilización de los recursos, Costes de mantenimiento y explotación.” (Ross Guberman, 2022). Es así que las principales categorías de evaluación incluyen, sitios sostenibles (SS), Eficiencia de agua (WE), Energía y Atmosfera (EA), Materiales y recursos (MR), Calidad ambiental interior (EQ), Innovación (IN) y Prioridad Regional (PR).

1.5.1. Requisitos específicos LEED.

1. Sitios Sostenibles (SS): Esta categoría se enfoca en minimizar el impacto ambiental de los proyectos sobre el terreno y los ecosistemas circundantes.

Crédito: Manejo de aguas pluviales, cuyo objetivo es mitigar los impactos de las tormentas a través de sistemas sostenibles como jardinerías de lluvia o biorretención.

Estrategias:

Diseño de un sistema de captación de aguas pluviales adaptado al clima del proyecto.

Implementación de estrategias de restauración de hábitats.

2. Eficiencia del Agua (WE): Promueve la conservación del recurso hídrico mediante:

Crédito: Reducción del uso de agua al aire libre hasta en un 50%.

Reducción del uso de agua exterior mediante el empleo de vegetación nativa o sistemas de riego eficientes.

Reducción del uso de agua interior con dispositivos de bajo consumo.

Medición del uso de agua a nivel de edificio.

3. Energía y Atmósfera (EA): Busca reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero mediante:

Diseño eficiente de los sistemas de iluminación, climatización y ventilación.

Incorporación de energías renovables como solar y eólica.

Monitoreo continuo del rendimiento energético del edificio.

4. Materiales y Recursos (MR): Se enfoca en el uso eficiente de los materiales y la reducción de residuos:

Selección de materiales reciclados, renovables y de bajo impacto ambiental.

Implementación de planes de gestión de residuos durante la construcción.

Fomento de la economía circular mediante el reciclaje y la reutilización.

5. Calidad Ambiental Interior (EQ): Garantiza espacios interiores saludables y confortables para los ocupantes, mediante:

Control de contaminantes como compuestos orgánicos volátiles (COV).

Diseño que priorice la ventilación adecuada y el acceso a luz natural.

Control de la temperatura, el ruido y la iluminación interior.

6. Innovación (IN): Fomenta la implementación de estrategias novedosas y métodos sostenibles más allá de los créditos estándar. También otorga puntos adicionales por la inclusión de un profesional acreditado LEED en el equipo de proyecto.

7. **Prioridad Regional (RP):** Reconoce las iniciativas que abordan problemas ambientales específicos de una región. Por ejemplo, en las Galápagos, podría incluir medidas de protección de ecosistemas marinos y terrestres.

En este proyecto para la certificación LEED del nuevo campus USFQ nos enfocaremos en las categorías de Sitios Sostenibles (SS) y Eficiencia del Agua (WE). Esta certificación, otorgada por el U.S. Green Building Council (USGBC), es un sistema mundialmente reconocido que clasifica la sostenibilidad de los edificios a través de créditos en diversas áreas, por lo que el campus llegará a tener un alto reconocimiento por su sostenibilidad y construcción eco amigable.

1.5.2. Requisitos Específicos aplicados al Proyecto

La certificación LEED representa una oportunidad para que el campus universitario en Santa Cruz, Galápagos, adopte prácticas sostenibles alineadas con la protección de su entorno único, para cumplir con los requisitos de manejo de aguas pluviales y eficiencia del agua será clave alcanzar una certificación. En este estudio nos enfocaremos en las categorías de Sitios Sostenibles (SS) y Eficiencia del Agua (WE).

Categoría	Prerrequisitos	Créditos	Estrategias
Sitios Sostenibles (SS)	Prevención de la contaminación durante la construcción. Evaluación ambiental de la parcela.	Evaluación de la parcela. Desarrollo de la parcela para proteger o restaurar el hábitat. Control de cantidad y calidad de aguas pluviales. Maximizar espacios abiertos. Reducción del efecto isla de calor.	Implementar sistemas de biorretención y jardines de lluvia. Usar materiales de alta reflectancia en techos y pavimentos.
Eficiencia del Agua (WE)	Reducción del consumo de agua en el exterior e interior. Medición de agua a nivel de todo el edificio.	Captación y reutilización de aguas pluviales. Reducción del uso de agua potable en exteriores hasta un 50%. Medición del agua.	Diseñar sistemas de riego eficiente. Utilizar vegetación nativa o adaptada.

Tabla 1 Requisitos para la certificación LEED en categorías, recuperado de LEED v4 para Diseño y Construcción de Edificios.

El cuadro organiza los requisitos para la certificación LEED en categorías, desglosándolos en prerrequisitos, créditos y estrategias. Resaltan las categorías en las que se orienta el proyecto, la importancia de un enfoque integral y adaptable para alcanzar la certificación LEED en el proyecto y el compromiso ambiental, para el nuevo campus de la USFQ en las Galápagos.

La certificación LEED es un estándar de sostenibilidad reconocido a nivel mundial que requiere no solo alcanzar un conjunto de objetivos iniciales, sino mantenerlos durante toda la vida útil del proyecto. En algunos casos excepcionales, esta certificación puede ser revocada mediante la Política de Desafío de Certificación establecida por el GBCI (Green Building Certification Inc.). Este proceso puede ser iniciado por el GBCI o terceros dentro de los 18 meses posteriores a la certificación y contempla revisiones adicionales de la documentación,

visitas al sitio y análisis de información complementaria. Para garantizar la integridad de los proyectos, se exige conservar toda la documentación durante al menos dos años posteriores a la certificación. Este enfoque asegura que los proyectos certificados continúen cumpliendo con los altos estándares establecidos por LEED en áreas como eficiencia energética, manejo del agua y calidad ambiental.

Un ejemplo destacado de cómo mantener estos estándares a lo largo del tiempo es el Nationals Park, el primer estadio de béisbol de las Grandes Ligas en obtener la certificación LEED en 2008. Este proyecto implementó prácticas sostenibles como sistemas de recolección de aguas pluviales, iluminación energéticamente eficiente y materiales reciclados durante su construcción. Adicionalmente, para mantener la certificación, los proyectos tienen la opción de usar herramientas como Arc, que permite monitorear continuamente métricas clave y actualizar la puntuación de desempeño. En cuanto al manejo del agua, LEED evalúa aspectos como sistemas de reutilización de aguas pluviales, infraestructura de riego eficiente, uso de agua no potable y almacenamiento de precipitaciones. Estas estrategias integrales aseguran que los proyectos no solo cumplan con los requisitos iniciales, sino que también promuevan una sostenibilidad constante y adaptable.

1.5.3. Proyectos en Ecuador con certificación LEED.

Quito Publishing House

El Quito Publishing House, está ubicado en el sector de La Floresta en Quito, Ecuador. Es un edificio de seis pisos que obtuvo la certificación LEED Gold en 2015, este logro se alcanzó tras un proceso de aproximadamente cuatro años, desde su concepción hasta su finalización en agosto de 2014” (El Comercio, 2018). Mediante la implementación de diversas estrategias de sostenibilidad ha logrado mantener su certificación LEED Gold. Estas incluyen un sistema de doble fachada inteligente que regula la incidencia solar, reduciendo la ganancia térmica y

mejorando la eficiencia energética. Lo cual ayuda mucho a mantener una temperatura fresca dentro del edificio sin la necesidad de usar aparatos electrónicos.

Además, utilizan un sistema de captación de aguas lluvias para abastecer las baterías sanitarias y los sistemas de riego de jardines, promoviendo el uso eficiente del agua. Incluye la provisión de estacionamientos para bicicletas, junto con duchas y vestuarios para los empleados ciclistas, refuerzan su compromiso con la sostenibilidad y la calidad ambiental. (ArchDaily, 2016). Sin duda a través de este proyecto se puede tomar varias ideas que ayudarían a que el proyecto del nuevo Campus de la USFQ en puerto Ayora, Galápagos se certifique con la acreditación LEED.

Napo Wildlife Center

El Napo Wildlife Center es un ecolodge ubicado en la cuenca del río Napo, en el corazón del Parque Nacional Yasuní, considerado uno de los ecosistemas más biodiversos del planeta. Este proyecto es una iniciativa de la comunidad Kichwa Añangu, que ha destinado 21.400 hectáreas de su territorio ancestral a la conservación, promoviendo el ecoturismo sostenible y la preservación del entorno natural (Grida, 2014). Este proyecto ha implementado diversas prácticas de sostenibilidad que reflejan un compromiso con el medio ambiente. Estas incluyen el uso de paneles solares para la generación de energía, sistemas de tratamiento de agua y reciclaje de desechos. Además, su diseño arquitectónico está inspirado para que se integren en la naturaleza de su zona, lo cual es muy atractivo para turistas y ofrece una experiencia auténtica de la selva amazónica manteniendo lo nativo de la comunidad. Es un ejemplo destacado de cómo el ecoturismo puede ser una herramienta poderosa para la conservación ambiental, aunque no tiene una certificación LEED, su enfoque en la eficiencia energética y la gestión del agua es notable.

Aeropuerto Ecológico Galápagos

El Aeropuerto Ecológico Galápagos más conocido como Aeropuerto Galápagos-Seymour o Aeropuerto Seymour de Baltra es una terminal aérea, calificada como el Primer Aeropuerto Ecológico del Mundo debido a una variada lista de reconocimientos, entre estas el primero en la región en obtener la certificación LEED Gold del U.S. Green Building Council en 2014. Esta distinción reconoce su compromiso con la construcción sostenible y la eficiencia en el uso de recursos.

Para la construcción del aeropuerto se utilizó material reciclado del antiguo aeropuerto, tubos desechados u obsoletos de instalaciones petroleras de la amazonia y se inspiró en un diseño que aprovecha las condiciones naturales de la zona. En la ventilación, por ejemplo, se orientaron las ventanas en dirección de la corriente de aire, no existen habitaciones o salones con aire acondicionado; solamente la sala de los servidores (computadoras y comunicaciones) cuenta con climatización.

La mayor parte de su energía proviene de fuentes renovables. Cuenta con una red de paneles solares que cubren el pasillo de ingreso y parte de las instalaciones. El agua se reutiliza y se ha optimizado el consumo de energía y recursos para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero. Mantiene programas ambientales con varios socios como la Fundación Circular, la empresa Ithchion y para temas de Responsabilidad Social, ejecuta iniciativas con CERES Ecuador (Ecogal, 2025).

Para la eficiencia en el uso del agua, el aeropuerto cuenta con una planta desalinizadora que convierte el agua de mar en agua potable para consumo interno. Tras su uso, el agua es recolectada, tratada y reciclada, evitando la generación de aguas residuales y promoviendo la sostenibilidad hídrica. Estas iniciativas reflejan un enfoque integral hacia la sostenibilidad,

alineándose con los criterios de la certificación LEED y demostrando que es posible operar infraestructuras modernas respetando y preservando el entorno natural.

Estos proyectos sostenibles en Ecuador juegan un papel clave en hacer que el nuevo campus de la USFQ en Puerto Ayora sea más amigable con el medio ambiente. Cada uno de estos proyectos trabaja para reducir su impacto ecológico y asegura que los recursos naturales se usen de forma responsable. En cuanto al agua, se aplica un tratamiento adecuado y se reutiliza en las instalaciones, mostrando un manejo eficiente y respetuoso del entorno. Esto asegura que el efecto sobre los recursos hídricos en la región sea lo menor posible, lo cual es esencial en un ecosistema tan frágil como el de las Islas Galápagos, hogar de una gran diversidad de especies y flora.

Estas iniciativas reflejan un enfoque integral hacia la sostenibilidad, alineándose con los criterios de la certificación LEED y demostrando que es posible operar infraestructuras modernas respetando y preservando el entorno natural. Para obtener y mantener esta certificación, el proyecto deberá cumplir con todos los requisitos mencionados anteriormente.

2. DESARROLLO DEL TEMA

La USFQ ha adquirido un terreno en Puerto Ayora, Isla Santa Cruz, Galápagos para el desarrollo de un nuevo campus de educación superior. Este proyecto de investigación propone realizar un análisis hidrológico para la gestión de aguas pluviales en el proyecto del Campus USFQ Santa Cruz. Este análisis se lleva a cabo para cumplir con los requisitos y obtener la Certificación LEED.

2.1. Ubicación del Proyecto

2.1.1. Características físicas y geológicas de las islas Galápagos

La región insular, está formada de 19 islas y 40 islotes volcánicos situados de un lado y otro de la línea equinoccial, 1000 km al oeste del continente. (1995). Mediante las investigaciones sobre geología y volcanes se muestra que la superficie terrestre tiene unos 300 millones de años, pero en comparación, las Islas Galápagos son mucho más jóvenes, con apenas 20 millones de años. Según en el Atlas Galápagos se menciona que del movimiento de la placa de Nazca en dirección Este y el proceso de subducción que tiene bajo la placa lateral (de Cocos), genera una fuga del magma del manto de la tierra en una columna en dirección vertical (pluma mantélica). (Delgado, 2022)

Las Islas Galápagos son consideradas como una de las zonas volcánicas más activas del mundo, todas las islas son de origen volcánico y por lo menos en 8 de ellas sus volcanes han manifestado una intensa actividad durante el período histórico. (Instituto Geofísico, 2025) En reconocimiento de su importancia, las islas fueron designadas Patrimonio Natural de la Humanidad en 1976, Reserva de la Biosfera de la UNESCO en 1984 y Sitio Ramsar en 2001. (unesco,2015) Tiene una zona costera caracterizada por plantas y animales que dependen de la proximidad al mar; una zona árida y de transición caracterizada por largos períodos de sequía

y carece de humedad; y una zona húmeda de tierras altas donde puede haber períodos de sequía.
(Ministerio del Ambiente, 2025)

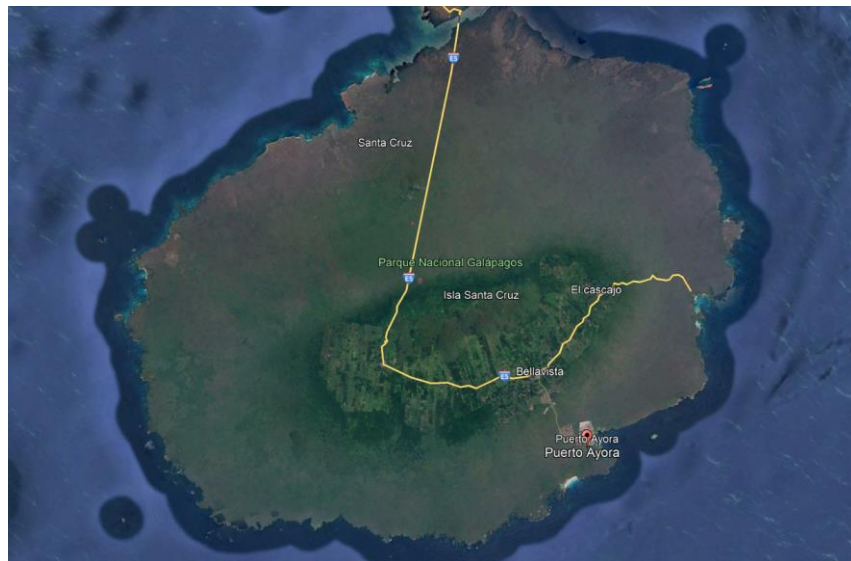


Figura 1 Ubicación del Proyecto, Google Earth (2025).

La Isla Santa Cruz es la más habitada de las Galápagos se encuentra en el centro del archipiélago, lo que la convierte en un punto estratégico para explorar los islotes y otras islas. Geográficamente está conformada por playas y bahías, tiene 986 km² de extensión y su altura máxima es de 864 metros, presenta zonas de vegetación de distintas especies y así mismo una variedad de animales. Territorialmente, la isla está conformada en una sola parroquia de tipo urbano: Parroquia Puerto Ayora y dos parroquias rurales: Parroquias Bellavista y Santa Rosa (ECU Info,2025). La isla presenta dos formaciones principales la formación antigua de alrededor de 1.3 millones de años que se caracteriza por lavas y rocas calizas fosilizadas y la formación joven de los últimos 600,000 años, dominada por erupciones recientes de lava basáltica.

2.1.2. Mapa satelital del terreno.



Figura 2 Mapa satelital del terreno del proyecto

Extensión del terreno del proyecto: 9235.91 m²

Coordenadas geográficas:

Latitud: SO°44'45.77935

Longitud: O90°19'10.04349

Zona: 15 S

2.1.3. Uso actual de la tierra en la Isla Santa Cruz según el Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santa Cruz.

Las características del uso del suelo están determinadas por la interacción entre elementos naturales como el tipo de suelo y el agua, así como por factores humanos. Además, las escenarios económicas y culturales como la tecnología, las tradiciones y el mercado de una comunidad influyen en cómo se aprovechan los recursos naturales. Para valorara e identificar

el uso de la tierra, se conoce su uso de forma cuantitativa y espacial las distintas maneras en que se utiliza en la región. Mediante una descripción de las principales características de uso emitido por el Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santa Cruz (2012), se recopiló la siguiente información:

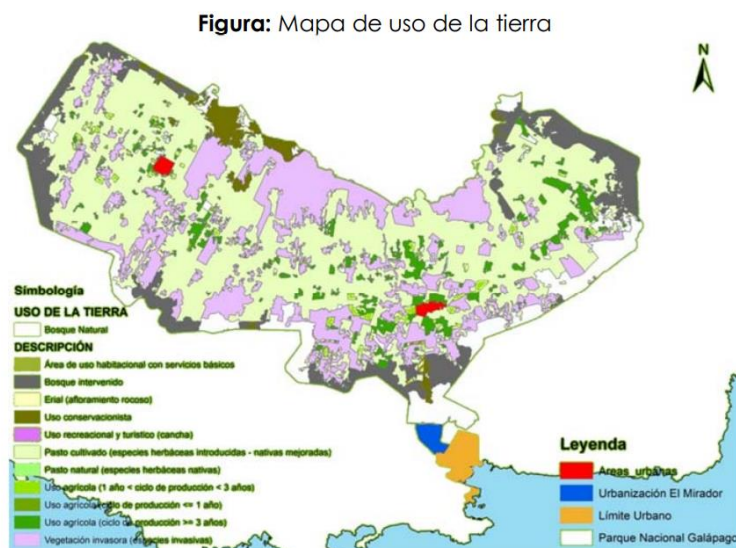


Figura 3 Mapa del uso de la tierra, Gobierno Municipal de Santa Cruz (2024).

Descripción uso de la tierra y Cobertura vegetal

Bosque natural: Zona con manglares y bosques nativos altos (más de 15 metros) sin intervención humana. Predominan árboles densos y variados.

Bosque intervenido: Ecosistema forestal en colonización inicial, que aún no afecta mucho el medio vegetal. Se encuentra en zonas altas.

Erial: Área con rocas, arenales, salitrales y playas.

Vegetación invasora: Plantas introducidas que se establecen en nuevas zonas y amenazan a la vegetación nativa. Ejemplos en Galápagos: guayaba, poma rosa, cascarilla, cedro y mora.

Área habitacional: Zona destinada a viviendas con servicios básicos.

Industrial: Incluye procesos agroalimentarios, textiles, construcción, minería y actividades avícolas y porcinas.

Área en proceso de erosión: Terreno con pérdida de suelo superficial por causas naturales o humanas.

Área erosionada: Suelo desgastado y pobre en vegetación, con estratos inferiores expuestos.

Área urbana: Zona urbanizada, en expansión urbana y en proceso de urbanización. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Santa Cruz, 2012)

En Santa Cruz, como pasa en casi todo el Archipiélago de Galápagos, no hay ríos grandes o permanentes que provean agua dulce a la isla. Solo hay unas cuantas quebradas, charcos y fisuras naturales donde el agua es salobre, o sea, tiene un poco de sal.

2.1.4. Tipo de suelo del terreno del proyecto

Según el Estudio Geológico Geofísico USFQ-Santa Cruz en la zona del proyecto (Puerto Ayora) se presentan grietas y fisuras, producto del enfriamiento del magma las cuales pueden llegar afectar la estabilidad del terreno. Además, como es común en las Islas se encuentra erosión, meteorización volcánica y la tectónica de placas, lo que ha generado una geología compleja con formaciones de diferentes edades. En la zona del proyecto se ha generado texturas arenosas, granulares y una presencia de basaltos y andesitas basálticas.

El Estudio Geológico- Geofísico presentado por Geosuelos Ingenieros Consultores para la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) sobre la construcción del nuevo campus en Puerto Ayora, Santa Cruz, Galápagos, evaluó las condiciones del suelo y subsuelo mediante métodos combinados como refracción sísmica utilizando geófonos y realizando golpes con un martillo sísmico, además para garantizar la estabilidad y seguridad estructural de las cimentaciones del proyecto, se analizó ondas superficiales mediante registros sísmicos obtenidos de un sismógrafo y datos obtenidos de electrodos alineados colocados en la superficie y la tomografía eléctrica.

Por otro lado, el Informe geotécnico presentado por Geosuelos Ingenieros Consultores para la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) sobre la construcción del nuevo campus en Puerto Ayora, Santa Cruz, Galápagos, evaluó las características del suelo y su capacidad portante mediante el ensayo de Cono Dinámico de Penetración (DCP) en áreas distribuidas del proyecto y el ensayo Standard Penetration Test SPT.

Por consecuencia, se determinó el tipo de suelo del proyecto según la clasificación del suelo de la NEC, donde se definió que el suelo es de perfil tipo B que corresponde a un Perfil de roca de rigidez media y una velocidad de onda de corte mayor o igual a 760m/s y menor o igual a 1500m/s.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$

Tabla 2 Clasificación de los perfiles de suelo, NEC (2014).

Se indicó que el suelo del sitio se encuentra en condiciones óptimas y favorables para comenzar con las cimentaciones necesarias para la construcción. Tras realizar los análisis pertinentes, se determinó que el terreno posee una resistencia adecuada, lo que permite proceder con la fase de cimentación sin riesgos significativos. En base a estos estudios, se recomendó el uso de plintos o zapatas aisladas como la mejor opción estructural para distribuir las cargas de manera eficiente.



Figura 4 Cobertura vegetal y suelo de la zona, Geosuelos (2024).



Figura 5 Tipo de suelo de la zona, Geosuelos (2024).

2.2.Capacidad de infiltración del suelo.

2.2.1. Método de Horton

Fue desarrollada por el científico Horton en 1933, donde observo que la infiltración empieza en una tasa f_o y luego decrece hasta una tasa constante f_c . Con este método se propone que la infiltración disminuye exponencialmente con el tiempo hasta alcanzar un valor de equilibrio. Se basa en la ecuación:

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c) * e^{-kt} \quad (1)$$

Donde

$$\begin{aligned} f(t) &= \text{capacidad de infiltracion} \\ f_c &= \text{capacidad de infiltracion en equilibrio} \\ f_o &= \text{capacidad de infiltracion inicial} \\ k &= \text{constante experimental} \end{aligned}$$

(Horton, R. E., 1940)

La ecuación de Horton se caracteriza de que la intensidad de lluvia i iguala o excede a f . Si i es menor que f , como se da en la ecuación, entonces $f = i$. (Mcghee, T, 1999)

2.2.2. Método Green-Ampt

El método fue publicado en 1911, por los científicos Green y Ampt, se asumió que las fuerzas capilares actúan como un frente húmedo y seguido de la pared se encuentra un estrato saturado. Es un modelo basado en la física del movimiento del agua en el suelo, suponiendo una frontera de humedad bien definida. Donde el contenido de humedad volumétrica inicial θ en el suelo es una constante y varía según la zona en la que se encuentra el proyecto.

Ecuación de Green-Ampt:

$$f = K_s \left(1 + \frac{\Psi \Delta \theta}{F} \right) \quad (2)$$

K_s = conductividad hidráulica del suelo saturado

Ψ = la succión en el frente de humedad

$\Delta \theta$ = cambio en el contenido de humedad

F = profundidad acumulada de infiltración

(Green, W. H., & Ampt, G. A., 1911.)

Mediante las ecuaciones planteadas en el modelo de Green y Ampt, las cuales se pueden derivar aplicando la ley de Bernoulli y la ley de Darcy, y mediante los parámetros de análisis publicados por los mismo se obtiene la tasa de infiltración que es la densidad de flujo y la infiltración acumulada en el suelo.

El método de Green-Ampt se usa para modelar la infiltración de agua en suelos uniformes, inicialmente secos, con un frente de humectación pronunciado, donde existe una clara separación entre la zona saturada y no saturada. Es ideal para suelos de textura bien definida, como los arenosos o francos, ya que asume una relación estable entre la humedad y la succión en el frente de humectación. Su principal ventaja es que proporciona una simplificación de la realidad y proporciona información relevante sobre el proceso de infiltración, por lo que se usa frecuentemente en simulaciones hidrológicas para estimar la infiltración en cuencas pequeñas o medianas.

Parámetros de Infiltración de Green-Ampt				
Clase de Suelo	Porosidad η	Porosidad efectiva θ_e	Potencial de succión del frente húmedo Ψ (mm)	Conductividad hidráulica K (mm/h)
Arena	0,437	0,417	4,95	11,78
Arena margosa	0,437	0,401	6,13	2,99
Marga arenosa	0,453	0,412	11,01	1,09
Marga arenosa	0,463	0,434	8,89	0,34
Marga limosa	0,501	0,486	16,68	0,65
Marga arenoarcillosa	0,398	0,33	21,85	0,15
Marga arcillosa	0,464	0,309	20,88	0,1
Marga limo-arcillosa	0,471	0,432	27,3	0,1
Arcilla arenosa	0,43	0,321	23,9	0,06
Arcilla limosa	0,479	0,423	29,22	0,05
Arcilla	0,475	0,385	31,63	0,03

Tabla 3 Parámetros de infiltración de Green-Ampt para varias clases de suelos. Fuente: Rawls, Brakensiek y Miller, (1983).

En este caso se utilizó el método de Green-Ampt para estimar la capacidad de infiltración de los suelos presentes en el proyecto. La humedad inicial del suelo en un perfil de roca de rigidez media (como los clasificados como Suelo Tipo B según la Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC) depende de varios factores, como la porosidad, fracturación y condiciones climáticas de la zona. Se caracterizan por la capacidad de retención de agua, factores que afectan la humedad y valores típico de humedad.

Características de humedad en un perfil de roca de rigidez media.

1. Baja capacidad de retención de agua:

La roca de rigidez media, como basaltos y andesitas ligeramente meteorizadas, tiende a no retener mucha humedad debido a su baja porosidad. La humedad del suelo en estos perfiles suele estar concentrada en grietas o fracturas.

2. Valores típicos de humedad inicial:

En rocas con cierto grado de meteorización, la humedad inicial puede estar entre 5% y 15%, dependiendo de la presencia de material fino o arcilloso en la matriz. En basaltos compactos y densos, la humedad inicial puede ser menor al 5%.

3. Factores que afectan la humedad:

El clima local, en zonas húmedas, las fracturas pueden almacenar agua, aumentando la humedad del suelo. A mayores profundidades, la humedad puede reducirse debido a menor infiltración superficial. Por otro lado, la permeabilidad, si el material presenta fracturación significativa, puede acumular más agua en sus intersticios.

Condiciones en Santa Cruz, Galápagos

Dado que en la Isla Santa Cruz los suelos se desarrollan sobre rocas volcánicas jóvenes (basaltos con fracturas y capas de ceniza volcánica), la humedad inicial del suelo puede ser variable dependiendo de la zona y la profundidad. En áreas más superficiales con material más meteorizado, la humedad inicial podría alcanzar entre 10% y 20%, mientras que en roca más densa y sin fracturas, la humedad será muy baja (<5%). En este caso se tomó un valor estimado de 0.15 se basó en el tipo de suelo del área del proyecto y sus características obtenidas en el estudio geotécnico. El tipo de suelo identificado son Silt Loam (Marga Limosa) y Sandy Loam (Marga Arenosa).

La marga es un tipo de suelo que también contiene una mezcla de los tres tipos de partículas, aunque con una distribución diferente: 30% de arcilla, 50% de arena y 20% de limo y es rica en humus. Se caracteriza por ser un suelo de aspecto oscuro, seco y desmenuzable al tacto. Gracias a su estructura, la marga mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas, permitiendo que el aire y el agua se infiltren eficientemente. La marga facilita el drenaje del exceso de agua, lo que previene la saturación del suelo.

Por otro lado, muy similar a la marga, el suelo franco es un tipo de suelo que contiene en una mezcla equilibrada de los tres tipos principales de partículas del suelo: arena, limo y arcilla, junto con humus. Esta combinación le permite retener adecuadamente la humedad y los nutrientes, lo que favorece el crecimiento de las plantas. Además, su origen inorgánico le confiere niveles más altos de calcio y un pH moderado, lo que es beneficioso para la mayoría de las plantas. Los suelos francos tienen la ventaja de no secarse en exceso durante el verano ni inundarse durante el invierno, lo que los convierte en un suelo ideal para el cultivo.

Con el análisis de la humedad inicial del suelo se utilizó el valor estimado de 0.15 para los dos tipos de suelo el suelo marga limosa y el suelo marga arenosa. Se tomo los datos de la Tabla 3. De aquí se obtuvo los valores de saturación inicial, porosidad, porosidad efectiva, cabeza de succión y conductividad hidráulica para aplicar el método de Green Ampt para el cálculo de infiltración acumulada y tasa de infiltración.

Se utilizo la siguiente fórmula para los cálculos, que es la integral de la ecuación (2).

$$F(t) - \Psi \Delta \theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\Psi \Delta \theta} \right) = Kt \quad (3)$$

Se tomo los valores de la tabla 3 para:

$$K_s = 0.65 \frac{cm}{h}$$

$$\Psi = 16.68 \text{ mm}$$

$$\theta_e = 0.486$$

$$\eta = 0.501$$

$$\theta = 0.15$$

Se calcula:

Cambio de contenido de humedad

$$\theta_r = \eta - \theta_e$$

$$\theta_r = 0.501 - 0.486$$

$$\theta_r = 0.015$$

Saturación Inicial (Se)

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\eta - \theta_r} = 0.278$$

$$\Delta\theta = (1 - Se) * \theta_e$$

$$\Delta\theta = (1 - 0.278) * 0.486$$

$$\Delta\theta = 0.351$$

Para tiempo $t = 1.5h = 90 \text{ min}$

$$Kt = Ks * \text{tiempo}$$

$$F(t) = Kt = \frac{0.65 \text{ cm}}{h} * 1.5 h = 0.9750$$

$$\Psi\Delta\theta = 16.68 \text{ mm} * 0.351 = 5.854$$

$$F(t) - \Psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\Psi\Delta\theta}\right) = Kt$$

$$F(t) = Kt + \Psi\Delta\theta \ln\left(1 + \frac{Kt}{\Psi\Delta\theta}\right)$$

$$F(t) = 0.9750 + (5.854) * \ln\left(1 + \frac{0.9750}{5.854}\right)$$

$$F(t) = 1.877 \text{ cm}$$

Se itera Kt hasta encontrar un valor constante

$$F(t) = \text{Infiltración acumulada (cm)} = 4.058 \text{ cm}$$

Una vez calculada la infiltración acumulada se puede encontrar la tasa de infiltración $\left(\frac{\text{cm}}{h}\right)$:

$$f = Ks \left(1 + \frac{\Psi\Delta\theta}{F}\right)$$

$$f = 0.65 \frac{\text{cm}}{h} * \left(1 + \frac{5.85}{4.058 \text{ cm}}\right)$$

$$f = 1.58 \frac{\text{cm}}{h}$$

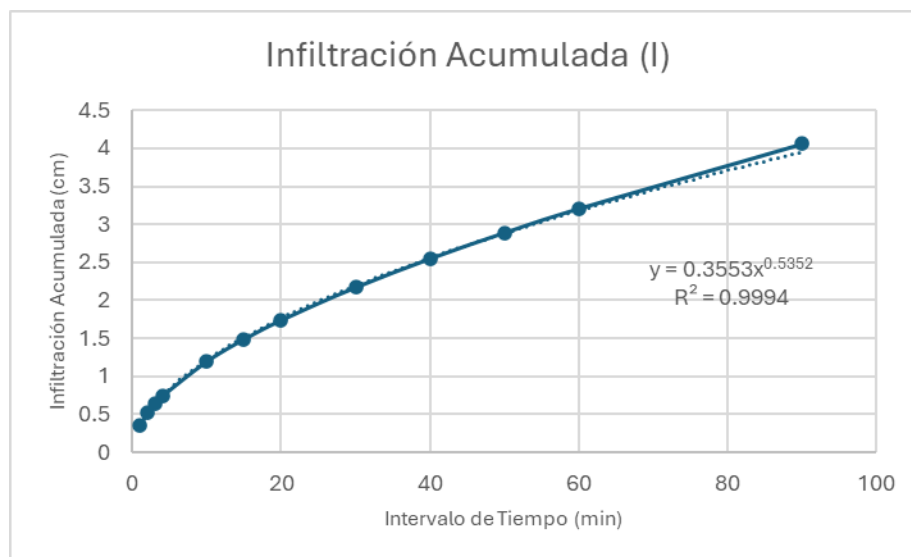
De aquí se obtuvo los siguientes resultados:

Para el suelo de tipo Marga Limosa, la infiltración es rápida (11.148 cm/h en el primer minuto), aunque ligeramente menor que en el suelo marga arenosa. Con el tiempo, la tasa de infiltración

disminuye gradualmente hasta alcanzar 1.587 cm/h a los 90 minutos, indicando que el suelo se está saturando. La tasa de infiltración inicial es similar en ambos suelos, pero la marga arenosa mantiene valores más altos durante más tiempo.

Marga Limosa		
Intervalo de tiempo (min)	infiltración acumulada I (cm)	Tasa de infiltración
1	0.36250762	11.148
2	0.51815076	7.99446861
3	0.63873185	6.60796501
4	0.74149848	5.78223168
10	1.19963396	3.82225263
15	1.48980422	3.20439066
20	1.74040763	2.83658085
30	2.17320132	2.40112262
40	2.55025505	2.14222016
50	2.89178101	1.96598554
60	3.20813423	1.83621658
90	4.05780159	1.58783343

Tabla 4 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Limosa



Gráfica 1 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Limosa

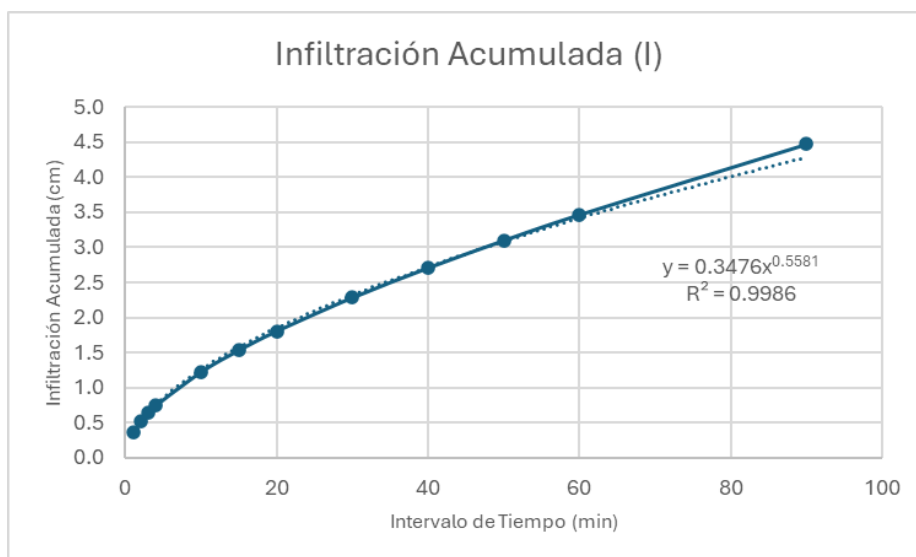
Para el suelo tipo Marga Arenosa, la tasa de infiltración es alta (11.204 cm/h en el primer minuto), lo que indica que el suelo es muy permeable al inicio. Con el tiempo, la tasa disminuye

gradualmente hasta alcanzar valores cercanos a 1.903 cm/h a los 90 minutos, lo que sugiere que el suelo se está saturando.

Marga Arenosa		
Intervalo de tiempo (min)	Infiltración acumulada I (cm)	Tasa de infiltración
1	0.360	11.204
2	0.517	8.126
3	0.640	6.773
4	0.746	5.967
10	1.225	4.058
15	1.536	3.458
20	1.808	3.101
30	2.286	2.680
40	2.711	2.431
50	3.101	2.263
60	3.467	2.139
90	4.472	1.903

Tabla 5 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Arenosa

El comportamiento observado es consistente con el modelo de Green-Ampt, ya que la infiltración es rápida en los primeros minutos y se estabiliza con el tiempo.



Gráfica 2 Infiltración Acumulada Suelo Tipo Marga Arenosa.

En aplicaciones reales, estos valores pueden utilizarse para diseñar estrategias de manejo de aguas pluviales, como sistemas de infiltración, como zanjas de infiltración o sistemas de biorretención, drenajes sostenibles y control de escorrentía en el Campus USFQ.

2.4.2. Pruebas de campo con infiltrómetros

Se utilizan dispositivos como el infiltrómetro, el cual se caracteriza por ser un tubo diseñado para aislar una sección de suelo. Por ejemplo, el infiltrómetro de doble anillo, que mide la velocidad de infiltración a través de la observación directa en el suelo. También se lo conoce como métodos del infiltrómetro de Mintz. Consiste en dos cilindros (o anillos) metálicos concéntricos que se clavan unos centímetros en la superficie del suelo y se inundan con agua. A medida que el agua se va infiltrando en el suelo se van tomando medidas simultáneas de volumen infiltrado y tiempo. (Mañas, 2005)

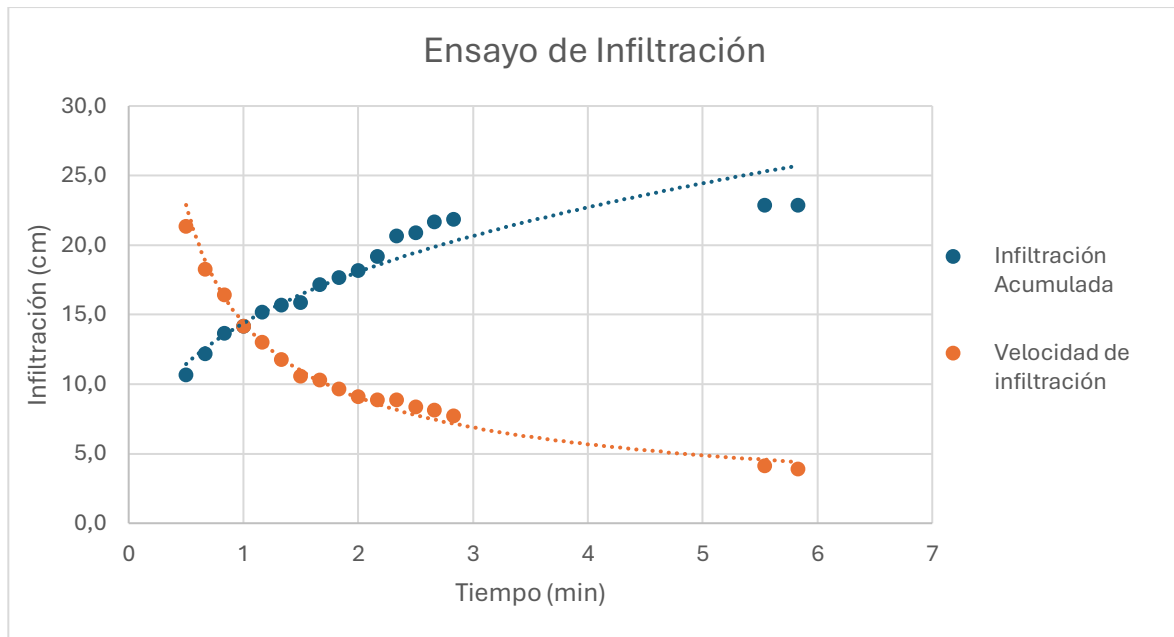
En este proyecto se utilizó una tubería PVC de 81.1 cm² de área, 2 L de agua y se realizó en dos localidades. La primera localidad ubicada en el Camino de Acceso Entrada (-0,7453897 ; -90,3199205). El nivel inicial de agua para la infiltración in situ fue de 24.7 cm. Se realizaron tres pruebas en la misma zona para las que se tomó 6, 16 y 38 min. Con los datos tomados se pudo estimar la infiltración acumulada y la tasa de infiltración para cada prueba. Se obtuvo los siguientes resultados:

Ubicación: Camino de Acceso Entrada (-0,7453897 ; -90,3199205)

Prueba 1

TEST NUMBER:					1
Tiempo	Tiempo	Nivel de Agua	Infiltración Instantánea	Infiltración acumulada	Tasa de Infiltración
(seg)	(min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/min)
0	0	24,7	0	0,0	0,0
30	0,5	14,0	10,7	10,7	21,3
40	0,667	12,5	1,5	12,2	18,3
50	0,833	11,0	1,5	13,7	16,4
60	1	10,5	0,5	14,2	14,2
70	1,167	9,5	1,0	15,2	13,0
80	1,333	9,0	0,5	15,7	11,8
90	1,5	8,8	0,2	15,9	10,6
100	1,667	7,5	1,3	17,2	10,3
110	1,833	7,0	0,5	17,7	9,6
120	2	6,5	0,5	18,2	9,1
130	2,167	5,5	1,0	19,2	8,8
140	2,333	4,0	1,5	20,7	8,9
150	2,5	3,8	0,2	20,9	8,3
160	2,667	3,0	0,8	21,7	8,1
170	2,833	2,8	0,2	21,9	7,7
333	5,544	1,8	1,0	22,9	4,1
350	5,833	0,0		22,9	3,9

Tabla 6 Infiltración In situ, Prueba 1



Gráfica 3 Ensayo de Infiltración Prueba 1

Con base en los resultados de la Prueba 1 del ensayo de infiltración con infiltrómetro realizada en la localidad del Camino de Acceso Entrada, se observó que al inicio del ensayo se presentó una alta tasa de infiltración de 21.3cm/ min a los 30 segundos, lo que nos indica que al inicio se tiene un suelo muy seco con alta capacidad de absorber agua.

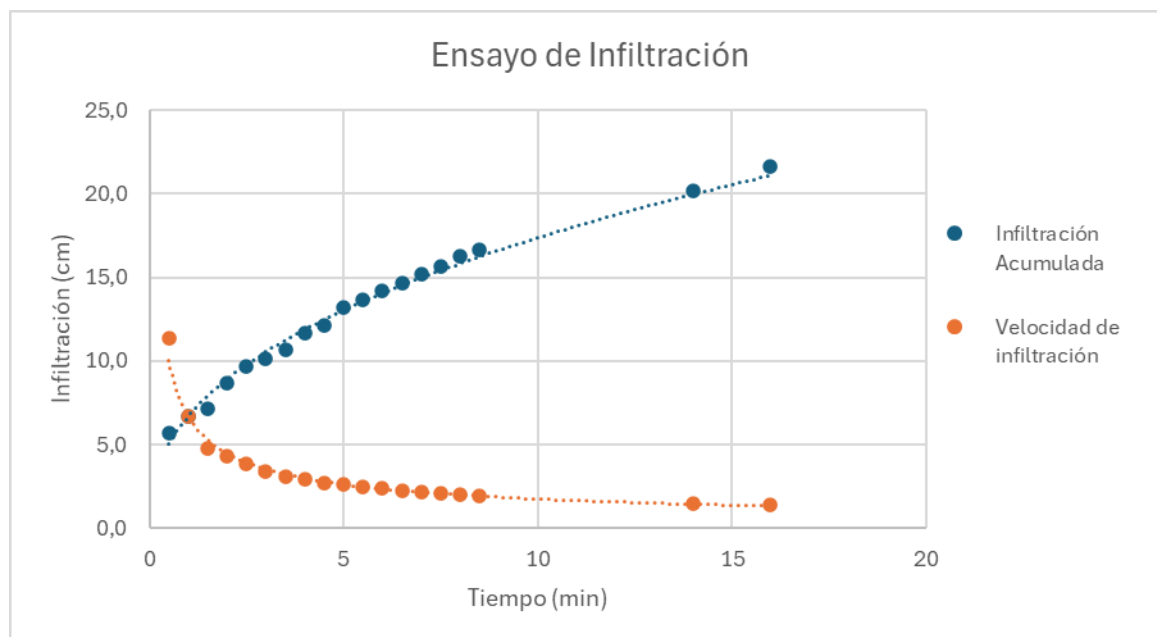
Además, se obtuvo la gráfica del ensayo de infiltración, la cual nos indica una disminución progresiva de la infiltración hasta llegar a 3.9 cm/min al final del ensayo en el minuto 5.83. esta tendencia es típica en un suelo que se va saturando gradualmente.

La curva de infiltración sugiere un suelo de textura media a ligera, que permite una infiltración inicial rápida pero que disminuye al estabilizarse, lo cual es coherente con los suelos clasificados en el estudio como margas arenosas.

Prueba 2

TEST NUMBER:				2
Tiempo	Nivel de Agua	Infiltración Instantánea	Infiltración acumulada	Tasa de Infiltración
(min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/min)
0	24,7	0	0,0	0,0
0,5	19,0	5,7	5,7	11,3
1,0	18,0	1,0	6,7	6,7
1,5	17,5	0,5	7,2	4,8
2,0	16,0	1,5	8,7	4,3
2,5	15,0	1,0	9,7	3,9
3,0	14,5	0,5	10,2	3,4
3,5	14,0	0,5	10,7	3,0
4,0	13,0	1,0	11,7	2,9
4,5	12,5	0,5	12,2	2,7
5,0	11,5	1,0	13,2	2,6
5,5	11,0	0,5	13,7	2,5
6,0	10,5	0,5	14,2	2,4
6,5	10,0	0,5	14,7	2,3
7,0	9,5	0,5	15,2	2,2
7,5	9,0	0,5	15,7	2,1
8,0	8,4	0,6	16,3	2,0
8,5	8,0	0,4	16,7	2,0
14,0	4,5	3,5	20,2	1,4
16,0	3,0	1,5	21,7	1,4

Tabla 7 Infiltración In situ, Prueba 2



Gráfica 4 Ensayo de Infiltración Prueba 2

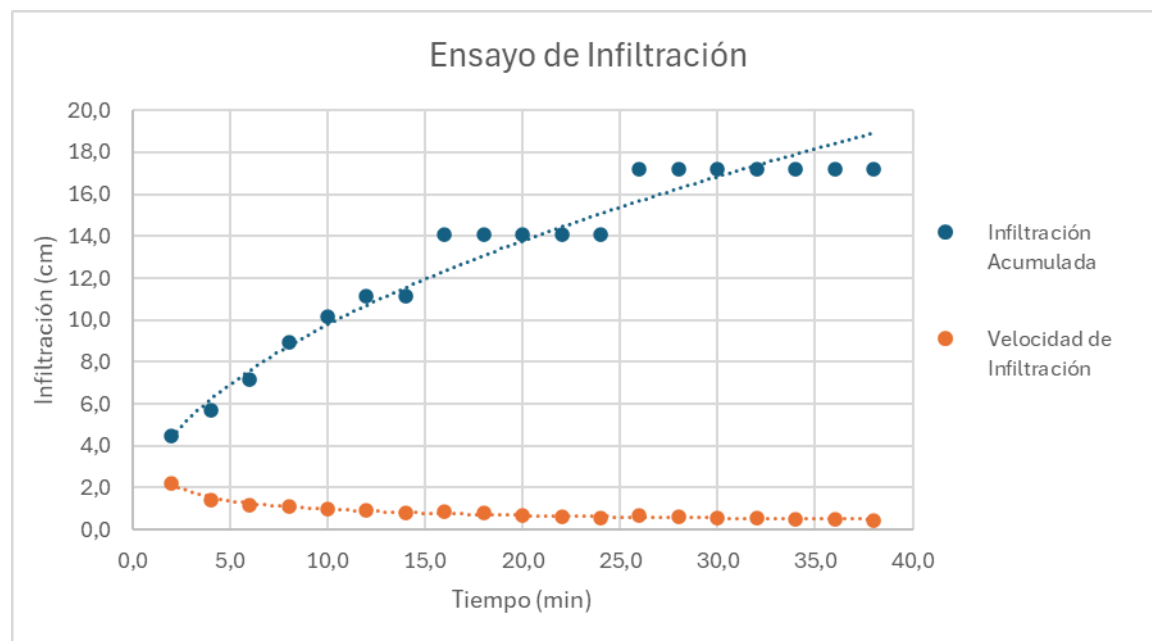
De la misma manera que la prueba 1 se tienen una alta tasa inicial de infiltración, se inicia con un valor elevado de 11,3 cm/min en los primeros 30 segundos, lo que indica una condición inicial de suelo seco con alta capacidad de absorción superficial. Y así mismo una disminución progresiva de la tasa de infiltración hasta estabilizarse los valores.

La forma de la curva de infiltración y la reducción progresiva en la tasa sugieren un suelo franco limoso o marga limosa, el cual tiene una alta capacidad inicial de infiltración, pero se reduce notablemente al saturarse, debido a una porosidad efectiva menor que la de suelos arenosos.

Prueba 3

TEST NUMBER:				3
Tiempo	Nivel de Agua	Infiltración Instantánea	Infiltración acumulada	Tasa de Infiltración
(min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/min)
0,0	24,7	0	0,0	0,0
2,0	20,2	4,5	4,5	2,2
4,0	19,0	1,2	5,7	1,4
6,0	17,5	1,5	7,2	1,2
8,0	15,8	1,8	8,9	1,1
10,0	14,5	1,3	10,2	1,0
12,0	13,5	1,0	11,2	0,9
14,0			11,2	0,8
16,0	10,6	2,9	14,1	0,9
18,0			14,1	0,8
20,0			14,1	0,7
22,0			14,1	0,6
24,0			14,1	0,6
26,0	7,5	3,1	17,2	0,7
28,0			17,2	0,6
30,0			17,2	0,6
32,0			17,2	0,5
34,0			17,2	0,5
36,0			17,2	0,5
38,0	0,0		17,2	0,5

Tabla 8 Infiltración In situ, Prueba 3



Gráfica 5 Ensayo de Infiltración Prueba 3

Para la prueba 3 se obtuvo una disminución progresiva de la tasa de infiltración se inició con 2.2 cm/min en los primeros 2 minutos y se disminuye hasta estabilizarse en 0.5 cm/min en los 32 a 38 min. El total de agua infiltrada fue de 17.2 cm, lo que nos indica la capacidad que tiene el suelo de absorber agua. A diferencia de las anteriores pruebas el tener una tasa de infiltración estable de 0.5 cm/min, el suelo podría clasificarse como un franco o franco arcilloso.

Se indicó que el suelo tiene una infiltración acumulada entre 4,5 cm a 22.9 cm entre las tres pruebas y una infiltración instantánea máxima de 9.3 cm/min en la primera localidad. En base a estos estudios, se determinó que el comportamiento es típico de suelos franco-arenosos o marga arenosa, que permiten buena infiltración inicial, pero tienen una porosidad media que reduce la infiltración con el tiempo.

Las posibles aplicaciones que se pueden hacer en base a estos resultados es un diseño de sistema de riego por infiltración o goteo. Zanjas de infiltración, diseño de drenajes o pavimentos permeables.

Localidad 2

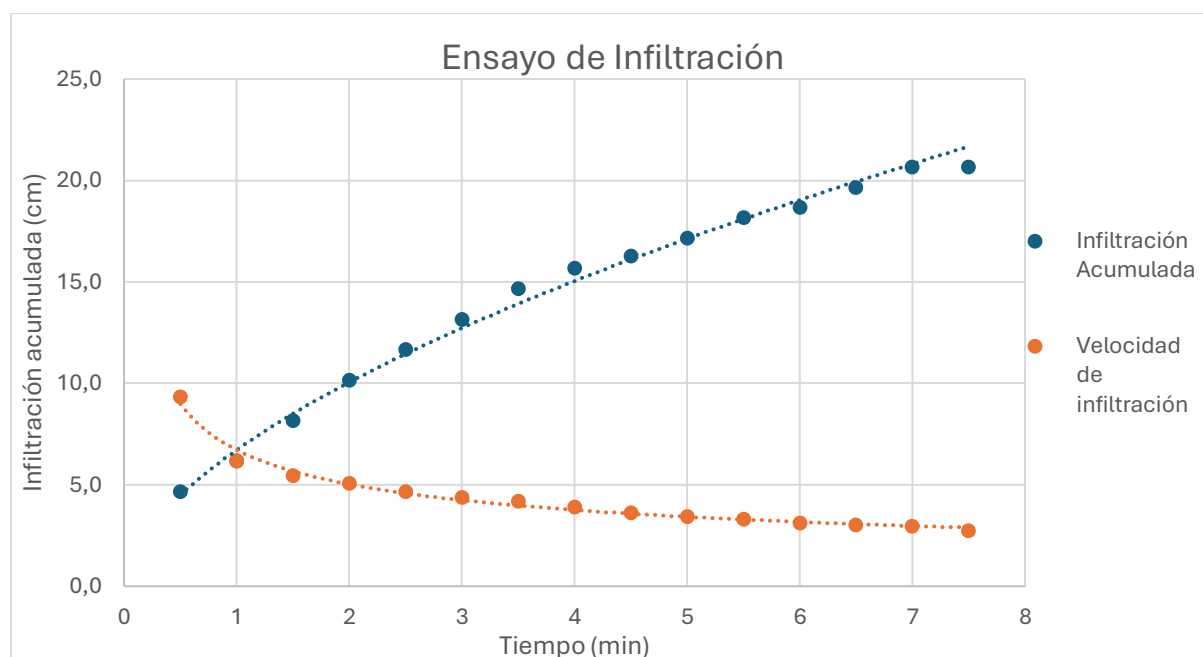
La segunda localidad que se encuentra en donde será el Centro de Convenciones (-0,7446270 ; 90,3193425). El nivel inicial de agua para la infiltración in situ fue de 24.7 cm. Se realizaron tres pruebas en la misma zona para las que se tomó 8, 10 y 10 min. Con los datos recogidos se pudo estimar la infiltración acumulada y la tasa de infiltración para cada prueba. Se obtuvo los siguientes resultados:

Ubicación: Centro de Convenciones (-0,7446270 ; 90,3193425).

Prueba 1

Prueba número				1
Tiempo	Nivel de agua	Lámina infiltrada	Infiltración acumulada	Infiltración instantánea
(min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/min)
0	24,7	0	0,0	0,0
0,5	20,0	4,7	4,7	9,3
1,0	18,5	1,5	6,2	6,2
1,5	16,5	2,0	8,2	5,4
2,0	14,5	2,0	10,2	5,1
2,5	13,0	1,5	11,7	4,7
3,0	11,5	1,5	13,2	4,4
3,5	10,0	1,5	14,7	4,2
4,0	9,0	1,0	15,7	3,9
4,5	8,4	0,6	16,3	3,6
5,0	7,5	0,9	17,2	3,4
5,5	6,5	1,0	18,2	3,3
6,0	6,0	0,5	18,7	3,1
6,5	5,0	1,0	19,7	3,0
7,0	4,0	1,0	20,7	3,0
7,5	4,0	0,0	20,7	2,8

Tabla 9 Infiltración In situ, Localización 2, Prueba 1



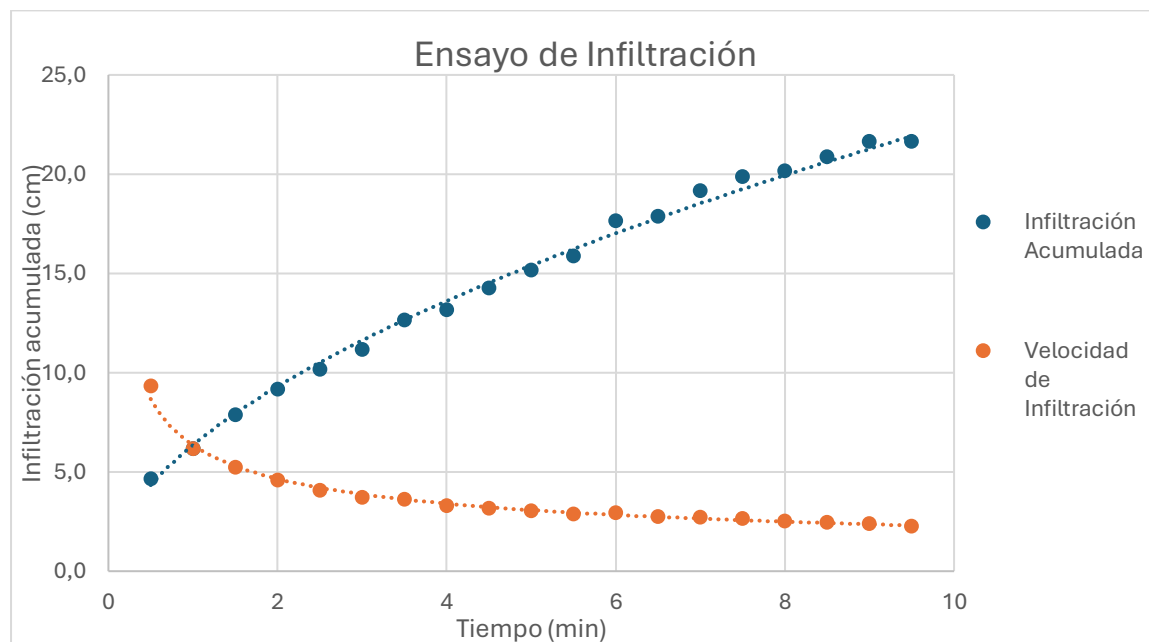
Gráfica 6 Ensayo de Infiltración Prueba 1, Localización 2

En la prueba 1 se obtienen las siguientes observaciones, en los primeros 0.5 min la infiltración instantánea fue de 9.3 cm/min, lo cual nos indica una alta capacidad de suelo de absorber agua. Además, se obtiene una disminución progresiva de la tasa de infiltración de 6.2 cm/min en el minuto 1, de 5.1 cm/min al minuto 2 y de 3 cm/min al minuto 6.5 y finalmente se tiene 2.8 cm/min a los 7.5 minutos. A medida que el suelo va saturándose, la infiltración disminuye lo cual nos indica que hay una buena permeabilidad del suelo. En la gráfica se puede observar que entre los minutos 6 y 7.5 la tasa se estabiliza cerca de los 3 cm/min, este valor se considera como la tasa de infiltración básica del suelo. Además, se puede tratar de un suelo arenoso o franco arenoso, con buena porosidad y drenaje.

Prueba 2

Prueba número				2
Tiempo	Nivel de agua	Lámina infiltrada	Infiltración acumulada	Infiltración instantánea
(min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/min)
0	24,7	0	0,0	0,0
0,5	20,0	4,7	4,7	9,3
1,0	18,5	1,5	6,2	6,2
1,5	16,8	1,7	7,9	5,2
2,0	15,5	1,3	9,2	4,6
2,5	14,5	1,0	10,2	4,1
3,0	13,5	1,0	11,2	3,7
3,5	12,0	1,5	12,7	3,6
4,0	11,5	0,5	13,2	3,3
4,5	10,4	1,1	14,3	3,2
5,0	9,5	0,9	15,2	3,0
5,5	8,8	0,7	15,9	2,9
6,0	7,0	1,8	17,7	2,9
6,5	6,8	0,2	17,9	2,7
7,0	5,5	1,3	19,2	2,7
7,5	4,8	0,7	19,9	2,6
8,0	4,5	0,3	20,2	2,5
8,5	3,8	0,7	20,9	2,5
9,0	3,0	0,8	21,7	2,4
9,5	3,0	0,0	21,7	2,3

Tabla 10 Infiltración In situ, Localización 2, Prueba 2

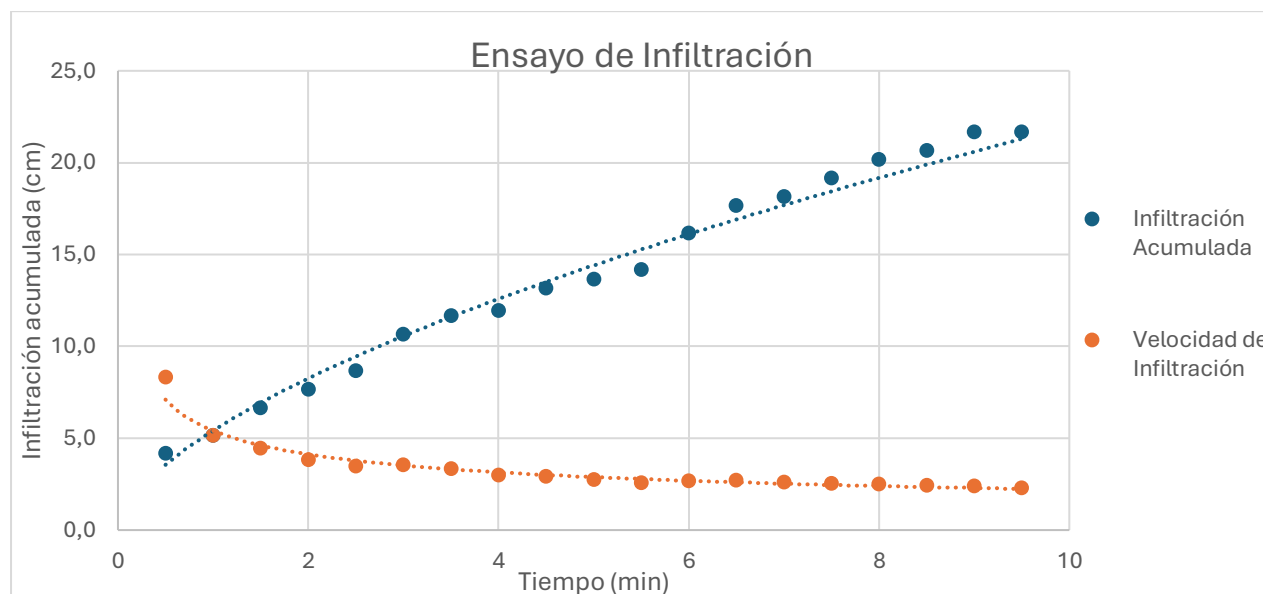


Gráfica 7 Ensayo de Infiltración Prueba 2, Localización 2

Prueba 3

Prueba número				3
Tiempo	Nivel de agua	Lámina infiltrada	Infiltración acumulada	Infiltración instantánea
(min)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm/min)
0	24,7	0	0,0	0,0
0,5	20,5	4,2	4,2	8,3
1,0	19,5	1,0	5,2	5,2
1,5	18,0	1,5	6,7	4,4
2,0	17,0	1,0	7,7	3,8
2,5	16,0	1,0	8,7	3,5
3,0	14,0	2,0	10,7	3,6
3,5	13,0	1,0	11,7	3,3
4,0	12,7	0,3	12,0	3,0
4,5	11,5	1,2	13,2	2,9
5,0	11,0	0,5	13,7	2,7
5,5	10,5	0,5	14,2	2,6
6,0	8,5	2,0	16,2	2,7
6,5	7,0	1,5	17,7	2,7
7,0	6,5	0,5	18,2	2,6
7,5	5,5	1,0	19,2	2,6
8,0	4,5	1,0	20,2	2,5
8,5	4,0	0,5	20,7	2,4
9,0	3,0	1,0	21,7	2,4
9,5	3,0	0,0	21,7	2,3

Tabla 11 Infiltración In situ, Localización 2, Prueba 3



Gráfica 8 Ensayo de Infiltración Prueba 3, Localización 2

Se indicó que el suelo tiene una infiltración acumulada entre 4.2 cm a 21.7 cm y una infiltración instantánea máxima de 21.3 cm/min en la segunda localidad. En base a estos estudios, se determinó que este comportamiento podría corresponder a un suelo franco limoso o marga limosa, permite una infiltración inicial alta pero luego baja de forma significativa debido a una menor porosidad efectiva respecto a suelos más arenosos.



Figura 6 Ensayo de Infiltración en la zona (2025).



Figura 7 Tubo PVC, Ensayo de Infiltración (2025).



Figura 8 Tubo PVC y agua para Ensayo de Infiltración (2025).

Dada la alta capacidad de infiltración inicial, este tipo de suelo es adecuado para implementar estrategias de manejo de aguas pluviales como:

- Jardines de lluvia,
- Zanjas de infiltración,
- Pavimentos permeables.

Este tipo de suelo es adecuado para estrategias como jardines de lluvia o sistemas de biorretención, ya que permite un manejo efectivo del agua en eventos de precipitación moderada a intensa, reduciendo la escorrentía superficial si se diseñan adecuadamente los tiempos de retención.

3. PRECIPITACIÓN

3.1. Estaciones Meteorológicas

Para cada una de las estaciones de la red, se publican en el inventario los siguientes datos generales:

Estación meteorológica Charles Darwin INAMHI



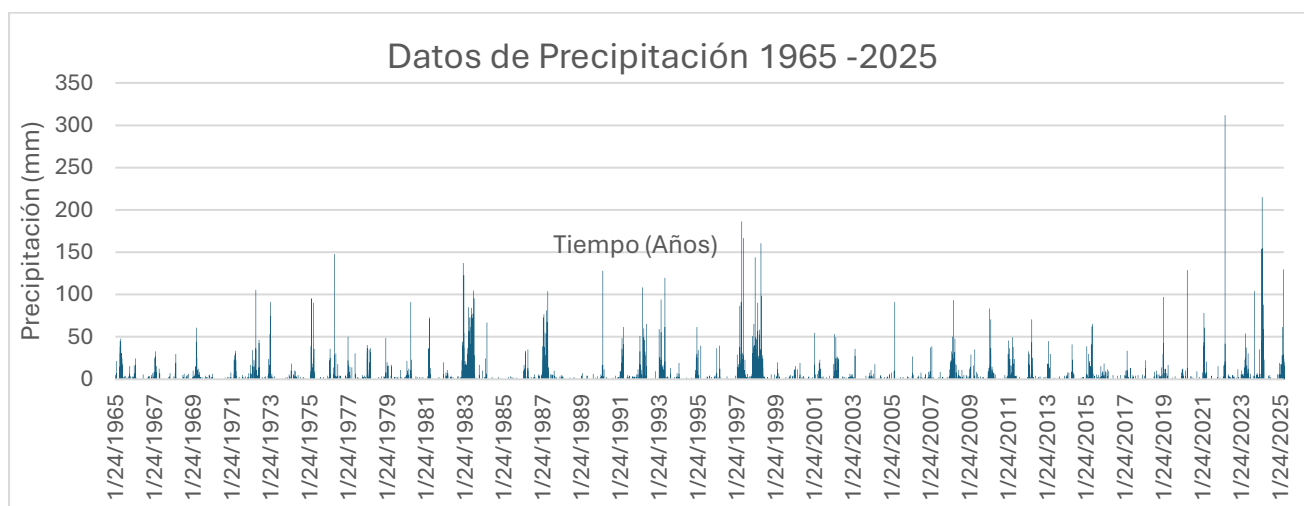
Figura 9 Ubicación de Estación Charles Darwin

INDICE DE ESTACIONES METEOROLOGICAS CON INFORMACION PUBLICADA										
CODI- GO	NOMBRE DE LA ESTACION	TIPO	ZONA HIDRO	LATITUD			LONGITUD			ALTITUD (m)
				GG	MM	SS	GG	MM	SS	
M0414	CHANIN	PV	280	2 °	40	13 '	78 °	44	50 '	3270
M1111	CHANLUD	CO	280	2 °	40	36 '	79 °	1	53 '	3336
M0191	CHARLES DARWIN INAMHI	CP	320	0 °	44	0 '	90 °	18	0 '	6
M0130	CHILLANES	CO	130	1 °	58	32 '	79 °	3	48 '	2330
M0402	CHIMBO DJ PANGOR	PV	130	1 °	56	24 '	79 °	0	16 '	1452
M0116	CHIRIROGA	PV	R0	0 °	12	38 '	78 °	46	55 '	1750

Figura 10 Índice de Estaciones Meteorológicas (2024).

- Código de la estación: M0191
- Nombre de la estación: Estación meteorológica automática M0191 CHARLES DARWIN
- Código de tipo de estación: CP – Climatológica Principal

- Ubicación geográfica:
- Latitud: -0.74383
- Longitud: -90.30219
- Altitud: 2 m s. n. m.
- Código de la provincia: EC 20
- Código de Cuenca: 320
- Cuenca del Rio: Islas Galápagos
- Institución propietaria: Estación Científica Charles Darwin
- Fecha de iniciación de las observaciones.:1965



Gráfica 9 Datos de Precipitación 1965-2025

Estación meteorológica San Cristóbal



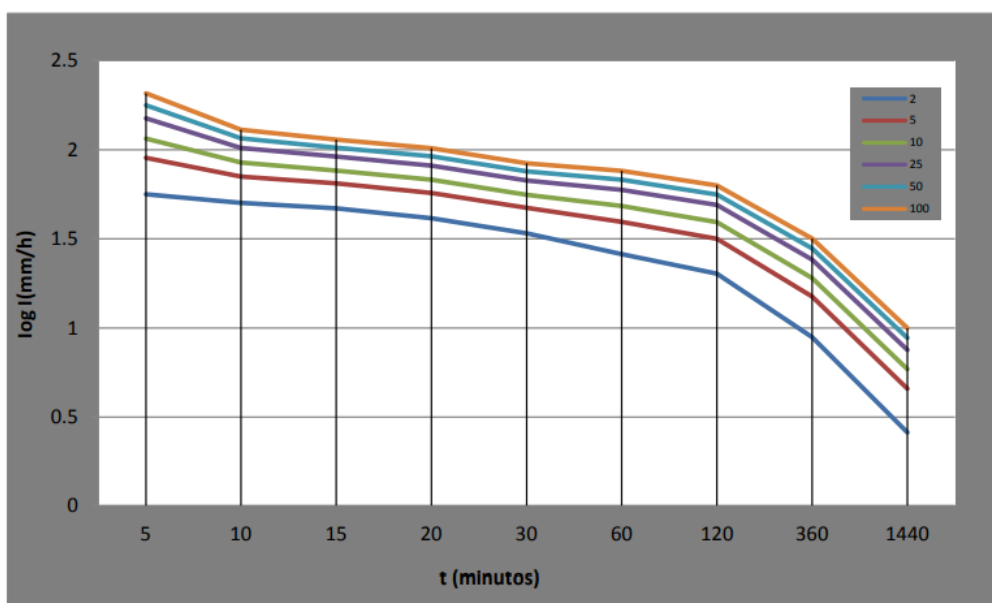
Figura 11 Ubicación de Estación San Cristóbal

- Código de la estación: M0221
- Nombre de la estación: San Cristóbal – Galápagos
- Código de tipo de estación: Estación Meteorológica Principal (CP)
- Ubicación geográfica: Isla San Cristóbal, Archipiélago de Galápagos, Ecuador
- Latitud: -0.90°
- Longitud: -89.60°
- Altitud: 6 m.s.n.m.
- Código de la provincia: EC20
- Código de Cuenca: 320
- Cuenca del Río: Islas Galápagos

- Institución propietaria: INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador)
- Fecha de iniciación de las observaciones: 16 de junio de 1973

**CUADRO N° 62: INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA ESTACIÓN M0221
SAN CRISTOBAL**

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0221	SAN CRISTOBAL	5 <120	$i = 99.7843 * T^{0.2536} * t^{-0.3417}$	0.9836	0.9675
		120 < 1440	$i = 734.3316 * T^{0.3077} * t^{-0.7719}$	0.9920	0.9841



T (min)	Período de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	68.6	86.6	103.2	130.2	155.3	185.1
10	54.2	68.3	81.5	102.8	122.5	146.1
15	47.2	59.5	70.9	89.5	106.7	127.2
20	42.7	53.9	64.3	81.1	96.7	115.3
30	37.2	46.9	56.0	70.6	84.2	100.4
60	29.4	37.0	44.2	55.7	66.4	79.2
120	22.6	29.9	37.0	49.1	60.8	75.2
360	9.7	12.8	15.9	21.0	26.0	32.2
1440	3.3	4.4	5.4	7.2	8.9	11.0

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)

Figura 12 Intensidad duración, frecuencia estación M0221, San Cristóbal (INAMHI,2025)

3.2. Percentiles

Cálculo de percentiles mediante Rainfall Events Calculator para los datos de la estación Charles Darwin.

Total rainfall from the 80th percentile storm event (mm)	12,10
Total rainfall from the 85th percentile storm event (mm)	16,60
Total rainfall from the 90th percentile storm event (mm)	24,40
Total rainfall from the 95th percentile storm event (mm)	38,80
Total rainfall from the 98th percentile storm event (mm)	69,98
Total rainfall from the 100th percentile storm event (mm)	215,00

Tabla 12 Percentiles de precipitación, Estación Charles Darwin

Para usar esta calculadora se utilizó los datos de precipitación de la estación meteorológica desde el año 1965 hasta 2025 y valores de precipitación mayores a 2mm.

Cálculo de percentiles estación San Cristóbal

Los datos que se utilizan para el cálculo del caudal son los de un día (1440 min).

T	Periodo de retorno T (años)					
min	2	5	10	25	50	100
1440	3,3	4,4	5,4	7,2	8,9	11
	Intensidad (mm/hr)					

Tabla 13 Periodo de Retorno Estación San Cristóbal

Además, se obtiene la precipitación utilizando la siguiente formula:

$$I = \frac{P}{d}$$

Donde I es la Intensidad ($\frac{mm}{hr}$)

P es la precipitación (mm)

d es la duración (hr)

$$P = I * d$$

$$P = 3.3 \text{ mm} * \frac{1440 \text{ min}}{60 \text{ min}}$$

$$P = 79.2 \text{ mm}$$

Precipitación (mm)					
2	5	10	25	50	100
79,2	105,6	129,6	172,8	213,6	264

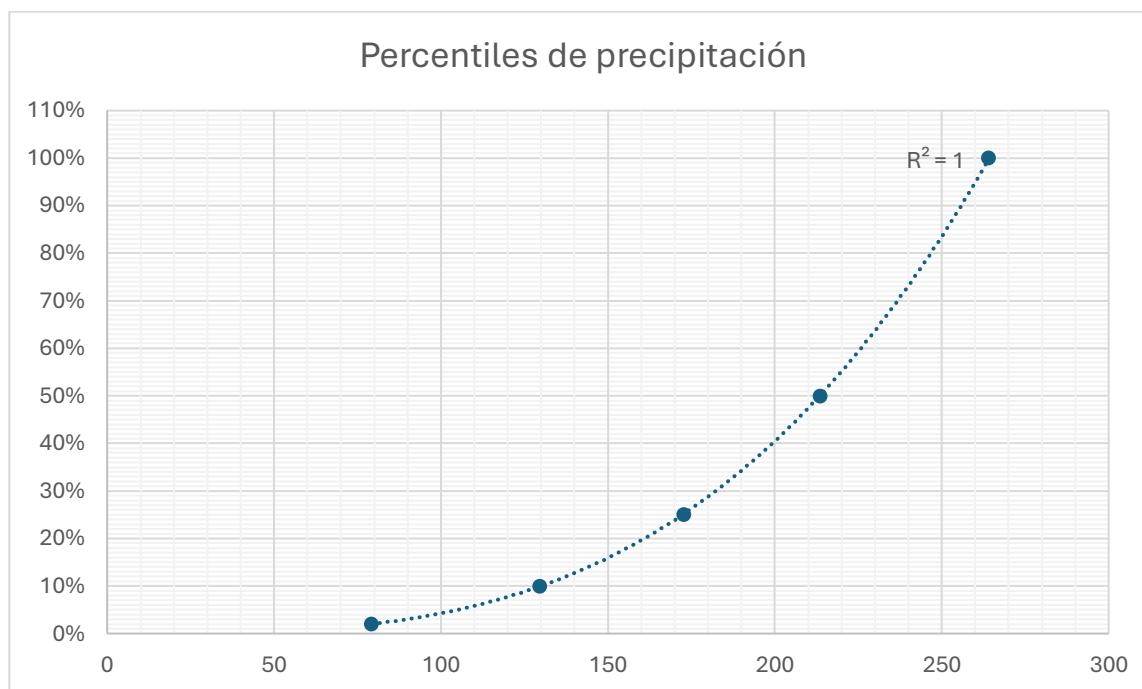
Tabla 14 Precipitación, Estación San Cristóbal

Eventos	Prob	Prep (mm)
1	1%	
2-4	2%	79,2
5-9	5%	105,6
10-24	10%	129,6
25-49	25%	172,8
50-99	50%	213,6
95	50%	213,6
98	50%	213,6
100	100%	264

Tabla 15 Porcentaje de Probabilidad de Precipitación

Total rainfall from the 80th percentile storm event (mm)	248
Total rainfall from the 85th percentile storm event (mm)	250
Total rainfall from the 90th percentile storm event (mm)	258
Total rainfall from the 95th percentile storm event (mm)	260
Total rainfall from the 98th percentile storm event (mm)	262
Total rainfall from the 100th percentile storm event (mm)	264

Tabla 16 Percentiles de precipitación, Estación San Cristóbal



Gráfica 10 Percentiles de Precipitación

4. ESCORRENTÍA

4.1. Método Racional

El método racional es una técnica ampliamente utilizada en ingeniería hidrológica para estimar el caudal máximo de escorrentía superficial generado por eventos de lluvia en áreas pequeñas, generalmente urbanas o semiurbanas.

En el contexto del proyecto desarrollado en la Isla Santa Cruz, Galápagos, el método racional se empleó para dimensionar la gestión de aguas pluviales en función de las características físicas del sitio (uso de suelo, pendiente, cobertura vegetal) y las intensidades de precipitación se aplica para distintos percentiles (P95, P98 y P100) a partir de los datos de las estaciones meteorológicas locales.

$$Q = C * I * A$$

Donde Q es el caudal pico de escorrentía $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

C es el coeficiente de escorrentía (adimensional)

I es la intensidad de precipitación $\left(\frac{mm}{h}\right)$

A es el área de la cuenca (ha)

4.2. Coeficientes de escorrentía del suelo.

El coeficiente de escorrentía es adimensional y depende del tipo de suelo, cobertura vegetal e intensidad de la zona. En este caso se utiliza la tabla 11.1 del libro Introduction to Hydraulics de John E Gribbin, para tomar el valor del coeficiente.

TABLE 11-1 Typical Runoff Coefficients for Use with the Rational Method

Surface Type	Runoff Coefficient	
	Range of Values	Typical Design
Impervious (pavement, roofs)	0.75–0.95	0.95
Lawns	0.05–0.35	0.30
Unimproved (woods, brush)	0.10–0.30	0.20

Note: These values of *c* are typical for lower-intensity storms (up to 25-year return period). Higher values are appropriate for larger design storms. A more extensive list of *c* values is presented in Appendix C-1.

Figura 13 Coeficiente de escorrentía, Método Racional

El valor que se tomó es de 0.10 ya que se toma como un suelo no mejorado. Para los cálculos de los caudales del área de construcción se toma el coeficiente de 0.95 para áreas cubiertas y 0.75 para áreas abiertas.

La intensidad de precipitación se toma de los datos reportados por el INAMI de la estación meteorológica de San Cristobal y la estación Charles Darwin.

4.3.Cálculos de la Intensidad

San Cristóbal

Percentil 95 = 260mm

Percentil 98 = 262mm

Percentil 100 = 264mm

$$I = P_{95} \times \frac{60min}{1440min}$$

$$I = 260 \text{ mm} \times \frac{60min}{1440min} \times \frac{1}{1h} = 10.833 \frac{mm}{h}$$

Resultados

San Cristóbal			
	Q95	Q98	Q100
I (mm/hr)	10,833	10,917	11,000

Tabla 17 Intensidades, Estación San Cristóbal

Cálculos de la intensidad, Estación Charles Darwin:

Percentil 95 = 38.8 mm

Percentil 98 = 69.98mm

Percentil 100 = 215mm

$$I = P_{100} \times \frac{60min}{1440min}$$

$$I = 215 \text{ mm} \times \frac{60min}{1440min} \times \frac{1}{1h} = 8.958 \frac{mm}{h}$$

Resultados

Charles Darwin			
	Q95	Q98	Q100
I (mm/hr)	1,617	2,916	8,958

Tabla 18 Intensidades, Estación Charles Darwin

4.4.Distribución de Áreas del Proyecto

El área de la zona del proyecto es de 9235.31m² aproximadamente, además se tienen las siguientes áreas de la construcción con cubierta y abiertas.

$A1 = \text{Área auditorio comedor} = 196.38 \text{ m}^2 \text{ (cubierta)}$

$A1.1 = \text{Área auditorio comedor (abierto)} = 52.16 \text{ m}^2$

$A2 = \text{Área Aulas} = 234.73 \text{ m}^2 \text{ (cubierta)}$

$A3 = \text{Área baños y Hall} = 250.2 \text{ m}^2 \text{ (cubierta)}$

$A3.1 = \text{Área baños y Hall (abierto)} = 42.56 \text{ m}^2$

$A4 = \text{Área laboratorios} = 66.18 \text{ m}^2 \text{ (cubierta)}$

$A4.1 = \text{Área laboratorios (abierto)} = 18.73 \text{ m}^2$

$A5 = \text{Área centro de convenciones} = 1285.31 \text{ m}^2 \text{ (cubierta)}$



Figura 14 Distribución de Áreas de construcción del proyecto

4.5. Cálculo de Caudales

Se aplicó la formula del método racional para el cálculo de los caudales y se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q = C * I * A \quad (4)$$

Caudales área del proyecto antes de la construcción:

Datos Estación San Cristóbal

$$P_{95} = 260mm$$

$$C = 0.10$$

$$Q_{95} = C * I * A$$

$$I = \frac{P}{d} = \frac{260mm}{1440 \min} * \frac{60min}{h}$$

$$I = 10.833 \frac{mm}{hr}$$

$$Q_{95} = 0.10 \times 10.833 \frac{mm}{hr} \times \frac{1hr}{3600s} \times \frac{1m}{1000mm} \times 9235.31m^2 \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_{95} = 2.779 \frac{L}{s}$$

Datos Estación Charles Darwin

$$P_{100} = 215 \text{ mm}$$

$$A = \text{Area del proyecto} = 9235.31m^2$$

$$c = 0.10$$

Utilizando los percentiles de la estación meteorológicas Charles Darwin se obtuvo:

$$Q_{100} = C * I * A$$

$$I = \frac{P}{d} = \frac{215mm}{1440 \min} \times \frac{60min}{h}$$

$$I = 8.958 \frac{mm}{hr}$$

$$Q_{100} = 0.10 \times 8.958 \frac{mm}{hr} \times \frac{1hr}{3600s} \times \frac{1m}{1000mm} \times 9235.31 \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_{100} = 2.298 \frac{L}{s}$$

Caudales áreas de la construcción:

Se estima los caudales de la construcción para las áreas proyectadas del centro de convenciones y para las áreas del campus.

$$Q = C * I * A$$

$$C1 = 0.95 \text{ para cubiertas}$$

$$C2 = 0.75 \text{ Para areas abiertas}$$

Áreas cubiertas

Área auditorio comedor

Utilizando los percentiles de la estación meteorológicas de San Cristóbal se obtuvo:

$$Q_{95} = C * I * A$$

$$I = 10.833 \frac{mm}{hr}$$

$$Q_{95} = 0.95 \times 10.833 \frac{mm}{hr} \times \frac{1hr}{3600s} \times \frac{1m}{1000mm} \times 196.38 m^2 \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_{95} = 0.561 \frac{L}{s}$$

Utilizando los percentiles de la estación meteorológicas Charles Darwin se obtuvo:

$$Q_{95} = C * I * A$$

$$I = \frac{P}{d} = \frac{215mm}{1440 min} \times \frac{60min}{h}$$

$$I = 8.958 \frac{mm}{hr}$$

$$Q_{100} = 0.95 \times \frac{8.958mm}{hr} \times \frac{1hr}{3600s} \times \frac{1m}{1000mm} \times 196.38 m^2 \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_{100} = 0.464 \frac{L}{s}$$

Áreas abiertas

Área auditorio comedor

Utilizando los percentiles de la estación meteorológicas de San Cristóbal se obtuvo:

$$Q_{95} = C * I * A$$

$$I = 10.833 \frac{mm}{hr}$$

$$Q_{95} = 0.75 \times 10.833 \frac{mm}{hr} \times \frac{1hr}{3600s} \times \frac{1m}{1000mm} \times 52.16 m^2 \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_{95} = 0.118 \frac{L}{s}$$

Utilizando los percentiles de la estación meteorológicas Charles Darwin se obtuvo:

$$Q_{100} = C * I * A$$

$$I = \frac{P}{d} = \frac{215mm}{1440 \frac{min}{hr}} * \frac{60min}{h}$$

$$I = 8.958 \frac{mm}{hr}$$

$$Q_{100} = 0.75 \times \frac{8.958mm}{hr} \times \frac{1hr}{3600s} \times \frac{1m}{1000mm} \times 52.16 m^2 \times \frac{1000L}{1m^3}$$

$$Q_{100} = 0.097 \frac{L}{s}$$

Se realizan los mismos cálculos utilizando las diferentes áreas del proyecto cubiertas y abiertas, se obtiene los siguientes resultados.

Estación meteorológica			San Cristóbal			Charles Darwin		
			P95	P98	P100	P95	P98	P100
	Área (m2)	I (mm/hr)	10,833	10,917	11,000	1,617	2,916	8,958
			Caudales (L/s)			Caudales (L/s)		
Área del Proyecto	9235,31		2,779	2,801	2,822	0,415	0,748	2,298
c	0,1							
Áreas cubiertas								
c	0,95							
Áreas auditorio comedor	196,38		0,561	0,566	0,570	0,084	0,151	0,464
Áreas aulas	234,73		0,671	0,676	0,681	0,100	0,181	0,555
Áreas baños y Hall	250,2		0,715	0,721	0,726	0,107	0,193	0,591
Áreas laboratorios	66,18		0,189	0,191	0,192	0,028	0,051	0,156
Áreas centro de convenciones	1285,31		3,674	3,703	3,731	0,548	0,989	3,038
Áreas Abiertas								
c	0,75							
Áreas auditorio comedor	52,16		0,118	0,119	0,120	0,018	0,032	0,097
Áreas baños y Hall	42,56		0,096	0,097	0,098	0,014	0,026	0,079
Áreas laboratorios	18,73		0,042	0,043	0,043	0,006	0,011	0,035

Tabla 19 Caudales antes y después de la construcción.

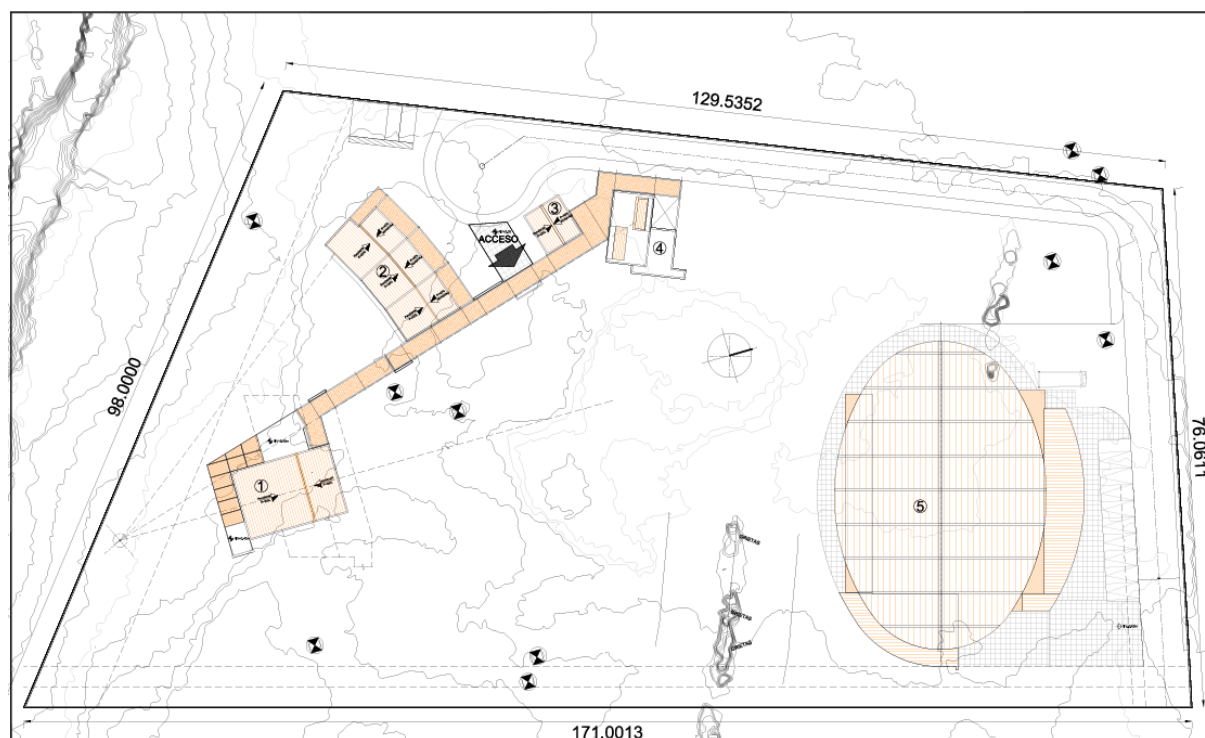


Figura 15 Planos, Vista en Planta de Áreas del Campus

AREAS CAMPUS USFQ SANTA CERUZ		AREAS CUBIERTAS		AREAS ABIERTAS	
1	1,00 AUDITORIO COMEDOR	ÁREA	M2	ÁREA	M2
	1,01 ÁREA MULTIPLE AUDITOEIO O COMEDOR	141,58	M2	-	-
	1,02 HALL FRONTAL INGRESO	16,80	M2	-	-
	1,03 TERRAZA DESXCUBIERTA LATERAL	-	-	36,29	M2
	1,04 TERRAZA PERGOLA	38,00	M2	-	-
	1,05 TERRAZA POSTERIOR DESCUBIERTA	-	-	15,87	M2
2	2,00 AULAS				
	2,01 ÁREA DE TRES MODULOS DE AULAS	176,76	M2		
	2,02 CIRCULACION AULAS	57,97	M2		
3	3,00 BAÑOS Y HALL CUBIERTO CIRCULACION				
	3,01 BATERIA SANITARIA	40,20	M2		
	3,02 CIRCULACION GENERAL CUBIERTA	210,00	M2		
	3,03 ÁREA EXTERIOR DESCUBIERTA INGRESO			42,56	M2
4	4,00 LABORATORIOS				
	4,01 MODULO LABORATORIOS	66,18	M2		
	4,02 CIRCULACION EXTERIOR LABORATORIO			18,73	M2
	TOTAL	747,49	M2	113,45	M2
		ÁREA	M2	ÁREA	M2
		AREAS CUBIERTAS		AREAS ABIERTAS	
AREAS PROYECTADAS CENTRO DE CONVENCIONES					
5	5,00 PLANTA BAJA CENTRO DE CONVENCIONES	AREAS CUBIERTA:			
	5,01 ACCESO PRINCIPAL CAFETERIA	141,09	M2		
	5,02 AREA DE ACESO SALAS DE CONVENCIONES	114,13	M2		
	5,03 SALAS DE CONVENCIONES	596,00	M2		
	5,04 BATERIAS SANITARIAS H-M	63,75	M2		
	5,05 CIRCULACION	113,97	M2		
	5,06 SALAS DE CONFERENCIAS	131,69	M2		
	5,07 TAQUILLA	11,76	M2		
	5,08 BODEGAS	112,92	M2		
	TOTAL	1.285,31	M2		

Figura 16 Áreas del campus USFQ

4.6. Análisis comparativo

La estación San Cristóbal muestra una intensidad de precipitación mucho más estable y alta entre percentiles, mientras que en los datos de la estación Charles Darwin hay una variación significativa entre los percentiles, especialmente de P98 a P100, lo que indica una mayor variabilidad y eventos extremos menos frecuentes, pero más intensos.

Bajo condiciones de diseño más frecuentes en el percentil 95 y 98, San Cristóbal genera caudales mucho mayores. En el percentil 100, la estación meteorológica Charles Darwin se acerca más al caudal de San Cristóbal, mostrando que puede presentar eventos extremos de gran intensidad a pesar de sus valores típicamente bajos.

En todas las sub-áreas cubiertas (auditorio/comedor, aulas, baños/Hall, laboratorios, centro de convenciones), San Cristóbal presenta valores de caudal más altos en todos los percentiles.

Por ejemplo, para el área del centro de convenciones (1285,31 m²):

San Cristóbal (P100): 3,731 L/s

Charles Darwin (P100): 3,038 L/s

Las diferencias son menos marcadas en áreas grandes y altamente impermeables. A pesar de que San Cristóbal tiene mayor intensidad de lluvia, en eventos extremos Charles Darwin puede alcanzar niveles cercanos debido a la intensidad puntual en P100. También, se tiene diferencias menores en áreas abiertas debido a los coeficientes más bajos, pero el comportamiento general sigue siendo el mismo.

El aumento de escorrentía por la urbanización es de 3.314 L/s. Este es el exceso de escorrentía que idealmente debe almacenarse o infiltrarse para simular condiciones previas, LEED exige que el proyecto maneje el excedente generado por la urbanización.

5. ESTRATEGIAS

5.1. Gestión Aguas Pluviales

A partir del análisis de datos del proyecto, se propone varias estrategias de gestión de aguas pluviales para la zona del proyecto, clasificadas en función de su facilidad de implementación y su potencial para cumplir créditos LEED (especialmente los créditos del área de “Sustainable Sites” y “Water Efficiency”).

- **Grietas Naturales para Infiltración**

Se aprovechar las grietas existentes en la ladera occidental del proyecto (cerca del centro de convenciones) para infiltrar el caudal de escurrimiento del Centro de Convenciones antes de que llegue a zonas urbanizadas o vías y evitar inundaciones. El caudal que puede pasar por las grietas se estima del producto del área por la velocidad de infiltración en la zona y donde se obtuvo un caudal de 3.6 L por grieta, suponiendo que el área de cada grieta es de 3x3 m². Se tomo el valor de velocidad de infiltración In situ de la localización 2 cerca del Centro de Convenciones. A estas grietas se espera dirigir aproximadamente 1 L/s por grieta de agua lluvia del techo. Para lo cual se necesitarán implementar canaletas o zanjas poco profundas para el desvío del agua del techo hacia las grietas. Se lograría tener un excelente puntaje en SS Credit: Rainwater Management.

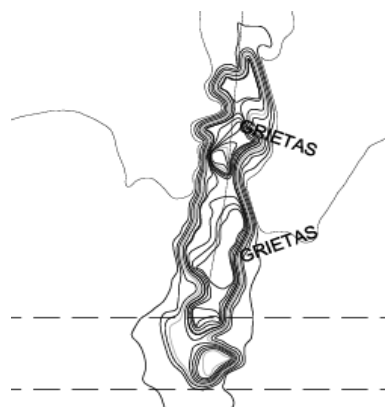


Figura 17 Grietas Naturales para infiltración

- **Jardines de lluvia**

Se propone implementar en el área de la cubierta plana del centro de convenciones zonas ajardinadas con vegetación nativa para capturar escorrentía del techo. Para retener e infiltrar excedentes de eventos mayores que excedan la capacidad de las grietas o en zonas sin conexión directa a ellas. El caudal que se estima infiltrar es del 1 L/s por 1m² para lo cual se necesitará sustrato arenoso, grava, geotextiles, además de la vegetación nativa. Con esta propuesta se espera cumplir con el caudal máximo estimado para el área de centro de convenciones de 3.731 L/s. Además se implementa una mejora de aislamiento térmico y reducción de islas de calor. Contribuye a LEED SS Credit: Rainwater Management y WE: Outdoor Water Use Reduction.

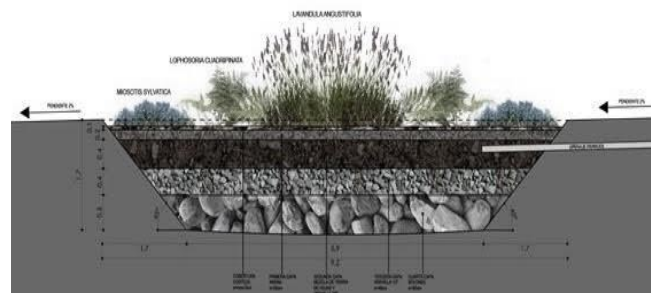


Figura 18 Jardines de Lluvia para Infiltración

- **Pavimentos Permeables**

Se sustituye áreas pavimentadas por adoquines permeables en la vía y circulación vehicular y materiales naturales que se encuentran en el entorno, como grava, piedras volcánicas, arena y tierra, para las aceras o circulaciones de exteriores descubiertas del Hall, auditorio, laboratorios y baños. Con esta propuesta se estima tener una capacidad de infiltramiento de 1.1 L/s por m². Se tiene una mejora en LEED SS y Heat Island Reduction.

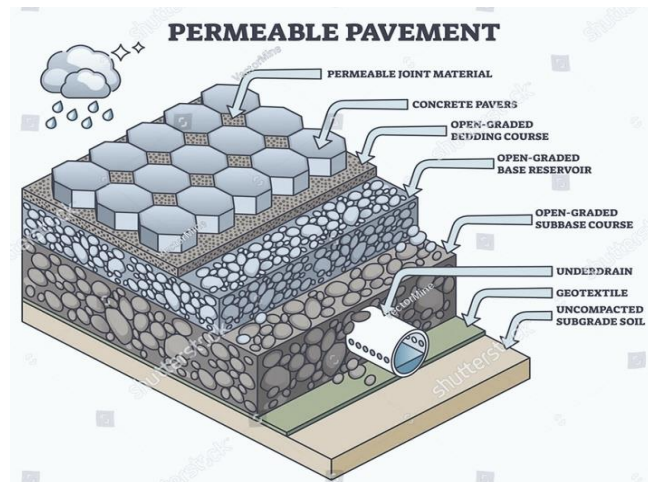


Figura 19 Pavimentos Permeables para infiltración

- **Cisternas o Tanques de Recolección de Aguas Lluvias**

Instalar sistemas de captación en las áreas cubiertas del Auditorio, Aulas, Baños, Hall y Laboratorios, el agua captada se utilizará para riego o limpieza de exteriores. Para lo cual se utilizará "Aqua Cell" que son tanques de atenuación e infiltración, utilizados para gestionar el agua de lluvia. Estos sistemas están diseñados para almacenar temporalmente el agua y luego infiltrarla al suelo, reduciendo el riesgo de inundaciones y mejorando la gestión del agua. Sin embargo, se lo puede implementar a futuro como complemento si se desea reutilizar el agua, para baterías sanitarias entre otros.

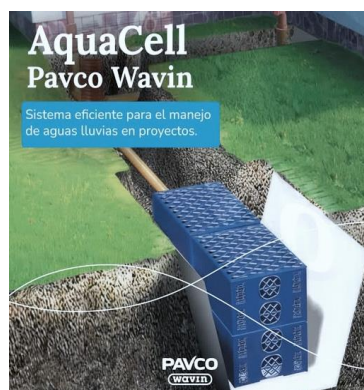


Figura 20 Aquacell como tanque de recolección.

Estas estrategias se diseñaron para que la escorrentía posdesarrollo se asemeje a la escorrentía natural, reduciendo el impacto hidrológico del proyecto, cubren el caudal requerido y aseguran redundancia sostenible frente a eventos intensos a futuro.

<p>Uso de Grietas Naturales:</p> <p>Canalizar escorrentía hacia las grietas en la ladera occidental del proyecto. Se puede manejar hasta 3.6 L/s.</p> <p>LEED:SS Credit: Rainwater Management.</p>	<p>Pavimentos Permeables:</p> <p>Utilizar pavimentos permeables para caminos y espacios exteriores. Maneja un promedio de 0.015 L/s/m².</p> <p>LEED: SS Credit: Rainwater Management y Heat Island Reduction.</p>
<p>Jardines de Lluvia:</p> <p>Instalar jardines de lluvia en la cubierta del centro de convenciones. Maneja un promedio de 0.025 L/s/m².</p> <p>LEED: SS Credit: Rainwater Management y WE: Outdoor Water Use Reduction.</p>	<p>Tanques de Recolección de Lluvias:</p> <p>Instalar sistemas de captación en áreas como del Auditorio, Aulas, Baños y Laboratorios. Maneja un promedio de 0.05 L/s/m².</p> <p>LEED: SS Credit: Rainwater Management y WE: Outdoor Water Use Reduction.</p>

Tabla 20 Resumen, Caudal total mitigado por cada estrategia.

6. CONCLUSIONES

Mediante el análisis geotécnico y de uso de suelo, se establecieron las zonas más vulnerables que podrían verse afectadas por escorrentías intensas. Esto permite priorizar intervenciones técnicas que mitiguen la degradación ambiental del sitio.

El análisis hidrológico realizado para el nuevo campus USFQ en las Islas Galápagos demuestra que el suelo local presenta una capacidad de infiltración moderada a alta, lo que permite implementar estrategias de captación e infiltración eficientes. La aplicación del método de Green-Ampt permitió cuantificar la tasa de infiltración en suelos tipo marga arenosa y marga limosa, resultandos esenciales para el diseño de infraestructura sostenible que reduzca los impactos negativos del desarrollo urbano sobre los ciclos naturales del agua.

El analisis hidrológico comparativo entre condiciones predesarrollo y posdesarrollo evidenció un incremento significativo del caudal superficial sin medidas de control, lo que confirma la necesidad de sistemas de manejo pluvial. Sin embargo, la introducción de soluciones basadas en la naturaleza permite no solo compensar el impacto, sino también mejorar la infiltración, reducir la escorrentía y conservar el equilibrio hidrológico del ecosistema galapaguense.

Las estrategias de manejo de aguas pluviales propuestas como jardines de lluvia, zanjas de infiltración, pavimentos permeables y cisternas, cumplen con los criterios de la certificación LEED en las categorías de Sitios Sostenibles (SS) y Eficiencia del Agua (WE). Estas intervenciones tienen el potencial de mejorar la resiliencia climática del campus y disminuir su huella ecológica, asegurando un desarrollo urbano armónico con el entorno.

Finalmente, el proyecto representa un modelo replicable de diseño ecológico que podría ser adoptado por otras instituciones en zonas sensibles del Ecuador, como áreas costeras, protegidas o de alta biodiversidad. La metodología combina ciencia aplicada, normativas

ambientales internacionales y técnicas de ingeniería civil, promoviendo una cultura de planificación consciente del agua como recurso estratégico y vital.

San Cristóbal presenta una distribución más constante de intensidades de lluvia y genera consistentemente mayores caudales en todos los tipos de áreas y percentiles. Charles Darwin tiene una mayor variabilidad en la intensidad de lluvia, con eventos extremos (P100) que se aproximan o igualan a los de San Cristóbal, lo que indica que, aunque menos frecuentes, sus eventos extremos pueden tener un impacto significativo en el diseño hidráulico.

Para un diseño seguro y resiliente, se recomienda considerar ambos escenarios, especialmente si el área de estudio puede estar influenciada por condiciones climáticas extremas esporádicas como las que sugiere la estación Charles Darwin.

6.1. Recomendaciones

Se recomienda:

1. Optimización de infiltración y manejo de aguas pluviales: Incluir sensores de humedad que midan el comportamiento del suelo en distintos momentos del año. Esto puede mejorar la precisión de los cálculos.
2. Mejoras en el diseño del sistema de captación de agua: Tanques de almacenamiento con filtración integrada. Implementar sistemas de captación con filtración básica antes de almacenar el agua para riego o sanitarios, reduciendo sedimentos y asegurando una mejor calidad del recurso.
3. Uso de un biodigestor para el proyecto ya que puede alinearse con los objetivos de sostenibilidad del campus, especialmente si se diseña para trabajar en conjunto con el sistema de recolección de aguas lluvias. Este sistema trata aguas negras o residuos orgánicos mediante digestión anaerobia; Genera Biogás (metano y CO₂) que puede usarse como energía, lodo digerido que puede usarse como abono, efluente líquido

tratado que puede reutilizarse o infiltrarse. Se necesita separar las redes: Red gris y negra hacia el biodigestor y Red de aguas lluvia hacia infiltración directa en grietas o jardines de lluvia.

4. Uso de vegetación estratégica: Incorporar especies de plantas adaptadas a suelos volcánicos y capaces de mejorar la absorción del agua en jardines de lluvia y zonas de biorretención.
5. Sistemas de drenaje inteligente: Implementar soluciones de drenaje reguladas, como pavimentos permeables combinados con sensores de flujo para controlar la cantidad de agua infiltrada y prevenir escorrentías no deseadas.
6. Energía renovable combinada: Si el campus busca alcanzar una certificación LEED de alto nivel, se podría incluir estrategias de generación de energía renovable junto con la gestión hídrica, por ejemplo, integrar paneles solares en las estructuras de captación de agua, lo cual ayudaría a la iluminación de las áreas exteriores.
7. Colaboraciones con expertos en ecología: Para asegurar que el proyecto tenga el menor impacto en los ecosistemas cercanos, se podría contar con asesoría de especialistas en conservación de flora y fauna endémica.
8. Modelos dinámicos de precipitación: Complementar el análisis de los percentiles con modelos de predicción climática puede dar una mejor idea de cómo evolucionará la lluvia en la zona en los próximos años.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D3385-18. "Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer"
- Cardenas, D. (2016, noviembre 16). Quito Publishing House / Estudio A0. ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/799554/quito-publishing-house-estudio>
- CERTIFICACIONES. (2023, junio 5). Ecogal. <https://ecogal.aero/es/certificaciones/>
- "Galapagos Climatology Database", dataZone, Charles Darwin Foundation, <https://datazone.darwinfoundation.org/es/clima/puerto-ayora>. Accessed 17 February 2025.
- Gavilanes, P. (s/f). 13 proyectos eco-eficientes tienen un sello internacional. El Comercio. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de <https://www.elcomercio.com/construir/13-proyectos-eco-eficientes-sello.html>
- Green, W. H., & Ampt, G. A., 1911. "Studies on Soil Physics, Part I: The Flow of Air and Water through Soils." *Journal of Agricultural Science*, 4(1), pp. 1-24.
- Gribbin, J. E. (1997). *Introduction to hydraulics & hydrology* (3.^a ed.). Cengage Learning
- Horton, R. E., 1940. "An Approach Toward a Physical Interpretation of Infiltration Capacity." *Soil Science Society of America Journal*, 5(1), pp. 399-417.
- ISLAS GALÁPAGOS - Instituto Geofísico - EPN. (s/f). Edu.ec. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de <https://www.igepn.edu.ec/islas-galapagos>
- Martín de Santa Olalla, F. J., Santa Olalla
- Mañas, F. M. d. (2005). *Agua y Agronomía*. España: Ediciones Mundi-Prensa. <https://eselagua.com/2018/10/27/la-infiltracion-con-el-modelo-de-green-ampt/>
- Napo Wildlife Center, Yasuni National Park, Ecuador. (s/f). Grida.no. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de <https://www.grida.no/resources/>

Norma ecuatoriana de la construcción NEC (2024)

PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición

Ecológica. (s/f). Gob.ec. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de

<https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-galapagos/>

Plan Desarrollo y Ordenamiento Territorial - 2 PDF. (s/f). Scribd. Recuperado el 2 de marzo

de 2025, de [https://es.scribd.com/document/643047755/PLAN-DESARROLLO-Y-](https://es.scribd.com/document/643047755/PLAN-DESARROLLO-Y-ORDENAMIENTO-TERRITORIAL-2-pdf)

ORDENAMIENTO-TERRITORIAL-2-pdf

Pourrut, P., Gdmez, G., Bermeo, A., & Segovia, A. (1995). Factores condicionantes de los

regimenes clihiáticos e hidrológicos. El Agua en el Ecuador, II, 9.

Unesco.org. Recuperado el 2 de marzo de 2025, de

<https://www.unesco.org/en/mab/galapagos>

13 Años de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal. (2023, abril 11). Esri.

<https://storymaps.arcgis.com/stories/1c96966ca14b4a9fb57c87b2fcb0f885>