

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL,
sector A.

INGE-2502

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera civil

Presentado por:

Nadia Andrea Vanegas Alman

Valeria Alejandra Romero Coello

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia como prueba de mi gratitud por su apoyo durante esta etapa académica de mi vida. También va dedicado a mí misma, para recordarme siempre que soy capaz de cumplir mis objetivos con el mejor desempeño, a pesar de las adversidades que se presenten.

Nadia Andrea Vanegas Alman

Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestros mentores, Mijaíl, Bethy e Iván por su guía y apoyo, así como también al centro de investigaciones CIPAT por su colaboración. Agradecemos el amparo brindado por profesionales que con sus consejos pudimos encaminar este proyecto, muchas gracias a Erwin, Nadia, Fernanda, Daniel y Arián.

Nadia Andrea Vanegas Alman:

Agradezco a las amistades valiosas que encontré en el camino porque con su hermandad hallé muchas veces la motivación para continuar, principalmente a Valeria por su grandiosa empatía y cooperación en este proyecto. Finalmente, gracias a mí esmero por ser mi mejor cualidad y por enseñarme a no rendirme nunca.

Declaración Expresa

Nosotras Valeria Alejandra Romero Coello y Nadia Andrea Vanegas Alman acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotras durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso. En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a las autoras que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL. Guayaquil, 25 de septiembre del 2024.



Firmado electrónicamente por:
VALERIA ALEJANDRA
ROMERO COELLO

Valeria Alejandra

Romero Coello



Firmado electrónicamente por:
NADIA ANDREA
VANEGAS ALMAN

Nadia Andrea

Vanegas Alman

Evaluadores



Firmado electrónicamente por:
INGRID TATIANA ORTA
ZAMBRANO

MSc. Ingrid Orta Zambrano

Profesor de Materia



Firmado electrónicamente por:
MIJAIL EDUARDO
ARIAS HIDALGO

Ing. Mijaíl Arias Hidalgo, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

La planificación del drenaje pluvial está relacionada con el ambiente, economía y bienestar colectivo; por lo tanto, es importante el manejo de las aguas lluvias para la correcta expansión periférica de las ciudades. El Campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), ubicado alrededor de Guayaquil, tiene problemas en su alcantarillado pluvial lo que implica el riesgo de inundaciones. El objetivo de este proyecto es rediseñar el drenaje pluvial del campus, desde el área proveniente del Rectorado, mediante la modelación en un software especializado, e inclusión de medidas basadas en la naturaleza, para la optimización de este. Para esto fue necesario recopilar la información existente y datos complementarios con el trabajo de campo (topografía y catastro), para el cómputo y análisis del sistema actual. Los resultados indican que aplicando soluciones grises-azules-verdes en el sistema de drenaje, se redujo la altura y horas de inundación en un 77% y 65% respectivamente, a través de 2 pavimentos permeables, 3 jardines lluvias con celdas de almacenamiento y 4 rejillas longitudinales. En conclusión, el contraste entre las 3 alternativas corroboró que las soluciones grises-azules-verdes satisfacen los ejes de la sostenibilidad, y optimizan el drenaje ayudando a la funcionabilidad del sistema actual.

Palabras Clave: Periurbano, Aguas lluvias, Inundaciones, Sistemas de Drenaje Sostenibles, Soluciones grises-azules-verdes.

Abstract

Storm drainage planning is related to the environment, economy and collective welfare; therefore, rainwater management is important for the proper peripheral expansion of cities. The Gustavo Galindo Campus of the Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), located around Guayaquil, has problems in its storm drainage system, which implies the risk of flooding. The objective of this project is to redesign the campus storm drainage, from the area coming from the Rectorate, through modeling in specialized software, and the inclusion of nature-based measures for its optimization. For this, it was necessary to compile existing information and complementary data with field work (topography and cadastre), for the computation and analysis of the current system. The results indicate that by applying gray-blue-green solutions in the drainage system, the height and hours of flooding were reduced by 77% and 65% respectively, through 2 permeable pavements, 3 rain gardens with storage cells and 4 longitudinal grids. In conclusion, the contrast between the 3 alternatives corroborated that the gray-blue-green solutions satisfy the axes of sustainability and optimize drainage, helping the functionality of the current system.

Keywords: *Peri-urban, Rainwater, Floods, Sustainable Drainage Systems, Green-blue-gray solutions.*

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VII
Simbología.....	VIII
Índice de Figuras.....	IX
Índice de Tablas.....	XIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XV
Capítulo 1.....	1
Introducción.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
Capítulo 2.....	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.1 Revisión de literatura.....	8
2.1.1 Zonas periurbanas.....	8
2.1.2 Alcantarillado pluvial.....	8
2.1.3 Datos hidrológicos.....	11
2.2 Metodología.....	17
2.3 Área de estudio.....	18
2.4 Trabajo de campo y laboratorio.....	21

2.5	Análisis de datos.....	30
2.5.1	Zona 5	32
2.5.2	Zona 6	34
2.5.3	Zona 7	36
2.5.4	Zona 8	37
2.5.5	Zona 9	39
2.5.6	Zona 10	43
2.5.7	Zona 11	44
2.5.8	Zona 12	46
2.5.9	Zona 13	48
2.5.10	Zona 14	53
2.5.11	Área de la problemática	54
2.5.12	Microcuencas	57
2.5.13	Modelación en el software: <i>Storm Water Management Model (SWMM)</i>	58
2.6	Análisis de alternativas.....	59
2.6.1	Alternativas	59
2.6.2	Métrica de evaluación	60
Capítulo 3	6
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES	66
3.1	Diseños	66
3.1.1	Determinación de sistema de drenaje a modelar en software	66
3.1.2	Parámetros requeridos para el modelado en software.....	66
3.1.3	Modelado de alternativas en software.....	69
3.1.4	Resultados	81
3.1.5	Discusión de resultados.....	83
3.2	Especificaciones Técnicas.....	85
3.2.1	Rubro: Limpieza de canales.....	85

3.2.2	Rubro: Picado y levantado de hormigón que incluye desalojo.....	85
3.2.3	Rubro: Replanteo y nivelación.....	86
3.2.4	Rubro: Excavación manual	86
3.2.5	Rubro: Relleno compactado con suelo natural	87
3.2.6	Rubro: Replanteo de hormigón simple 140 kg/cm ²	88
3.2.7	Rubro: Malla electrosoldada 8 mm.....	88
3.2.8	Rubro: Hormigón simple 210 kg/cm ²	89
3.2.9	Rubro: Suministro e instalación de tubería 110 mm.....	90
3.2.10	Rubro: Rejilla longitudinal interceptora para canal de drenaje	90
3.2.11	Rubro: Relleno compactado con material granular	91
3.2.12	Rubro: Relleno compactado con arena	92
3.2.13	Rubro: Hormigón permeable	93
3.2.14	Rubro: Suministro e instalación de tubería perforada.....	93
3.2.15	Rubro: Suministro e instalación de geomembrana	94
3.2.16	Rubro: Suministro e instalación de geotextil.....	94
3.2.17	Rubro: Suministro e instalación de celda de almacenamiento.....	94
3.2.18	Rubro: Jardínera.....	95
3.2.19	Rubro: Limpieza final de la obra	95
Capítulo 4.....		98
4.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	98
4.1	Descripción del proyecto.....	98
4.2	Línea base ambiental.....	99
4.3	Actividades del proyecto.....	101
4.4	Identificación de impactos ambientales	105
4.5	Valoración de impactos ambientales.....	112
4.6	Medidas de prevención.....	115
Capítulo 5.....		117

5.	PRESUPUESTO	118
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo	118
5.2	Rubros y análisis de precios unitarios	119
5.3	Descripción de cantidades de obra	121
5.4	Valoración integral del costo del proyecto.....	123
5.5	Cronograma de obra	126
Capítulo 6.....		128
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
6.1	Conclusiones	129
6.2	Recomendaciones.....	131
Referencias.....		132
PLANOS Y ANEXOS		137

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GIF	Gerencia de Infraestructura Física
IDF	Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia
SDS	Sistema de Drenaje Sustentable
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SWMM	Storm Water Management Model
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
AALL	Alcantarillado de aguas Lluvias
FIMCM	Facultad de Ingeniería en Marítima y Ciencias del Mar
FCSH	Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas
CELEX	Centro de Lenguas Extranjeras
FCNM	Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
FADCOM	Facultad de Arte, Diseño y Comunicación Audiovisual
GBP	Gerencia de Bienestar Politécnico
LID	Low-Impact Development

Simbología

i	Intensidad de precipitación
Ce	Coefficiente de escorrentía
Q	Caudal de escurrimiento
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
l	Litro
m.s.n.m.	Metro sobre el nivel del mar
s	Segundo
min	Minuto
h	Hora

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Imagen satelital de la ciudad de Guayaquil</i>	3
Figura 2	<i>Zona afectada por inundaciones alrededor del local alimenticio Sweet & Coffee</i> ..	4
Figura 3	<i>Cámara ubicada frente al bloque 13A del campus Gustavo Galindo</i>	4
Figura 4	<i>Proceso constructivo de una cámara de inspección</i>	9
Figura 5	<i>Hauraton channel system, Darwen Vale High School and Engineering College</i>	9
Figura 6	<i>Construcción de canal en Arroyo Los Guayabos, México</i>	10
Figura 7	<i>Cunetas como parte del drenaje pluvial de una carretera</i>	10
Figura 8	<i>Sistemas de recolección de aguas lluvias</i>	11
Figura 9	<i>Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)</i>	13
Figura 10	<i>Imagen de la Tabla para los coeficientes de escorrentía (Ce)</i>	15
Figura 11	<i>Metodología del Proyecto Integrador</i>	17
Figura 12	<i>Mapa de ubicación y zonificación del campus Gustavo Galindo, ESPOL</i>	19
Figura 13	<i>Mapa de zonificación de infraestructuras sector A, ESPOL</i>	21
Figura 14	<i>Cámara ubicada en la zona 13</i>	23
Figura 15	<i>Proceso de catastro para cámara de inspección en el sector A, ESPOL</i>	24
Figura 16	<i>Placas 6 y 7 ubicadas por la zona 13, Sector A de ESPOL</i>	24
Figura 17	<i>Proceso de realización de estaciones topográficas</i>	25
Figura 18	<i>Registro de datos geográficos de cámaras de inspección con herramientas de topografía</i>	29
Figura 19	<i>Mapa con canales del Sector A</i>	30
Figura 20	<i>Canal principal ubicado en la zona 9 (Bar de FCSH)</i>	31
Figura 21	<i>Leyenda de los mapas por cada zona del área de estudio</i>	32
Figura 22	<i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 5</i>	33
Figura 23	<i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 6</i>	35
Figura 24	<i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 6</i>	35
Figura 25	<i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 7</i>	36
Figura 26	<i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 8</i>	38
Figura 27	<i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 9</i>	39
Figura 28	<i>Canal con código de identificación S del drenaje pluvial de la zona 9</i>	40

Figura 29 <i>Tramos del canal principal C del drenaje pluvial de la zona 9</i>	42
Figura 30 <i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 10</i>	44
Figura 31 <i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 11</i>	45
Figura 32 <i>Canales del drenaje pluvial de la zona 11</i>	46
Figura 33 <i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 12</i>	47
Figura 34 <i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 13</i>	48
Figura 35 <i>Canal g del drenaje pluvial de la zona 13</i>	49
Figura 36 <i>Tramo B-B' del canal RF1 del drenaje pluvial de la zona 13</i>	50
Figura 37 <i>Tramo C-C' del canal RF1 del drenaje pluvial de la zona 13</i>	51
Figura 38 <i>Tramo D-D' del canal RF1 del drenaje pluvial de la zona 13</i>	52
Figura 39 <i>Tramo E-E' que incluye los canales RF2 y b del drenaje pluvial de la zona 13</i>	52
Figura 40 <i>Mapa del drenaje pluvial de la zona 14</i>	53
Figura 41 <i>Mapa del área de la problemática</i>	55
Figura 42 <i>Desfogue en el tramo O-O' del drenaje pluvial del área de la problemática</i>	56
Figura 43 <i>Mapa del área de la problemática con microcuencas</i>	58
Figura 44 <i>Modelado en el software SWMM de la alternativa 1, BAU</i>	70
Figura 45 <i>Modelado en el software SWMM de la alternativa 2, Soluciones grises</i>	72
Figura 46 <i>Modelado en el software SWMM de la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes</i>	74
Figura 47 <i>Ubicaciones para pavimentos permeables, Soluciones grises-azules-verdes</i>	76
Figura 48 <i>Ubicaciones para jardines de lluvia, Soluciones grises-azules-verdes</i>	78
Figura 49 <i>Ubicaciones para rejillas longitudinales, Soluciones grises-azules-verdes</i>	80
Figura 50 <i>Ejemplos de complicaciones para ingreso de la escorrentía superficial hacia el canal abierto</i>	81
Figura 51 <i>Resultados de horas, tasa y altura de inundación por cada alternativa en porcentaje</i>	83
Figura 52 <i>Objetivos de Desarrollo Sostenible, por la Organización de las Naciones Unidas</i> 99	
Figura 53 <i>Valores numéricos para la matriz de Leopold</i>	108
Figura 54 <i>Escala de valoración cualitativa, por Tito (2020)</i>	113
Figura 55 <i>Escala de valoración del índice de impacto ambiental, por Tito (2020)</i>	114
Figura 56 <i>Desglose de trabajo del Proyecto Integrador</i>	118

Figura 57 <i>Cronograma del Proyecto Integrador</i>	127
Figura 58 <i>Tipos de desfogue del drenaje pluvial de la zona 5</i>	138
Figura 59 <i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 5</i>	138
Figura 60 <i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 5</i>	138
Figura 61 <i>Canales y cuneta del drenaje pluvial de la zona 7</i>	139
Figura 62 <i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 7</i>	139
Figura 63 <i>Cámara de inspección #1011 de la zona 7</i>	140
Figura 64 <i>Entradas a cruces viales del drenaje pluvial de la zona 8</i>	140
Figura 65 <i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 9</i>	141
Figura 66 <i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 8</i>	141
Figura 67 <i>Canales del drenaje pluvial de la zona 9</i>	142
Figura 68 <i>Conexión al canal principal del drenaje pluvial de la zona 9</i>	142
Figura 69 <i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 9</i>	143
Figura 70 <i>Elementos del drenaje pluvial del canal UBP de la zona 10</i>	144
Figura 71 <i>Cunetas del drenaje pluvial de la zona 10</i>	145
Figura 72 <i>Coliseo con código de bloque AD4 ubicado en la zona 10</i>	145
Figura 73 <i>Elementos del drenaje pluvial de la zona 11</i>	146
Figura 74 <i>Cámaras del drenaje pluvial de la zona 12</i>	146
Figura 75 <i>Entrada del cruce vial CV8 y salida SN del drenaje pluvial de la zona 12</i>	147
Figura 76 <i>Cámaras del drenaje pluvial de la zona 13</i>	147
Figura 77 <i>Canal f del drenaje pluvial de la zona 14</i>	148
Figura 78 <i>Canal FCD del drenaje pluvial de la zona 14</i>	148
Figura 79 <i>Cámaras del drenaje pluvial de la zona 14</i>	149
Figura 80 <i>Ingreso de datos de microcuencas en el programa SWMM</i>	149
Figura 81 <i>Datos de intensidad de lluvia ingresados en el programa SWMM</i>	150
Figura 82 <i>Gráfico de intensidad de lluvia vs tiempo, obtenidos del programa SWMM</i>	150
Figura 83 <i>Número de curva para el tipo de suelo y su uso según el manual de usuario del software SWMM</i>	150
Figura 84 <i>Tipos de suelo según el manual de usuario del software SWMM</i>	151
Figura 85 <i>Valores de coeficiente n de Manning para flujo en canales abiertos, manual de usuarios de SWMM</i>	153

Figura 86 <i>Perfil de canales del drenaje para la alternativa 1, BAU</i>	154
Figura 87 <i>Tabla de escorrentía superficial de micro y nanocuencas para la alternativa 1, BAU</i>	154
Figura 88 <i>Datos de inundación en diversos términos del drenaje para la alternativa 1, BAU</i>	155
Figura 89 <i>Datos de inundación en diversos términos del drenaje para la alternativa 2, Soluciones grises</i>	156
Figura 90 <i>Perfil de canales del drenaje para la alternativa 2, Soluciones grises</i>	157
Figura 91 <i>Tabla de escorrentía superficial de micro y nanocuencas para la alternativa 2, Soluciones grises</i>	157
Figura 92 <i>Ingreso de parámetros para la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes</i> ...	158
Figura 93 <i>Ingreso de solución en su respectiva microcuenca para la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes</i>	159
Figura 94 <i>Datos de inundación en diversos términos para la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes</i>	160
Figura 95 <i>Perfil de canales del drenaje para la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes</i>	161
Figura 96 <i>Tabla de escorrentía de micro y nanocuencas para alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes</i>	161

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de las edificaciones en el sector A del campus de ESPOL</i>	20
Tabla 2 <i>Coordenadas de hitos ubicados en la zona 13, ESPOL</i>	25
Tabla 3 <i>Estaciones realizadas para cubrir el área de estudio</i>	26
Tabla 4 <i>Microcuencas con su respectiva área en hectáreas.</i>	57
Tabla 5 <i>Métrica de evaluación de la escala de Likert.</i>	63
Tabla 6 <i>Escala de Likert.</i>	63
Tabla 7 <i>Estado de los canales del sistema de drenaje.</i>	68
Tabla 8 <i>Datos geométricos de cada solución.</i>	82
Tabla 9 <i>Resultados de horas, tasa y altura de inundación por cada alternativa.</i>	82
Tabla 10 <i>Árbol de factores para rejillas longitudinales, jardín de lluvia y pavimento permeable.</i>	100
Tabla 11 <i>Matriz de Leopold para medidas grises, rejillas longitudinales</i>	109
Tabla 12 <i>Matriz de Leopold para medidas verdes-azules, jardín de lluvia</i>	110
Tabla 13 <i>Matriz de Leopold para medidas verdes-azules, pavimento permeable</i>	111
Tabla 14 <i>Rubros que conforman el proyecto.</i>	119
Tabla 15 <i>Rubros que conforman la alternativa 2 con veinte rejillas longitudinales.</i>	120
Tabla 16 <i>Cantidad por cada rubro del proyecto</i>	121
Tabla 17 <i>Cantidad por cada rubro de la alternativa 2 con veinte rejillas.</i>	122
Tabla 18 <i>Presupuesto de alternativa 3 con soluciones grises-azules-verdes</i>	123
Tabla 19 <i>Presupuesto de alternativa 2 con veinte rejillas longitudinales.</i>	125
Tabla 20 <i>Ganancia neta anual con respecto a las soluciones verdes-azules.</i>	126
Tabla 21 <i>Información de canales</i>	151
Tabla 22 <i>APU del Rubro 1.1</i>	162
Tabla 23 <i>APU del Rubro 1.2</i>	163
Tabla 24 <i>APU del Rubro 1.3</i>	164
Tabla 25 <i>APU del Rubro 2.1</i>	165
Tabla 26 <i>APU del Rubro 2.2</i>	166
Tabla 27 <i>APU del Rubro 2.3</i>	167
Tabla 28 <i>APU del Rubro 2.4</i>	168

Tabla 29 *APU del Rubro 2.5*..... 169

Tabla 30 *APU del Rubro 2.6*..... 170

Tabla 31 *APU del Rubro 2.7*..... 171

Tabla 32 *APU del Rubro 3.3*..... 172

Tabla 33 *APU del Rubro 3.4*..... 173

Tabla 34 *APU del Rubro 3.5*..... 175

Tabla 35 *APU del Rubro 3.6*..... 176

Tabla 36 *APU del Rubro 3.7*..... 177

Tabla 37 *APU del Rubro 4.5*..... 178

Tabla 38 *APU del Rubro 4.6*..... 179

Tabla 39 *APU del Rubro 4.7*..... 180

Tabla 40 *APU del Rubro 5.1*..... 182

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Rejilla longitudinal

PLANO 2 Pavimento permeable

PLANO 3 Jardín de lluvia con celda de almacenamiento

PLANO 4 Rejilla longitudinal

PLANO 5 Pavimento permeable

PLANO 6 Jardín de lluvia con celda de almacenamiento

PLANO 7 Rejilla longitudinal

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El drenaje pluvial en zonas periurbanas es un aspecto esencial para la gestión eficiente de recursos hídricos, la prevención de riesgos ambientales y de salud pública. No obstante, debido a la integración de lo urbano y lo rural, el drenaje pluvial en estas áreas enfrenta retos singulares. Las zonas periurbanas se caracterizan por un acelerado crecimiento demográfico, lo que resulta en un aumento en la impermeabilización del suelo por la construcción de infraestructuras. Esta modificación en el uso del suelo incrementa el riesgo de inundaciones, debido a una mayor escorrentía superficial en condiciones de lluvia.

En el transcurso de los años, la gestión del drenaje pluvial en áreas periurbanas no se ha enfatizado lo suficiente como en zonas urbanas. En este contexto, el estancamiento del agua, el deterioro ambiental y la contaminación de los recursos hídricos son el resultado de la carencia de un plan adecuado y de sistemas de drenaje eficientes. Asimismo, algunas estrategias improvisadas, como canales rudimentarios no son apropiadas para el manejo de volúmenes de agua de lluvia grandes.

Como respuesta a estos problemas, se está implementando un enfoque más holístico para manejar el drenaje pluvial en zonas periurbanas. Tal contexto abarca la adopción de estrategias de infraestructura verde y azul que trabajen en conjunto de las estructuras existentes, como medida sostenible para confrontar las intensas pero recurrentes precipitaciones. Esto con la finalidad de minimizar los efectos nocivos de la falta de gestión del drenaje pluvial en las áreas periurbanas, además de, promover la conservación ambiental y adaptabilidad ante el cambio climático.

1.2 Descripción del Problema

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) se encuentra en la periferia oeste de la ciudad de Guayaquil, Ecuador (Véase Figura 1). El campus Gustavo Galindo de la ESPOL tiene su sistema de drenaje pluvial desarrollado sin una planificación integral, lo que ha resultado en un sistema ineficiente para las condiciones actuales. La Gerencia de Infraestructura de ESPOL (GIF ESPOL) es el departamento encargado de custodiar las edificaciones y todo el conjunto de estructuras relacionadas al correcto funcionamiento operacional de la universidad.

Figura 1

Imagen satelital de la ciudad de Guayaquil



Nota. Ubicación del campus Gustavo Galindo de ESPOL.

Adaptado de Google Earth [Fotografía], por autoras, 2024.

Una de las zonas que presenta deficiencias, es el sector del local alimenticio *Sweet & Coffee* como se aprecia en la Figura 2, donde se han manifestado inundaciones en épocas de lluvia. Estos desbordamientos afectan los índices de sostenibilidad del campus. Debido a los

impactos negativos económicos, sociales y ambientales por daños en las infraestructuras existentes, además de posibles afectaciones en el bienestar de la comunidad universitaria.

Figura 2

Zona afectada por inundaciones alrededor del local alimenticio Sweet & Coffee



Nota. (a) Entrada del flujo en cruce de tubería con canales; (b) Evento de inundación en enero del 2019.

Otras situaciones desfavorables que se han evidenciado son conexiones del sistema de riego que se encuentran combinadas con el sistema de drenaje pluvial, véase la Figura 3.

También, existen cámaras de inspección que no están claramente ubicadas en el campus o que poseen una nomenclatura errónea en sus cubiertas, lo que dificulta su mantenimiento. A esto se suma la presencia de canales sin ruta definida y cámaras sin desfogue identificado.

Figura 3

Cámara ubicada frente al bloque 13A del campus



Nota. Cámara de aguas lluvias combinada con una manguera perteneciente al sistema de riego.

1.3 Justificación del Problema

La última actualización de redes de alcantarillado pluvial realizado por GIF ESPOL en el año 2023 determinó que el drenaje pluvial ha sido expandido con el transcurso del tiempo; para ajustarse a la demanda de infraestructura relacionada al incremento de población estudiantil y administrativo. Cabe recalcar que este sistema se construyó y está en funcionamiento desde hace casi 35 años, desde la construcción del campus (en la década de los 1990s).

Actualmente, es probable que las condiciones hidrológicas y poblacionales actuales difieran de aquellas con las que se diseñó. Por esta razón, para mitigar los riesgos de inundaciones, hay que evaluar el funcionamiento y capacidad actual del sistema. Es notorio que, en los últimos años se ha manifestado con más fuerza el cambio climático, lo que conlleva a precipitaciones más intensas que todo alcantarillado pluvial debe contrarrestar por el bien de las comunidades.

Las inundaciones causadas por la falta de planificación representan un problema significativo para la comunidad universitaria. Sus repercusiones abarcan daños a la infraestructura que trae consigo pérdidas económicas, proliferación de enfermedades causadas por el estancamiento de agua y en consecuencia el deterioro ambiental. Debido a estas razones, es primordial implementar un sistema de alcantarillado pluvial eficiente que disminuya los impactos negativos. Es importante mencionar que rediseñar el sistema es una inversión potencialmente alta. No obstante, de no actuar a tiempo los costos a largo plazo podrían ser mucho más elevados.

En este contexto, la Gerencia de Infraestructura Física de ESPOL (GIF ESPOL), busca conocer el estado actual de los componentes del sistema de drenaje pluvial para identificar zonas que requieren intervención prioritaria. Se busca ejecutar soluciones según

las condiciones topográficas, la infraestructura existente, además de tomar en cuenta los aspectos ambientales, sociales y económicos.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general

Rediseñar el sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo sector A, con énfasis en el área proveniente del Rectorado, mediante la modelación del sistema en un software especializado, e inclusión de medidas basadas en la naturaleza, para la optimización del manejo de aguas lluvias.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Compilar la información complementaria a la inicial por medio del trabajo de campo para la ejecución de la modelación en el software.
2. Evaluar el sistema de drenaje actual mediante el modelado hidráulico con un software especializado para la identificación de problemas y la propuesta de alternativas que mejoren su comportamiento.
3. Rediseñar el drenaje pluvial aplicando criterios ingenieriles, de manera que se aproveche la mayor cantidad de la infraestructura existente y provoque el menor impacto ambiental.

Capítulo 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de literatura

2.1.1 Zonas periurbanas

Las zonas periurbanas, surgen como expansión territorial en respuesta al crecimiento poblacional de una comunidad ya que se sitúan en los alrededores de una ciudad metropolitana. Debido al distanciamiento entre la zona urbana y la periurbana, suele existir una desconexión de funciones antrópicas y de interacción entre ambas localidades (Angela et al., 2015; Chiaffarelli & Vagge, 2023). Las zonas urbanas y periurbanas comparten condiciones topográficas que hacen necesaria la cooperación en gestión de recursos para evitar posibles catástrofes (Soto-Montes-de-Oca et al., 2023; Thorn et al., 2021).

2.1.2 Alcantarillado pluvial

La infraestructura de drenaje pluvial compete a una gestión necesaria para el desarrollo y bienestar de toda comunidad, ya que mitiga los riesgos de inundación por fuertes lluvias, mediante estructuras abiertas o subterráneas (Fayomi et al., 2024). Los sistemas tradicionales de alcantarillado pluvial, también conocidas como infraestructuras grises, se definen como un conjunto de elementos que reciben y evacúan aguas lluvias, se clasifican como (Jiménez & Mozo, 2021):

- Alcantarillado convencional: son sistemas tradicionales, recolectan el agua hasta un depósito final trabajando a gravedad.
- Alcantarillado no convencional: son sistemas de menor costo por su simplicidad trabajando sin arrastre de sólidos.

El drenaje pluvial tiene diversos componentes que direccionan las aguas lluvias, entre ellos están (Luna, 2022):

1. Tuberías o colectores: Es una estructura de conducción con sección circular que transporta a capacidad parcialmente llena del fluido.
2. Cámara de caída o pozo de inspección: Es una estructura de conexión entre tuberías subterráneas. También sirven para redireccionar el flujo y permitir la intersección de varias tuberías.

Figura 4

Proceso constructivo de una cámara de inspección



Nota. Pozos de inspección [Fotografía], por Colpeaton, 2020.

3. Sumideros, rejillas longitudinales o interceptores: Son estructuras con cubiertas malladas de acero para evitar el paso de sólidos, su función es captar la escorrentía superficial (Otalora, 2018) (Otalora, 2018).

Figura 5

Hauraton channel system, Darwen Vale High School and Engineering College



Nota. Interceptor del estadio deportivo [Fotografía], por Barbour, 2015.

4. Canales: Son estructuras hidráulicas de conducción con determinada pendiente longitudinal y geometría en su sección transversal. Pueden diseñarse con abertura al ambiente o cerrados, pero en ambos casos debe contar con un borde libre.

Figura 6

Construcción de canal en Arroyo Los Guayabos, México



Nota. Canal abierto de sección trapezoidal [Fotografía], por Gobierno Municipal de Zapotlán.

5. Cunetas o zanjas: Son estructuras longitudinales de captación ubicadas en los laterales de las carreteras y caminos, tienen distintas geometrías y pendientes para conducir el agua de las lluvias hacia el desfogue en determinada zona (Geldres, 2020).

Figura 7

Cunetas como parte del drenaje pluvial de



Nota. Cuneta se sección trapezoidal [Fotografía], por Cementos INKA.

6. Conexiones domiciliarias: Las edificaciones tienen instalaciones de aguas lluvias que transportan el agua desde los techados hasta un punto en específico. Esto a través de canaletas que recogen el agua del tejado y se mueven hacia abajo por tuberías bajantes.

Figura 8

Sistemas de recolección de aguas lluvias



Nota. Conexión domiciliaria de recolección y almacenamiento de aguas lluvias [Fotografía], por Pircher Oberland Srl. 2024.

Es importante mencionar que, el drenaje pluvial debe evitar estancamientos del agua ya que es un factor que inicia la proliferación de bacterias en el ambiente (Velazco & Gonzales, 2014). Estos sistemas deben evacuar en cuerpos de agua o en terreno natural sin alterar las condiciones del entorno. Además, deben ser independientes y no interconectarse con los sistemas de alcantarillado sanitario (Sánchez, 2018).

2.1.3 Datos hidrológicos

2.1.3.1. Cuenca hidrográfica

Es un territorio formado por un río con afluentes que desembocan en él, además, lo conforma un área colectora por donde escurre hacia la misma zona (Aguirre, 2007). Las cuencas hidrográficas son ecológicamente frágiles

porque son propensas a sufrir las consecuencias de fenómenos meteorológicos extremos (Zhang et al., 2024).

2.1.3.2. Microcuencas

Una microcuenca es área geográfica y unidad de medida hidrológica que abarca una zona cerrada de tierra más pequeña que una cuenca hidrográfica (Ramírez et al., 2018). En esa área se evidencia la unión de elementos como agua, suelo, vegetación y atmósfera, debido a la naturaleza de los procesos hidrológicos (Lala-Ayo & Fernández-Quintana, 2020).

2.1.3.3. Precipitación

Es un fenómeno meteorológico fundamental para el ecosistema, porque se refiere a la caída de agua desde la atmósfera hasta la superficie planetaria en estado líquido o sólido (Sarricolea et al., 2017). La cantidad y distribución de precipitación depende de factores geográficos y climatológicos. La intensidad de precipitación (i) es la cantidad de agua que desciende en un intervalo de tiempo y se mide en milímetros/hora. Esto se puede relacionar con la duración de la precipitación y su frecuencia, de esta forma se obtienen las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia). Para esto se necesitan datos pluviométricos previos para seleccionar la lluvia más fuerte de cada año (Curo, 2020).

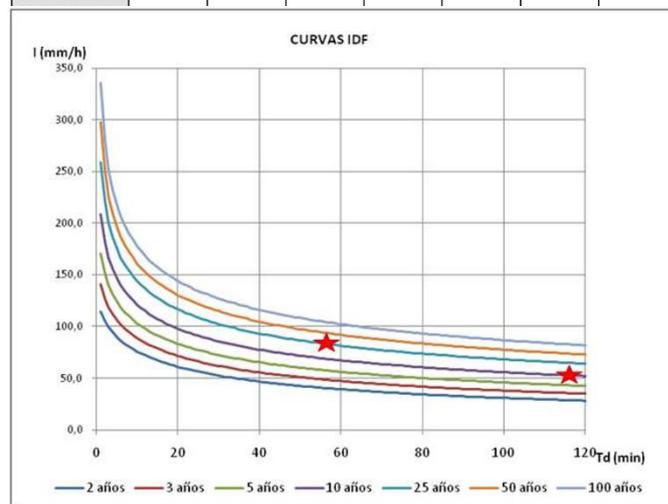
La empresa Interagua brinda el servicio de distribución de agua potable y recolección de alcantarillado sanitario y pluvial de la ciudad de Guayaquil, desde el año 2001. Se utilizó los datos proporcionados por el Plan Maestro, Tomo I de Interagua, en la Figura 9 (a) se muestra los valores de intensidad referentes a un periodo de recurrencia y la duración en diferentes intervalos. Estas cifras fueron obtenidas a partir del riguroso análisis para los años entre 2012 a 2015 de sus 9 pluviómetros ubicados en: Trinitaria, La Chala, Vía la

Costa, El Progreso, Bella Vista, Juan Montalvo, Santa Ana, La Toma, Pancho Jácome (Interagua, 2016).

Figura 9

Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Intensidad (mm/h)	Duración (minutos)						
	5	10	15	20	30	60	120
Recurrencia							
2 años	90.0	75.9	67.2	61.0	52.6	39.3	28.2
5 años	124.2	103.2	91.3	83.3	72.5	56.1	42.5
10 años	146.8	121.3	107.3	98.0	85.7	67.3	52.0
25 años	175.3	144.1	127.5	116.6	102.5	81.4	64.0
50 años	196.5	161.0	142.5	130.4	114.9	91.8	72.9
100 años	217.6	177.7	157.4	144.2	127.2	102.2	81.8



(a)

$$I = \frac{c}{t_d^e + f} \quad (b)$$

Nota. a) ★ Indican valores máximos registrados; b) Ecuación de ajuste paramétrico para las curvas IDF: c, e, f: coeficientes de parametrización, t_d : duración. [Fotografía], por Interagua. 2016.

La Figura 9 (a) señala que la máxima lluvia de 60 minutos (19/03/12 con 85.6 mm/h) apenas rebasa la probabilidad correspondiente a $T = 25$ años. Mientras que, la máxima lluvia de 120 minutos (12/03/12 con 54.9 mm/h) está en el orden de $T = 10$ años.

2.1.3.4. Periodo de retorno

Es la probabilidad que un evento extremo suceda alguna vez, durante el tiempo de servicio de una obra. En el caso de las precipitaciones, se obtiene

por medio de las series anuales de máximas lluvias diarias (Vera Muthre et al., 2009).

2.1.3.5. Infiltración

Es un proceso primordial para el ciclo hidrológico porque el agua infiltrada se acumula en los acuíferos o formaciones geológicas subterráneas (Cubides & Santos, 2018; Parada-Molina et al., 2020). El líquido almacenado después se libera naturalmente hacia los grandes cuerpos de agua permitiendo la recarga y equilibrio hídrico (Schosinsky & Losilla, 2000).

2.1.3.6. Escorrentía

La escorrentía o escurrimiento hace referencia al flujo de agua proveniente de las precipitaciones o deshielo que no puede infiltrarse a través del suelo, por lo cual circula sobre su superficie (Lozano-Trejo et al., 2020).

Existen tres tipos de escorrentías definidas como (Caxi, 2017):

- Escorrentía superficial: La contribución de la precipitación es mayor a la cantidad de agua que puede absorber la tierra. Por acción de la gravedad, el agua fluye hacia lo más bajo para depositarse en un cuerpo de agua.
- Escorrentía en zona no saturada: El agua llega a filtrar por el suelo, pero a poca profundidad. Por lo que suele volver a emerger y añadirse a la escorrentía superficial.
- Escorrentía subterránea: El agua se infiltra profundamente llegando al nivel freático, luego se mueve horizontalmente hasta un cuerpo de agua.

Por otro lado, el coeficiente de escorrentía (C_e) sirve para medir la proporción de precipitación que se transforma en escorrentía. Existen varios parámetros a considerar para este coeficiente, entre ellos: material del suelo, vegetación, clima y topografía (Chow et al., 2012).

Figura 10

Imagen de la Tabla para los coeficientes de escorrentía (C_e)

Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	1000
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor al 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Áreas de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.38	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota. Libro de Hidrología Aplicada [Fotografía], por Chow et al. (2012).

2.1.3.7. Caudal de diseño

El Método Racional sirve para la estimación del caudal de diseño relacionado a las aguas lluvias ya que está en función de parámetros hidrológicos. Este método es aplicable para microcuencas menores a 100 hectáreas, además se utiliza para el diseño de obras de drenaje pluvial y se expresa como (Interagua, 2018):

$$Q = 0.00278 * C_e * A * i \quad (2.1)$$

En donde, Q : Caudal de escurrimiento $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

C_e : *Coeficiente de escurrimiento*

A : *Área de microcuenca [ha]*

i : *Intensidad de la lluvia $\left[\frac{mm}{h}\right]$*

2.1.4. Soluciones de infraestructuras verdes-azules-grises

Actualmente, es necesario desarrollar la transición del drenaje pluvial tradicional, hacia los Sistemas de Drenaje Sustentables (SDS) como estrategia de gestión del recurso hídrico proveniente de la lluvia (Bermúdez-Valero, 2021; Gimenez-Maranges et al., 2021). Estos métodos son soluciones de infraestructura verde-azul ya que están basadas en la naturaleza porque imitan los procesos hidrológicos (Chapman & Hall, 2022). Algunas de las soluciones verde-azules son las siguientes:

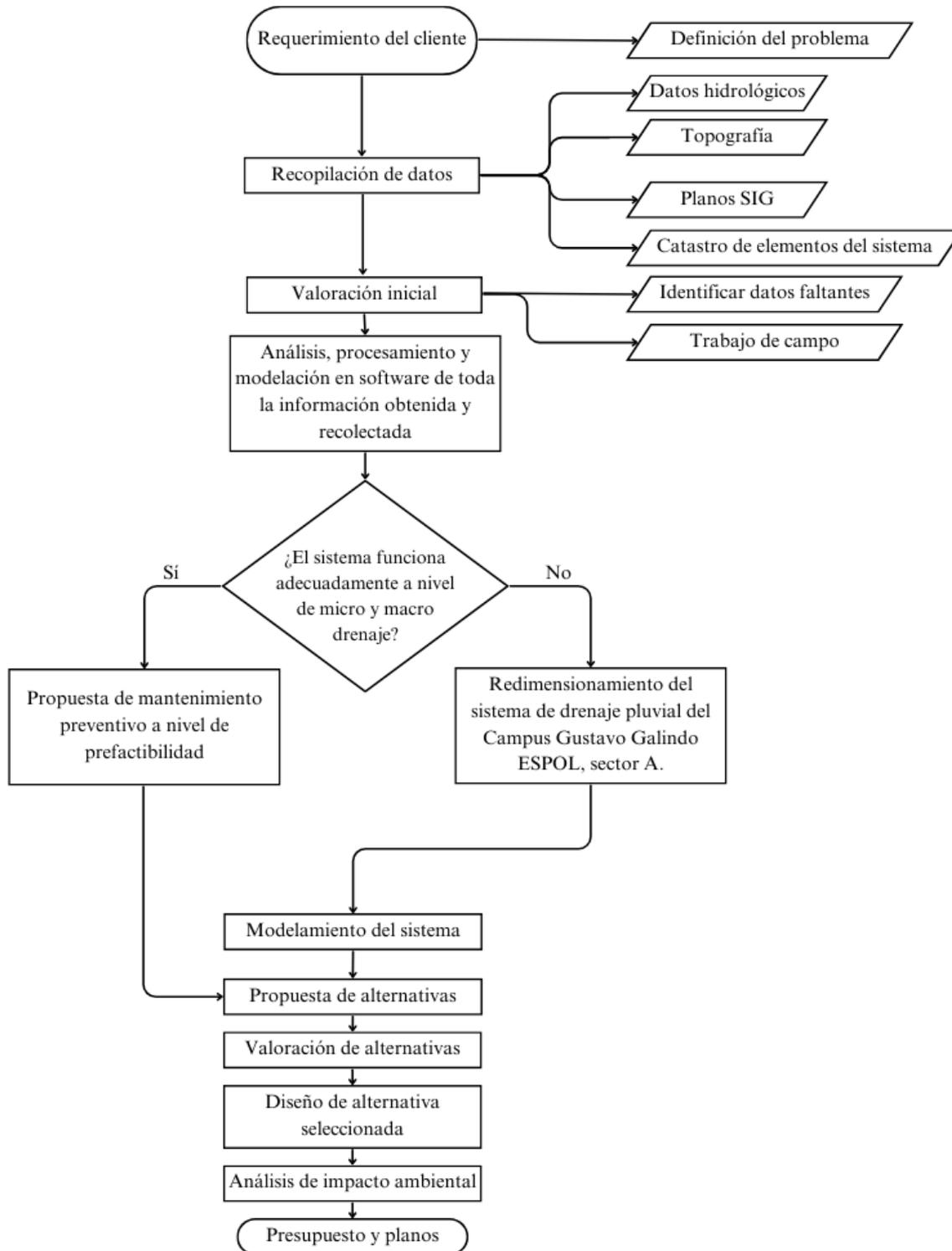
- **Pavimento permeable:** Este tipo de pavimento permite la filtración del agua, reduciendo la escorrentía superficial y aumentando el drenaje subterráneo (Zhu et al., 2019).
- **Jardín de lluvia:** Su función es absorber y retener temporalmente el agua (Chen et al., 2024).

Sin embargo, es necesario que las infraestructuras actuales del drenaje pluvial (grises), se complementen con las soluciones verde-azules. Esto debido a que, la sinergia entre estos elementos mitiga el riesgo de inundación (Li et al., 2024; Wang et al., 2022; Yin et al., 2023).

2.2 Metodología

Figura 11

Metodología del Proyecto Integrador



La metodología empieza definiendo la problemática para direccionar la secuencia de pasos. Para este proyecto se empieza con la recopilación de datos existentes por medio de literatura previa relacionada al tema, e información disponible por parte del cliente GIF ESPOL. Luego, se debe hacer una valoración inicial en la que se identifique la información que debe ser complementada con el trabajo de campo necesario. Posteriormente, es primordial evaluar el sistema existente que presente fallos en su funcionamiento, esto por medio del uso de un software apropiado de licencia libre, en el presente caso, *Storm Water Model Management (SWMM)*.

Una vez modelado el drenaje pluvial en el programa, se debe seleccionar la alternativa más conveniente de ejecutar para solucionar la problemática. Esto se decide a través de una valoración de las opciones en donde se escoge la mejor puntuada ante diversos aspectos medibles. La alternativa destacada debe constar con un análisis de impacto ambiental que corrobore su alineación a los Objetivos de Desarrollo de Sostenibilidad (ODS) de este proyecto que son; Agua Limpia y Saneamiento (ODS 6); Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9); Ciudades y Comunidades Sostenibles (ODS 11). Finalmente, esta solución de rediseño debe diagramarse en planos y cuantificarse en un presupuesto para que el cliente pueda efectuarla.

2.3 Área de estudio

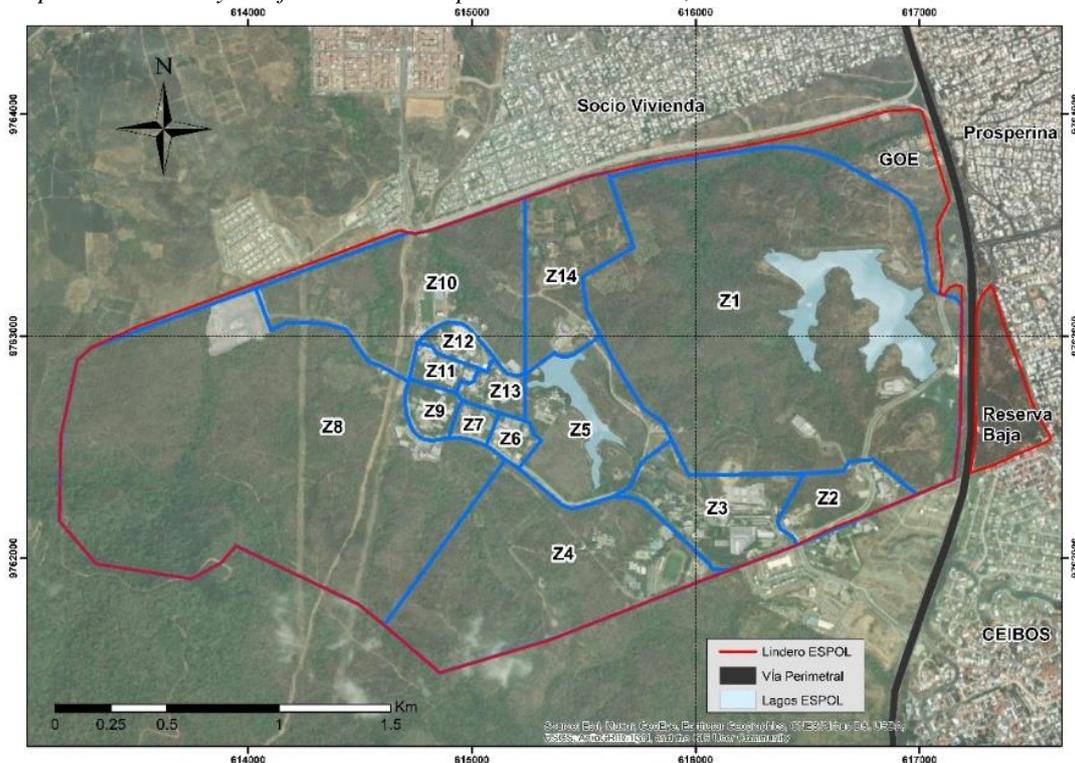
El campus Gustavo Galindo de la ESPOL, está ubicado en las periferias de la ciudad de Guayaquil en Ecuador (Figura 1), específicamente en el kilómetro 30.5 de la vía perimetral en el sector de la Prosperina de la parroquia Tarqui. Según los datos proporcionados por la Gerencia de Infraestructura (GIF ESPOL), este campus se encuentra dentro del área correspondiente al Bosque Protector La Prosperina que tiene aproximadamente 720 hectáreas de bosque tropical seco. Sin embargo, el dominio terrenal

del campus es de aproximadamente 657.99 hectáreas, según el levantamiento realizado por GIF ESPOL en el 2021.

El área de estudio se delimita al Sector A que abarca toda la infraestructura existente en las zonas desde Z5 hasta Z14, siendo un total de 10 zonas como se aprecia en la Figura 12. El sector A tiene edificaciones con ocupaciones correspondientes a la administración de la universidad, así como una biblioteca y facultades con aulas, laboratorios, auditorios etc. Además, existen, restaurantes, parqueaderos y espacios de recreación física.

Figura 12

Mapa de ubicación y zonificación del campus Gustavo Galindo, ESPOL



Nota. Campus Gustavo Galindo de ESPOL inmerso en el Bosque Protector La Prosperina por GIF ESPOL [Fotografía], 2021.

La Tabla 1 muestra la ocupación mayoritaria por zona, es decir, el área de administración interna de ESPOL que predomina en cada localidad del campus. En la tabla se encuentra la descripción detallada de cada ubicación en cuanto a las edificaciones o bloques que pertenecen y constituyen cada zona del área de estudio como muestra la Figura 14.

Tabla 1*Clasificación de las edificaciones en el sector A del campus de ESPOL*

Zona	Ocupación	Siglas	Observaciones
Z5	Facultad de Ingeniería en Marítima y Ciencias del Mar	FIMCM	Oficinas, aulas, laboratorios, auditorios, cancha deportiva, parqueadero y comedor
Z6	Rectorado	-	Oficinas y parqueaderos
Z7	Biblioteca	-	Oficinas, aulas, laboratorios, auditorios, teatro, biblioteca y parqueadero
Z8	Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas; Centro de Lenguas Extranjeras	FCSH; CELEX	Oficinas, aulas, laboratorios, auditorios, cancha deportiva, parqueadero y comedor
Z9	Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas; Facultad en Ciencias Naturales y Matemáticas	FCSH; FCNM	Oficinas, aulas, laboratorios, auditorios, tarima, área de recreación estudiantil, parqueadero y comedores
Z10	Gerencia de Bienestar Politécnico	GBP	Oficinas, canchas deportivas, coliseos, gimnasio, parqueadero, laboratorios y planta de tratamiento de agua potable
Z11	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación	FIEC	Oficinas, aulas, laboratorios, auditorios, área de recreación estudiantil, parqueadero y comedor

	Facultad de Ingeniería		Oficinas, aulas, laboratorios, auditorios,
Z12	Mecánica y Ciencias de la Producción	FIMCP	parque de recreación, parqueadero, estación de buses y comedores
Z13	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra	FICT	Oficinas, aulas, laboratorios, auditorio, parqueadero, banco y comedores
Z14	Facultad de Arte, Diseño y Comunicación Audiovisual	FADCOM	Oficinas, aulas, laboratorios, parqueadero y comedor

Nota. Tabla realizada por autoras (2024).

Figura 13

Mapa de zonificación de infraestructuras sector A, ESPOL



Nota. La Figura muestra la numeración de zonas ocupadas por infraestructuras para la población administrativa y estudiantil de ESPOL

2.4 Trabajo de campo y laboratorio

El presente proyecto no requiere de ensayos de laboratorio. Sin embargo, se necesitan los datos geográficos (topografía) para la localización de todos los elementos que componen

el drenaje pluvial del campus. Además, se requiere el catastro de los componentes de este sistema tales como canales, cámaras, colectores y sumideros. Para lo cual fue necesario obtener datos complementarios a los que dispone la Gerencia de Infraestructura de ESPOL (GIF ESPOL), como lo fueron el catastro y topografía de las cámaras de inspección, dado que el levantamiento de información de canales abiertos ya estaba ejecutado con anterioridad.

Cabe recalcar que gran parte del trabajo de campo también se enfocó en dialogar con personal laboral de la universidad y estudiantes para conocer la perspectiva de la comunidad politécnica en cuanto al funcionamiento de la red de alcantarillado de aguas lluvias. Esta información es fundamental para la evaluación del sistema, dado que el drenaje pluvial trabaja solamente cuando es temporada de invierno y no existen registros históricos físicos que evidencien las falencias del sistema. Se conversó con personal de las distintas zonas del área de estudio, entre ellos: profesores, personal de mantenimiento, trabajadores de administración, conserjes, trabajadores de restaurantes y estudiantes.

2.3.1. Catastro

Se levantó información sobre las cámaras de inspección de las zonas del área de estudio, para lo cual se necesitó la ayuda de personal de Gerencia de Mantenimiento de ESPOL, porque se tuvo que manipular herramientas como la pata de cabra y la barreta para levantar las tapas de las cámaras. Debido a que no existen registros físicos previos que evidencien la ruta del sistema de drenaje pluvial, se tomó los datos de las cámaras que eran visibles a la vista. En total se registraron 66 pozos o cámaras de inspección en las 10 zonas del área de estudio. Los datos tomados durante el catastro fueron registrados en plantillas de papel bond tamaño A4 que fueron entregadas al cliente GIF ESPOL.

Figura 14

Cámara ubicada en la zona 13



Nota. Toma de datos para el registro catastral de cámara de inspección.

La información conseguida durante el catastro incluyó: geometría de las tapas, geometría interior, profundidad, ubicación, diámetro de colectores, condición de retención de agua, azolve, elementos de obstrucción, material de construcción, estado de deterioro, grosor del cuello, conformación del invert y otras observaciones necesarias para el análisis del elemento.

Figura 15

Proceso de catastro para cámara de inspección en el sector A, ESPOL



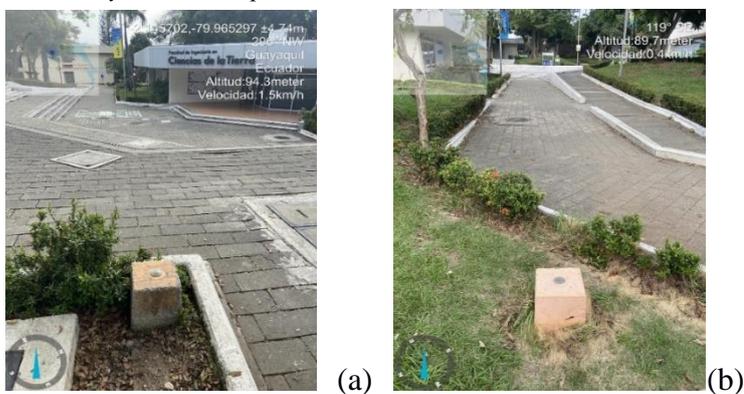
Nota. La Figura muestra el proceso de levantamiento de las tapas de las cámaras con el uso de herramientas pesadas.

2.3.2. Topografía

Se levantó la ubicación de las cámaras en el mapa y obtener las cotas de estas para verificar el funcionamiento a gravedad entre cámaras. Para lo cual, se utilizó una estación total como equipo topográfico, además de su trípode, 2 prismas, 2 porta prismas y 1 trípode de prisma. Como punto de partida, se utilizó los dos bancos de nivel o hitos, ubicadas en la zona 13 las cuales se encuentran georreferenciadas oficialmente.

Figura 16

Placas 6 y 7 ubicadas por la zona 13, Sector A de ESPOL



Nota. (a) hito 6; (b) hito 7.

Tabla 2*Coordenadas de hitos ubicados en la zona 13, ESPOL*

# Placa	X [°]	Y [°]	Z [m]
6	615069.821	9762792.871	87.019
7	615019.705	9762807.828	85.127

Nota. Tabla realizada por autoras (2024).

A partir de estas placas, se registró estaciones topográficas para poder tomar los datos geográficos de las cámaras distribuidas en el área de estudio. Para esto fueron necesarios clavos topográficos, un combo, un taladro, pintura y pegamento, estos materiales sirvieron para la creación de las 12 estaciones realizadas, el proceso se muestra en la Figura 18.

Figura 17*Proceso de realización de estaciones topográficas*

Nota. (a) Perforación con el taladro; (b) Aplicación de pegamento en el agujero; (c) Uso del martillo y el clavo

Tabla 3*Estaciones realizadas para cubrir el área de estudio*

Zona	Código de estación	X	Y	Z	Foto
Z13	EST 8	615042.503	9762834.870	85.194	
Z13	EST 9	615049.627	9762743.007	90.376	
Z11	EST 10	614966.405	9762777.238	82.759	
Z11	EST 11	614942.579	9762828.592	81.268	

Z12	EST 12	614970.060	9762879.065	79.682	
Z12	EST 13	614911.267	9762897.718	75.900	
Z12	EST 14	614869.174	9762943.111	74.107	
Z9	EST 15	614938.000	9762738.767	81.405	
Z9	EST 16	614895.545	9762742.282	77.659	

Z9	EST 17	614875.519	9762685.543	79.400	
Z9	EST 18	614822.943	9762684.141	77.776	
Z9	EST 19	614815.461	9762660.196	79.736	

Nota. Tabla realizada por autoras (2024).

En la Tabla 3 se observan las estaciones y placas registradas por cada zona para este proyecto. Cabe recalcar que las estaciones fueron ubicadas bajo los siguientes criterios:

- Visualizar la mayor cantidad de cámaras circundantes, para poder tomar sus datos con el prisma y porta prisma, como se muestra en la Figura 18.
- Factibilidad de visualización a cualquier otra estación antecesora, verificando que el error entre la estación previa y la nueva sea ± 03 mm, de manera que se pueda seguir creando más estaciones.

Figura 18

Registro de datos geográficos de cámaras de inspección con herramientas de topografía



Nota. (a) Registro de cámara #18 desde EST 13; (b) Registro de cámara #15 desde EST 13; (c) Registro de cámara #25 desde EST 17; (d) Registro de cámara #24 desde EST 17.

Este proceso y aplicación de criterios se ven ejemplificados en la Figura 19. También se utilizó otros métodos para la estimación de cotas y coordenadas de las cámaras como el uso de *Google Earth*. Esto se hizo para poder completar los datos necesarios del área de estudio en el tiempo impuesto para el proyecto.

2.5 Análisis de datos

Gran parte de los datos catastrales y geográficos de los canales abiertos del Sector A fueron levantados por GIF ESPOL. Como se visualiza en la Figura 20, varios canales cuentan con desfogue al terreno natural. En la zona 9, se encuentra un cauce que se considera el principal ya que tiene aportaciones de las zonas 6, 7, 8, 9 y 13. Esta estructura principal de la Figura 21, es de sección transversal rectangular.

Figura 19

Mapa con canales del Sector A



Nota. Canales y edificios con códigos de identificación, por GIF ESPOL [Fotografía], 2023.

Figura 20

Canal principal ubicado en la zona 9 (Bar de FCSH)



Nota. Canal principal que recolecta las aportaciones de las zonas 6, 7, 8, 9 y 13.

A continuación, se evaluó el sistema de drenaje de cada zona con la información previa y obtenida en las exploraciones de campo. Para este análisis se unificó la información de las cámaras de inspección, canales, cunetas, sumideros y demás elementos del sistema. Estos datos fueron montados sobre la imagen satelital del área de estudio, de manera que se tiene un mapa para cada zona. Y para lograr su comprensión es necesario tomar en cuenta la Figura 21.

Figura 21

Leyenda de los mapas por cada zona del área de estudio

	DESFOGUE A TIERRA		TUBERÍA SUBTERRÁNEA		CÁMARA DE INSPECCIÓN
	ENTRADA A CRUCE VIAL		APORTE DE TUBERÍA BAJANTE		DIRECCIÓN DEL FLUJO
	SALIDA DE CRUCE VIAL		CANAL / CUNETETA		LINDERO
	TUBERÍA DE CRUCE VIAL		CONEXIÓN DESCONOCIDA		CORTE POR TRAMO

Nota. Símbolos gráficos presentes en los mapas con su significado.

2.5.1 Zona 5

Este sector está ocupado por las edificaciones de la FIMCM tal como indica la Tabla

1. Se ubica frente al lago del campus, por lo cual, parte del desfogue de las cunetas, canales y cámaras de inspección es hacia este cuerpo de agua, como se aprecia en la Figura 23. Esta zona cuenta con 10 cámaras localizadas durante la exploración de campo y la dirección del flujo va desde la cámara #1001, que se encuentra aproximadamente a 87 m.s.n.m., hasta la cámara #1010 que tiene una cota de 80 m.s.n.m., y cuya tubería de salida de 24 pulgadas desemboca en el terreno natural que se encuentra muy cercano al lago del campus. Cabe recalcar que, durante la exploración, no se encontró una tubería de entrada que conecta a la cámara #1005 como se muestra en la Figura 23 siguiendo la leyenda de la Figura 22.

Figura 22

Mapa del drenaje pluvial de la zona 5



Nota. Ubicación y códigos de identificación para: canales, cunetas, sumideros, cámaras de inspección y edificaciones.

En la Figura 59 (a), se observa el estado del desfogue hacia el terreno natural con cota de 89.72 m.s.n.m. del canal con código de identificación *h* que proviene desde la elevada zona 6. Algunas edificaciones cuentan con tuberías bajantes que desfogan al terreno natural, aprovechando la filtración del suelo y su lejanía con respecto a los canales y cámaras, como es el caso del bloque identificado como 5B de la Figura 59 (b). Por otro lado, como indica la Figura 60 (a), el inicio del canal *iV* es de sección trapezoidal, sin embargo, a medida que avanza este incrementa su tamaño, así como muestra la Figura 60 (b), que es el otro inicio de este canal que se encuentra al lado del bloque 5G.

Además, estos canales reciben aportes de sumideros de algunas edificaciones, través de tuberías soterradas. Como es el caso del bloque 5H cuyas bajantes, que recolectan el agua de los tejados, se conectan a estos sumideros (véase la Figura 60 a). Las figuras mencionadas se encuentran en los anexos. De manera general, la red de drenaje de esta zona no ha reportado inconvenientes en su funcionamiento lo cual concuerda con los análisis de datos.

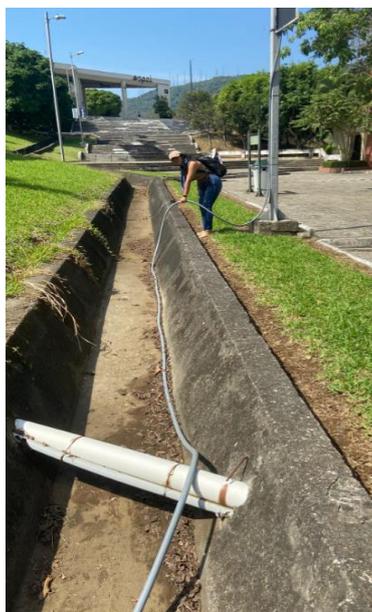
Esto se debe a que esta zona cuenta con un terreno amplio de áreas verdes y una topografía que facilita el trabajo a gravedad del sistema de alcantarillado.

2.5.2 Zona 6

Esta zona contiene al Rectorado de la universidad, Tabla 1, y se encuentra en la cota más alta de toda el área de estudio, siendo este valor alrededor de 101.303 m.s.n.m. Por tal razón, de este lugar descienden los canales y cunetas *h*, *g*, *RF*, *d* y *BR* hacia las zonas circundantes 5, 7 y 13, como se ilustra en la Figura 60. El canal *RF* inicia con una elevación de 97.477 m.s.n.m. presenta interrupciones en su tramo A-A', como se muestra la Figura 24(a), que corresponden a los sistemas de agua potable y telecomunicaciones que también se transportan subterráneamente por todo el campus. Esto afecta directamente al funcionamiento adecuado del canal ya que reduce su volumen e interfiere con el flujo. Además, la Figura 24(b) muestra el tramo B-B' de la cuneta *g* con sección triangular que inicia a 98.083 m.s.n.m. La estructura presenta residuos de hojas caídas de los árboles lo cual es una obstrucción al drenaje. Estos dos elementos del drenaje pluvial descienden hasta hacia la zona 13, lo que implica que las dificultades del sistema que se detallaron en la zona 6, en consecuencia, afectan en la zona 13.

Figura 23*Mapa del drenaje pluvial de la zona 6*

Nota. Ubicación y códigos de identificación para: canales, cunetas y edificaciones.

Figura 24*Elementos del drenaje pluvial de la zona 6*

(a)



(b)

Nota. (a) Tramo A-A' del canal con código de identificación *RF*;
 (b) Tramo B-B' de la cuneta con código de identificación *g*.

Los canales *S*, *BI* y *BD* inician en esta zona, pero descienden hacia la zona 9. El canal *S* de la Figura 61(a), se encuentra en un área con mucha vegetación, razón por la cual cuenta con hojas secas que estorban en el elemento de drenaje. Particularmente, los canales *BI* y *BD* de la Figura 61(c), dirigen el flujo hacia la parte más baja de la zona 7 que está colindante a la zona 9. Además, la cuneta *BR* en la Figura 61(b) inicia en la zona 6, pero continua su recorrido por la zona 7 y culmina en la zona 9, este elemento es el encargado de drenar el agua de los dos carriles de la vía principal del campus por la cual pasan todos los vehículos que ingresan.

Por otro lado, este sector cuenta con muros de contención que incluyen tuberías para su drenaje como se muestra en la Figura 62(a), también hay la presencia de sumideros que desfogan al terreno natural. En esta zona también se presencié la interrupción del drenaje de aguas lluvias con la presencia del sistema de riego, Figura 62(b). A pesar de esto, la zona no reporta inconvenientes con el funcionamiento del sistema de drenaje. Las Figuras 62, 63 y 64 se encuentran en la sección de anexos. Finalmente, existe una cámara de inspección de la cual se desconoce su conexión su tubería de salida, solo se conoce que una de sus aportaciones proviene de la tubería bajante del bloque 7C, como se muestra en las Figuras 26 y 64.

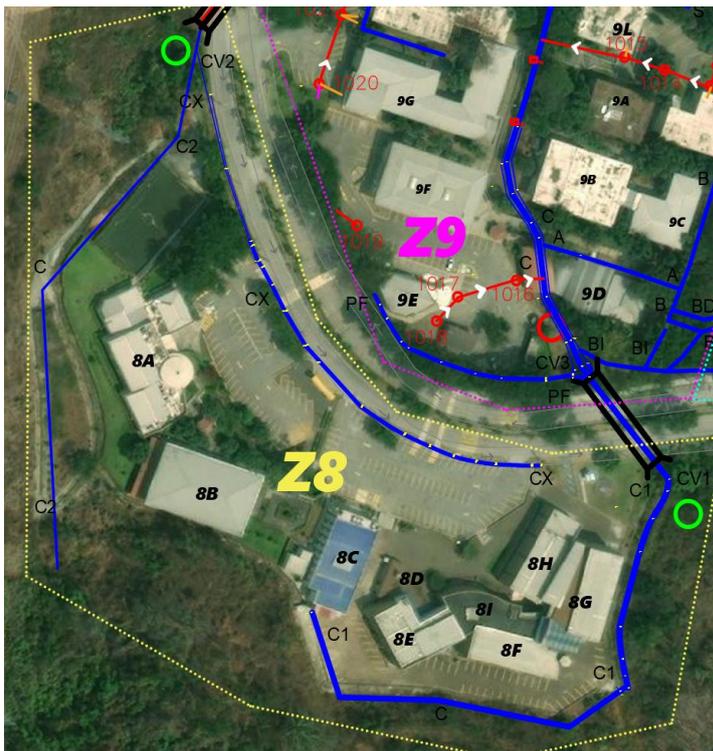
2.5.4 Zona 8

La topografía aquí indica que se encuentra a 6 metros por encima de la zona 9 y ambas están separadas por la carretera principal del campus. Por lo tanto, la zona 8 se encuentra en la periferia del área de estudio como se puede apreciar en la Figura 13, de manera que tiene considerable vegetación en gran parte de su entorno. En esta área no se encontró cámaras de inspección y como se grafica en la Figura 27, hay 3 canales que se identifican como *CI*, *C2* y *CX*. Como indica la Figura 64 para la interpretación del mapa de esta zona, existen dos cruces viales que son *CV1* y *CV2*, cuyas cotas de entrada son 80.162 y 80.593 m.s.n.m. respectivamente.

En la Figura 64 (a) ubicada en los anexos, se muestra la conexión de *CV1* con el canal *C1* de sección transversal trapezoidal, en lo largo de su recorrido es irregular porque no mantiene sus medidas constantes. No obstante, se puede estimar que tiene una altura promedio 1.5 metros. Este canal está revestido con hormigón ciclópeo que permite el crecimiento de vegetación, que además obstruye la entrada del cruce vial que se define como un ducto cajón de sección rectangular. Por el contrario, *CV2* no posee una conexión a un canal totalmente definido como se aprecia en la Figura 64(b), pero la sección de este ducto cajón es circular. Cabe agregar que ambos cruces viales desembocan en diferentes tramos del canal principal de la zona 9 que se ve en la Figura 21.

Figura 26

Mapa del drenaje pluvial de la zona 8



Nota. Ubicación y códigos de identificación para: canales, cunetas y edificaciones.

En cuanto a los otros elementos del drenaje, se tiene que la zanja *C1* recibe aportaciones de las tuberías bajantes y sumideros de los bloques cercanos (*8C*, *8D*, *8E*, *8F*,

8G, 8H, 8I). A su vez, el canal CX recibe aportaciones de cunetas del parqueadero y sumideros, véase la Figura 66(b). Esta última estructura tiene sección transversal cuadrada. Sin embargo, en el final de su tramo pierde su forma y termina desfogando al terreno natural, de manera que no llega a conformar una conexión con el canal C2 ni el cruce vial CV2. De manera general, esta zona tampoco presenta inconvenientes en su sistema de drenaje de aguas lluvias a pesar de las obstrucciones de vegetación de sus canales y la irregularidad en geometría de estos.

2.5.5 Zona 9

Como indica la Tabla 1, este lugar tiene edificaciones de dos facultades, lo que implica un alto tránsito de estudiantes y personal administrativo. Aparte, la topografía de esta área es en su mayoría plana y tiene menor altitud que las zonas vecinas 7 y 8, por tal razón, hay una mayor presencia de cámaras de inspección para direccionar el flujo pluvial. Además, aquí culminan los canales S, BD, BI y BR, además de tener las salidas a los cruces viales CV3 y CV4 de la zona 8.

Figura 27

Mapa del drenaje pluvial de la zona 9



Nota. Ubicación y códigos de identificación para: canales, cunetas, cámaras de inspección y edificaciones.

En esta área se encontró 13 cámaras de inspección durante la exploración de campo, como se visualiza en la Figura 27, se puede distinguir que las cámaras no están todas conectadas entre ellas, sino más bien existen cuatro circuitos separados y la cámara #1020 que está aislada de cualquier conexión y solo dispone de una tubería de salida. Cabe mencionar que todas estas cámaras tienen tapas de tipo rejilla longitudinal, lo que implica que además de transportar el agua que reciben por medio de los colectores, también acogen la aportación por escorrentía superficial, es decir que también actúan como sumideros.

Figura 28

Canal con código de identificación S del drenaje pluvial de la zona 9



Nota. (a) Continuación del canal S; (b) Tubería que interseca el canal S.

El canal S que inicia en la zona 7, desciende hasta la zona 9 y la continuación de este tramo está en la Figura 28. Se puede observar que este canal de sección trapezoidal se encuentra obstaculizado por hojas secas, además recibe contribuciones de las tuberías bajantes del bloque 9K. Este canal interseca con una tubería subterránea de 24 pulgadas que transporta el flujo hacia la cámara #1024 que termina por dirigir el agua hacia el terreno natural, este es el primer circuito de cámaras para esta zona.

Las Figuras 67, 68 y 69 (en anexos) muestran distintos tramos de canales y cámaras de esta zona. Se destaca el segundo circuito de cámaras que empieza con la #1019, mientras que el tercer circuito inicia con la #1021 de la cual se desconoce la procedencia de una de sus tuberías de entrada. En la Figura 67(a) se muestra el tramo B-B' del canal B, de sección transversal trapezoidal el cual recibe lo recolectado por los canales *BD* y *BI*, además se visualiza el desvío hacia el canal A.

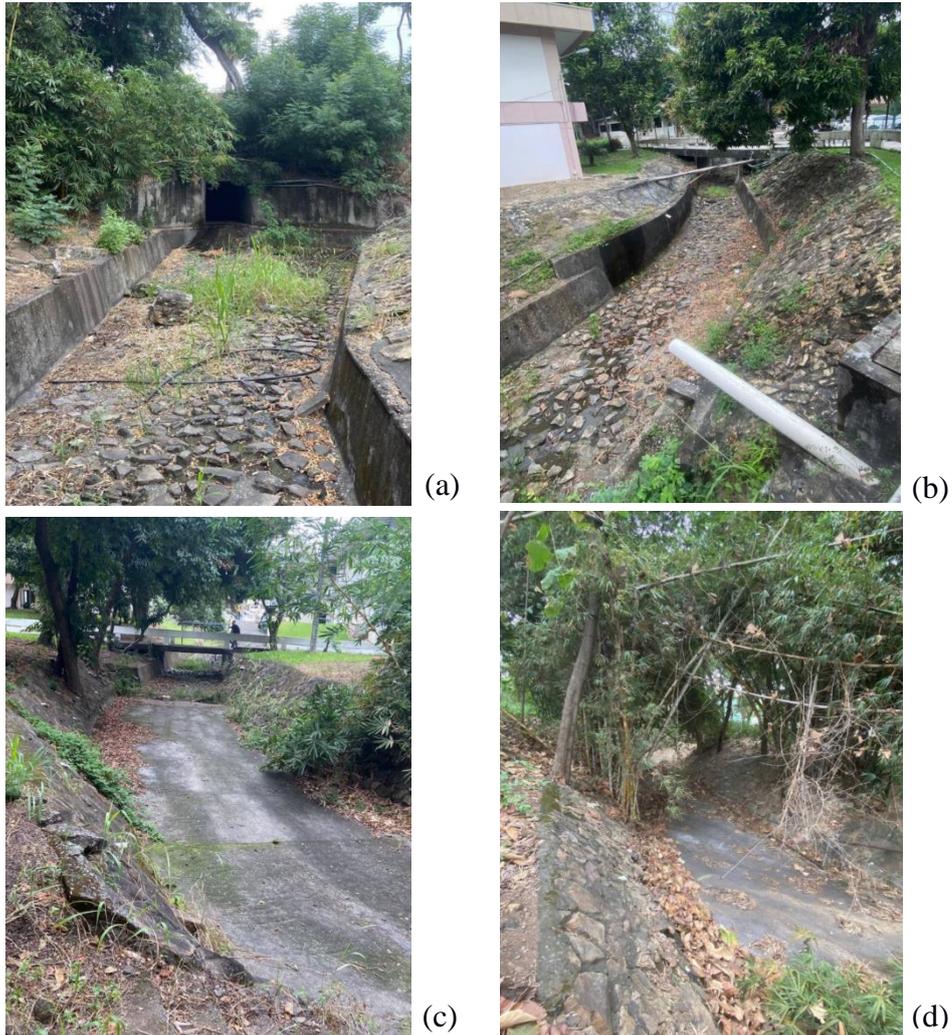
En la Figura 69(b) se muestra el tramo C-C' del canal B, y su conexión a la cámara #1012 en donde inicia el cuarto y último circuito entre cámaras. Esta red continua a través de las cámaras #1013, #1014, #1015 y #1016, que por medio de sus uniones con los colectores y aportaciones las tuberías bajantes de los bloques *9L* y *9M*, llevan el agua hacia el canal principal C, como se muestra en la Figura 68. Este canal de sección trapezoidal se encuentra azolvado y presenta la interrupción de tuberías del sistema de agua potable. En la Figura 68(b) se observa el tramo de unión E-E' del canal A con el canal principal C, y se muestra el desnivel entre ambas secciones y la presencia de vegetación extrema en los dos canales.

En la Figura 68 se encuentra los distintos tramos del extenso canal principal C, en donde se mira la salida del cruce vial CV3 de ducto cajón con sección cuadrada que tiene su entrada en la zona 8. Este canal principal es de sección rectangular y en su trayecto presenta irregularidades en sus dimensiones, pero la altura promedio es de 1.80 metros, mientras que su base es de 5 metros. En el tramo F-F' se evidencia las aportaciones de tuberías bajantes de los bloques cercanos y el cruce de otro sistema que interfiere la superficie del canal.

El material de construcción de este canal varía entre hormigón convencional y ciclópeo en lo largo de su recorrido, además tiene mucha vegetación y partes de las paredes se encuentran deterioradas como se muestra en el tramo G-G'. En último lugar, el tramo H-H' se contempla la continuación del canal hacia la entrada al cruce vial CV5, en donde se da el desfogue hacia el otro lado de la carretera, de todo lo contenido por este canal principal C.

Figura 29

Tramos del canal principal C del drenaje pluvial de la zona 9



Nota. (a) Cruce vial de salida CV2; (b) Tramo F-F'; (c) Tramo G-G'; (d) Tramo H-H'.

En cuanto a ciertos elementos del drenaje pluvial de esta zona, durante la exploración de campo se encontraron tapas de cámaras que tenían la nomenclatura errónea ya que mostraban “AA.LL”, pero al abrirlas se trataban del sistema de alcantarillado sanitario, como indica la Figura 69(a) en la sección de anexos. De forma general, esta área presenta muchos inconvenientes en su sistema, no obstante, no se ha reportado que estas afectaciones influyan en la capacidad del sistema para evitar las inundaciones en esta zona.

2.5.6 Zona 10

Como indica la Tabla 1, esta zona se caracteriza principalmente por contener dos coliseos, tres canchas deportivas y un gimnasio. Este territorio se encuentra en la periferia del área de estudio como se puede apreciar en la Figura 14, de manera que tiene mucha vegetación en gran parte de su entorno. Además, tiene una elevación superior en comparación a la zona 12 que se ubica en su frente separadas por la carretera principal del campus, Figura 43. En esta área no se encontraron cámaras de inspección durante la exploración de campo, pero hay 3 canales que se identifican como *UBP*, *CAN* y *G*, también existen 2 cunetas que son *TM* y *ADV*. Adicionalmente, como indica la Figura 30 para la interpretación del mapa de esta zona, existe 1 cruce vial que es *CV7* y 4 desfogues hacia el terreno natural.

En cuanto al canal denominado como *UBP*, se encuentra con muchas variaciones e irregularidades a lo largo de su trayecto, como se muestra en la Figura 70. Cabe mencionar que los bloques *10AD3*, *10PTA* y *10A* cuentan con tuberías bajantes que no conectan a sumideros ya que están rodeadas por pavimento articulado. Este tipo de pavimento reduce la impermeabilización del suelo en el área del parqueadero, lo cual es favorecedor además de la vegetación abundante alrededor de la zona.

Aparte, la cuneta *TM* que se aprecia en la Figura 71(a), no consta de una sección regular en su definición y se encuentra ocupada por hojas secas que atorán su ruta, lo mismo ocurre con la cuneta *ADV*. Finalmente, el drenaje del bloque *10AD4* está compuesto por tuberías bajantes que se conectan a sumideros que desembocan al terreno natural que rodea la edificación, véase la Figura 72. Las Figuras 71, 72 y 73 se encuentran en la sección de anexos. De todos modos, el drenaje pluvial de esta zona no presenta un mal funcionamiento a pesar de que no trabaja en la totalidad de su capacidad debido a la presencia de azolve, y exhibe irregularidades en los elementos de esta red de drenaje.

Figura 30

Mapa del drenaje pluvial de la zona 10



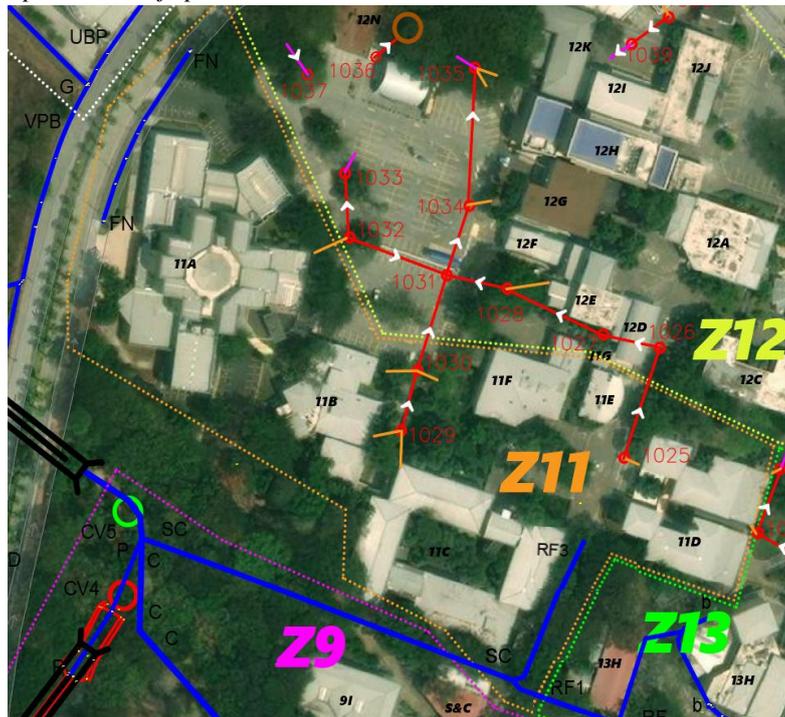
Nota. Ubicación y códigos de identificación para: canales, cunetas y edificaciones.

2.5.7 Zona 11

Esta área particularmente comparte circuito de las cámaras de inspección con la zona 12 como se muestra en la Figura 31. En cuanto a la topografía de la zona 11, se estima que es llana, razón por la cual hay mayor presencia de sumideros y cámaras. En la Figura 32(a) de los anexos, se muestra la cámara de inspección #1029 que inicia el circuito con la contribución de las tuberías bajantes de los bloques 11B y 11C, su tubería de salida se conecta a la cámara #1030, la cual conecta con las cámaras de la zona 12. La Figura 32(b) indica la posición de una tubería de hormigón que sale de un muro de contención, esta tubería desfoga agua hacia el camino peatonal que tiene una inclinación. Con el fin de evitar inundaciones en ese espacio, está el interceptor que logra drenar el agua de esa superficie, Figura 32(c).

Figura 31

Mapa del drenaje pluvial de la zona 11



Nota. Ubicación y códigos de identificación para: cunetas, cámaras de inspección y edificaciones.

En cuanto al único canal que se encuentra en esta zona que es *RF3*, se evidencia en la Figura 33 (b) que llega a intersectar con el canal *RF1*, el cual proviene de la zona 13. A través de una tubería subterránea de 26 pulgadas se da el paso para el flujo que aportan los canales *RF3* y *RF1*. A partir de esta tubería inicia el tramo con código de identificación *SC*, el cual llega hasta la entrada del cruce vial *CV5*.

En la Figura 32 se muestra que esta intersección se da en la parte posterior de la cafetería *Sweet & Coffee*, sector por el cual se sabe que llega a inundarse en la época de precipitaciones, Figura 2 (b), lo que indica que el drenaje en esta área no está funcionando adecuadamente. Esta información fue notificada por personas de la comunidad estudiantil y administrativa de la universidad que fueron entrevistados durante el trabajo de campo.

Figura 32*Canales del drenaje pluvial de la zona 11*

Nota. (a) Canal con código de identificación *RF3*; (b) Tubería que unifica los canales *RF3* y *RF1*.

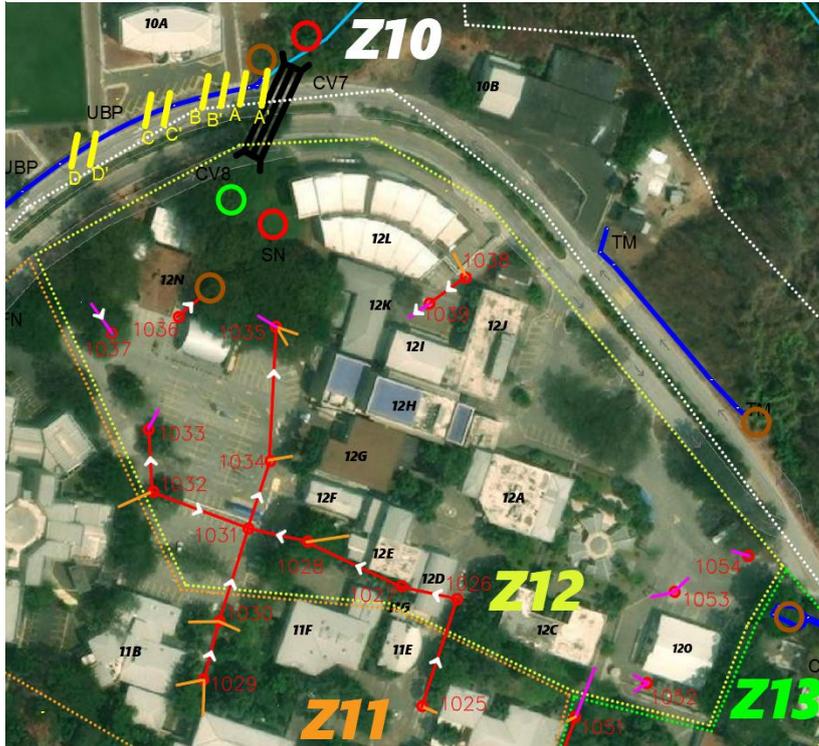
2.5.8 Zona 12

Esta área es llana en su distribución geográfica al igual que la zona 11, razón por la cual el drenaje pluvial constituido principalmente por cámaras debe funcionar correctamente a gravedad. Tomando de referencia la Figura 21 para la lectura de la Figura 34, se tiene que, esta zona tiene un total de 15 cámaras, de las cuales se desconoce la conexión por medio de los colectores entre algunas de ellas (*#1033*, *#1035*, *#1037*, *#1039*, *#1052*, *#1053*, *#1054*). Lo que indica que existen cámaras perdidas de las cuales tampoco hay un registro previo para determinar su localización, de modo que la forma de encontrarlas es por medio de un rastreo exhaustivo y extenso en tiempo.

Con el trabajo de campo en topografía se logró determinar la dirección del flujo, el cual converge en la cámara *#1031*, la cual recibe 3 tuberías de entrada como se aprecia en la Figura 34. Su tubería de salida dirige el flujo hasta llegar a la cámara *#1035* que desemboca al terreno natural. También se comprobó que el sistema cuenta con pendientes adecuadas para los colectores. Sin embargo, la mayoría de las cámaras se encontraban azolvadas por lo cual deben ser limpiadas para evitar atascos.

Figura 33

Mapa del drenaje pluvial de la zona 12



Nota. Ubicación y códigos de identificación para: cámaras de inspección y edificaciones.

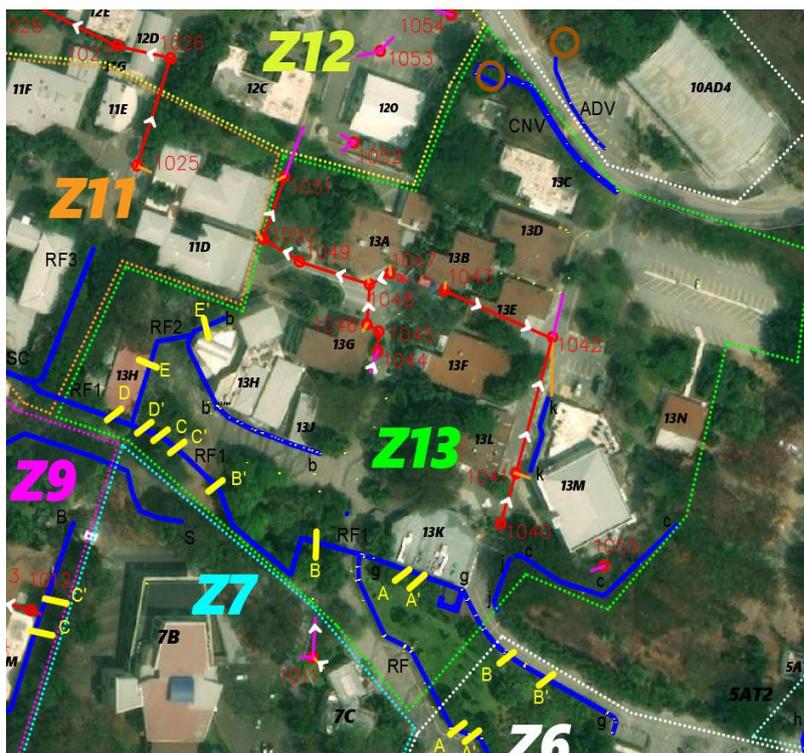
En esta zona también se encontraron cámaras con la nomenclatura errónea, es decir que, al abrirlas, su contenido no correspondía a al drenaje de aguas lluvias “AA.LL”. También, se encontró una cámara con servicio mixto, es decir que se conectaba el alcantarillado pluvial y sanitario, Figura 74(d). Por último, solamente el bloque 12L está ubicado en la parte más elevada de esta zona y en su lateral se encuentra una entrada al cruce vial CV9, que es de sección circular pero esta oculto por la vegetación, Figura 75(a). Este espacio es una extensa área verde que contiene un canal muy irregular en su estructura debido al deterioro por la falta de mantenimiento. También está la salida de un cruce SN del cual se desconoce su entrada, Figura 75(b) sección de anexos.

2.5.9 Zona 13

Esta zona tiene elevaciones prominentes en las áreas donde hay presencia de canales, mientras que en donde se ubica el circuito de cámaras de inspección el terreno es más llano, véase la Figura 34. Durante la exploración de campo se encontraron 13 cámaras de inspección, que conforman dos circuitos según la dirección del flujo. La primera ruta inicia con la cámara #1040 y culmina con la #1042, pero se desconoce en donde llega la tubería de salida de esta última. La segunda ruta inicia con la cámara #1044 y termina en la #1051, sin embargo, no se sabe la procedencia de la tubería de entrada y salida para entender el cierre de este circuito.

Figura 34

Mapa del drenaje pluvial de la zona 13



Nota. Ubicación y códigos de identificación para: canales, cunetas, cámaras de inspección y edificaciones.

Las cámaras de esta zona se encontraban azolvadas y 11 de ellas tienen tapas rejilla lo que permite la recolección del escurrimiento superficial. Las 2 cámaras restantes tienen

tapas sin aberturas, por ejemplo, la cámara #1050 de la Figura 3 muestra la intervención del sistema de riego en el drenaje pluvial, esta manguera ha sido notada dentro de las cámaras #1049 y #1048, pero su recorrido es desconocido. Adicionalmente, la cámara #1051 de la Figura 76(a) de los anexos, se encuentra enterrada por tierra en el área verde lateral al bloque 13A. Se presume que al igual que esta cámara, habrá otras escondidas que no fueron halladas durante la exploración de campo.

Respecto a los canales de esta zona, en la Figura 35(a), se muestra el tramo A-A' del canal identificado como g, cuyo inicio parte desde la elevada zona 6 como una cuneta tal y como indica la Figura 60 (b). Es decir que, se presenta una irregularidad de geometría ya que inicia como cuneta de sección triangular, pero termina como canal trapezoidal de manera que aumenta sus dimensiones. En la Figura 35(b), se observa el final de este canal g intersecando con el canal *RF* que también procede desde la zona 6 como indica la Figura 60 (a). La unión de estos dos canales tiene su desfogue por medio de una tubería de 24 pulgadas denominada como la tubería de salida "A". Cabe recalcar que, en las Figuras recientemente mencionadas, se evidencia la falta de limpieza y presencia de obstrucciones que tienen estos canales.

Figura 35

Canal g del drenaje pluvial de la zona 13



(a)



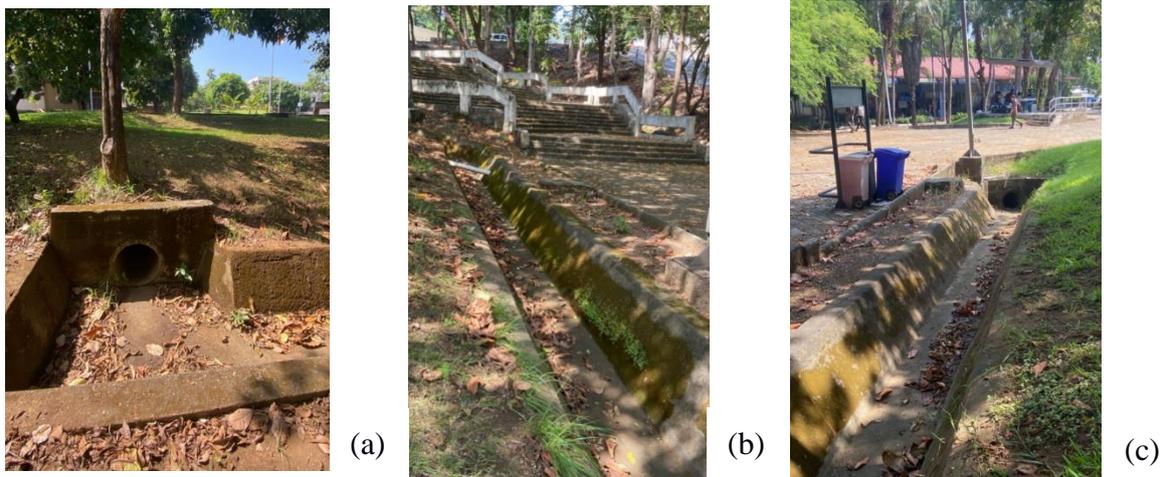
(b)

Nota. (a) Tramo A-A' del canal g; (b) Tubería de salida "A" en la intersección entre canal g y *RF*.

En continuación, se encuentra el tramo B-B' ilustrado en la Figura 37, en donde el flujo que evacuó a través de la tubería de salida "A", ingresa por la tubería de entrada "B" de la Figura 37 (a). El agua precipitada debe seguir su ruta de descenso en este canal *RFI* hasta la siguiente tubería de salida "C". En la Figura 37 (b) se exponen las obstrucciones, como el cruce de otro sistema a través de una tubería y la presencia de azolve.

Figura 36

Tramo B-B' del canal RFI del drenaje pluvial de la zona 13



Nota. (a) Tubería de entrada "B" para el canal *RFI*; (b) Canal *RFI* con obstrucciones; (c) Tubería de salida "C" para el canal *RFI*.

La ruta del canal *RF1* prosigue en el tramo C-C' mostrado en la Figura 38, el agua que sale por la tubería "C", ingresa por la tubería de entrada "D" hasta evacuar por la tubería de salida "E". Adicionalmente, en la Figura 37(b) se refleja la presencia de la manguera del sistema de riego ingresando por la tubería. El trayecto del canal *RF1* prosigue en el tramo D-D' de la Figura 39, con la particularidad de que el flujo pasa hacia un canal cerrado, Figura 39 (a). Esto debido a que en el lado lateral se encuentra una edificación destinada al uso común y frecuente de los estudiantes, razón por la cual el canal tiene una cubierta superior que permite el libre tránsito de estos. Luego, el flujo continúa por el canal trapezoidal *RF1*, que al ir con una pendiente más pronunciada, ya no posee la cobertura superior, tal y como muestra la Figura 39 (b). Este canal *RF1* termina por converger con el canal *RF3* de la zona 11, de modo que el flujo se traspasa hacia el canal *SC*, véanse las Figuras 32 y 33 para una mejor comprensión.

Figura 37

Tramo C-C' del canal RF1 del drenaje pluvial de la zona 13



Nota. (a) Tubería de entrada "D" para el canal *RF1*; (b) Tubería de salida "E" para el canal *RF1*.

Figura 38

Tramo D-D' del canal RF1 del drenaje pluvial de la zona 13



Nota. (a) Canal cerrado *RF1*; (b) Continuación del canal *RF1*.

Es importante destacar que el canal *RF1* recibe la aportación de dos canales que son *b* y *RF2*, tal y como se muestra en la Figura 39. Lo recolectado por el canal *b*, es evacuado a través de una tubería de 18 pulgadas, Figura 40 (a), luego es transportada hacia el canal cerrado *RF2* de la Figura 40 (b). El canal *RF2* se conecta lateralmente al canal *RF1* de la Figura 39(a) y tienen la misma sección transversal, se encuentran embaulados para facilitar la circulación de los estudiantes por esa área.

Figura 39

Tramo E-E' que incluye los canales RF2 y b del drenaje pluvial de la zona 13



Nota. (a) Tubería de desfogue del canal *b*; (b) Canal cerrado *RF2*.

2.5.10 Zona 14

Esta zona se ubica frente al lago del campus y además está lejana al resto de zonas por lo cual goza de una extensa área verde en sus alrededores, véase la Figura 14. Es decir que, no comparte su drenaje pluvial con otra zona, entonces sus desfuegos son hacia el terreno natural o al lago del campus como se aprecia en la Figura 40. El canal *f* evacúa hacia el terreno natural tal como ilustra la Figura 77(a), este canal es cerrado ya que posee una cubierta superficial, debido a la necesidad que se tiene para que los estudiantes y personal administrativo caminen libremente por esa área. Sin embargo, existe una intersección entre los canales *f* y *e* que se muestra en la Figura 77(b), también hay una intersección con la cuneta denominada *FCI*. Por otro lado, la cuneta *FCD* termina su recorrido desfogando directamente hacia el lago tal y como se ilustra en la Figura 78, que además se ve la presencia de obstrucciones de hojas secas.

Figura 40

Mapa del drenaje pluvial de la zona 14



Nota. Ubicación y códigos de identificación para:
canales, cunetas, cámaras de inspección y edificaciones.

En cuanto a las cámaras de inspección, se encontraron 11 durante la exploración de campo alrededor del bloque 14A. Todas las cámaras tienen cubierta de tipo rejilla longitudinal lo permite la recolección del escurrimiento superficial, también recogen lo aportado por las tuberías bajantes de esta edificación. Los colectores de estas cámaras no permiten la transportación adecuada del flujo dado que se encontró que ninguna cámara cuenta con una tubería de salida colocada adecuadamente.

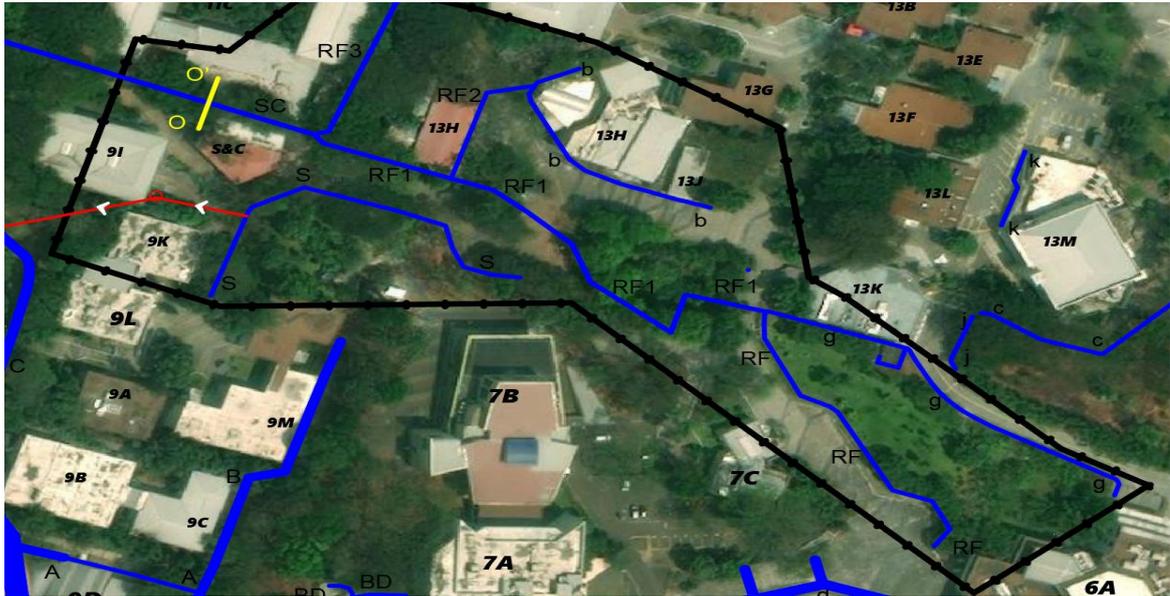
Dicho de otro modo, todos los colectores tienen sus tuberías por encima del fondo de la cámara, lo que no permite el transporte del fluido provocando el estancamiento del agua almacenada. Esto se evidencia en la Figura 79(b), en donde se observa la conformación de vegetación debido al agua contenida por un prolongado tiempo, que además no puede desfogar. Las Figuras 78, 79 y 80 están en la parte de anexos. A pesar de todo lo previamente mencionado, esta zona no cuenta con inconvenientes en el funcionamiento de su sistema de drenaje, es decir que no se han reportado inundaciones durante las épocas de precipitaciones.

2.5.11 Área de la problemática

Por medio del exhaustivo análisis para cada una de las diez zonas que comprenden el área de estudio, se ha logrado concretar que, hay un circuito de canales que requieren de una solución urgente. Esto porque se han reportado eventos de inundación superficial durante el periodo de lluvias, lo que implica que el drenaje en determinado punto no está funcionando adecuadamente.

Figura 41

Mapa del área de la problemática



Nota. Canales delimitados por un polígono negro que encierra el área que presenta problemas en el drenaje pluvial.

Como indica la Figura 41, el circuito de análisis empieza desde los canales *g* y *RF* que inician desde la zona 6 en las elevaciones de 98.083 y 97.477 m.s.n.m. respectivamente, Figura 24. Luego descienden hasta la zona 13 en donde convergen y se unifican a través de una tubería subterránea de la cual surge el canal *RF1* a una cota de 89.667 m.s.n.m., Figura 39(b). La zanja *RF1* continua en varios tramos con obstaculizaciones como se muestra en las Figuras 38 y 39, para después recibir las aportaciones de los canales *RF2* y *b* en la cota 81.720 m.s.n.m.

Posterior a lo mencionado, se recibe otra contribución por parte del canal *RF3* que inicia en la zona 11, esto lo hace en una elevación de 76.605 m.s.n.m. Adicionalmente, el canal *S* que desciende desde la zona 7 hasta la 9, conecta su cota más baja (77.659 m.s.n.m.) con la tubería de la Figura 32(b), que, a su vez es el colector de entrada de la cámara #1024 que desfoga hacia el canal principal.

Figura 42

Desfogue en el tramo O-O' del drenaje pluvial del área de la problemática



Nota. Tuberías que desfogan al canal SC.

En el punto de convergencia entre el canal *RF1* y *RF3*, está la tubería que se visualiza en la Figura 33 (b). Es ahí donde se reportan las inundaciones que afectan a las edificaciones aledañas, principalmente a la cafetería *Sweet & Coffee* y los bloques identificados como *9I* y *9K*, en donde se ha registrado que el agua que desborda de los canales ingresa a las instalaciones. Esta situación implica que el flujo no entra por la tubería correctamente. Ya que no se realiza su desfogue hacia las tuberías del tramo O-O' que se ilustran en la Figura 86 y su geolocalización en el mapa están en la Figura 42. Así mismo, el canal *S* y su conexión con la cámara #1024 no están trabajando idealmente.

En resumen, los territorios de análisis para esta problemática son las zonas 6, 7, 9, 11 y 13. Esto es porque en estas áreas se inician, desarrollan y culminan los canales, más la

cámara de inspección relacionados a los acontecimientos de inundaciones que fueron reportados durante las entrevistas en el trabajo de campo (Figura 2 b).

2.5.12 Microcuencas

Para este proyecto es necesario delimitar las microcuencas hidrográficas. Esta información fue obtenida por la GIF ESPOL, (Figura 43), personal que ejecutó esta delimitación a partir de las curvas de nivel del terreno y con ayuda de un software de sistemas de información geográfica (SIG). Esto permitió estimar la relación lluvia-escorrentía, identificando datos como el área de drenaje, la escorrentía superficial y la cantidad de agua infiltrada. En la Tabla 4 se encuentran las microcuencas con su respectivo código de identificación, el área medida en hectáreas y la pendiente para cada una. Son un total de 7 microcuencas por las cuales se encuentran situados los canales involucrados en la problemática.

Tabla 4

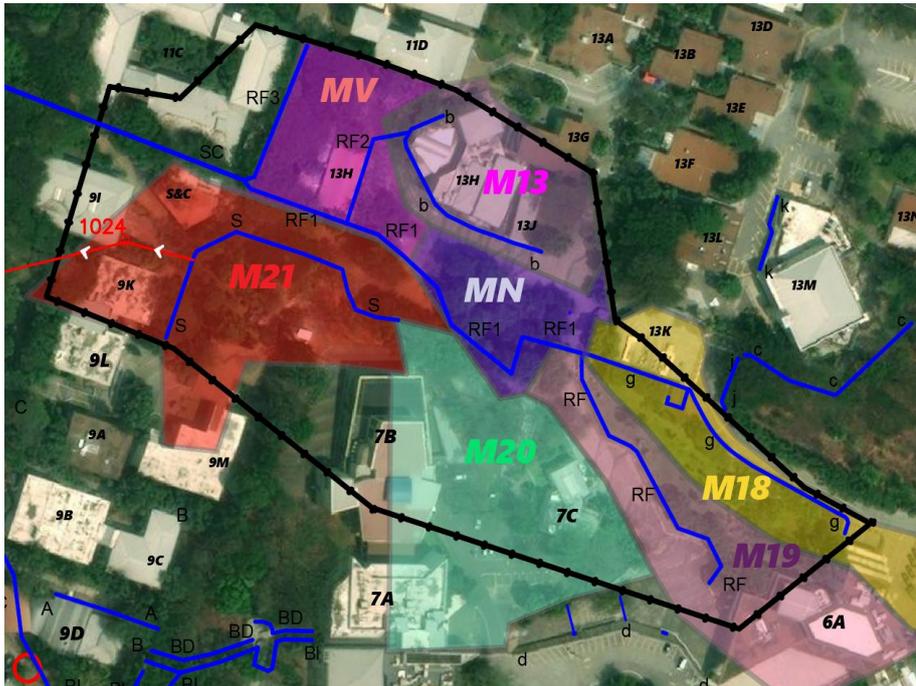
Microcuencas con su respectiva área en hectáreas.

Microcuenca	Área (Ha)	Pendiente (%)
MN	0.24	0.10
MV	0.27	0.02
M13	0.41	0.05
M18	0.56	0.03
M19	0.64	0.06
M20	0.80	0.03
M21	0.84	0.09

Nota: Tabla realizada por autoras (2024).

Figura 43

Mapa del área de la problemática con microcuencas



Nota. Delimitación de las microcuencas para el área de la problemática.

2.5.13 Modelación en el software: *Storm Water Management Model (SWMM)*

El software SWMM es un simulador dinámico de lluvia-escorrentía que permite estimar la cantidad y calidad de agua escurrida en eventos únicos o continuos de áreas urbanas. Es decir que requiere de módulos hidráulicos e hidrológicos para el modelamiento de sistemas de drenaje pluvial (Assaf et al., 2024). La escorrentía superficial se delimita utilizando las subcuencas que acaparan el total de la precipitación y la transportan hacia el sistema de canales y tuberías que conforman el alcantarillado de aguas lluvias.

Este programa sirvió para determinar: zonas de inundación, dimensionamiento de elementos del sistema de drenaje, capturar y retener la precipitación. Esto bajo la filosofía *Low-Impact Development (LID)*, también conocidos como Sistemas de Drenaje Sostenibles (SDS), que permite a ingenieros y planificadores evaluar los efectos de las medidas sostenibles a partir de sistemas de drenaje convencionales (Yang et al., 2023). Este programa recurre a criterios como las características de las microcuencas, coeficiente de rugosidad,

método de infiltración, intensidad de precipitación (Curvas IDF) y dimensionamiento geométrico de elementos del drenaje.

2.6 Análisis de alternativas

En esta sección se describe la formulación de las diferentes alternativas de solución del problema, la descripción, métrica de evaluación y selección de la mejor alternativa.

2.6.1 Alternativas

- Alternativa 1: Mantener el sistema actual o *Business As Usual* (BAU)

Esto involucra preservar la infraestructura actual de canales, pozos de inspección y tuberías ya sean bajantes o colectores. Esto con la finalidad de evidenciar la contribución inicial de la infraestructura.

- Alternativa 2: Soluciones grises

Esta alternativa tiene como objetivo la implementación de elementos nuevos que capten y controlen el agua que fluye como escorrentía superficial. Como se detalló en la revisión de literatura, las rejillas longitudinales o interceptores, son estructuras convencionales para los sistemas de drenaje y se catalogan como infraestructura gris que ayudan con la finalidad mencionada. Estos elementos se ubicarán estratégicamente en zonas críticas del sistema de drenaje pluvial con el fin de redirigir el flujo hacia los canales existentes. Su mantenimiento incorpora actividades como una limpieza periódica, inspecciones regulares para corregir a tiempo daños u obstrucciones.

- Alternativa 3: Soluciones grises-azules-verdes

Esta opción conlleva la implementación de interceptores que trabajen conjuntamente a las infraestructuras verdes-azules, como lo son el jardín de

lluvia y pavimento permeable, permitiendo la captación, almacenamiento y reutilización de aguas pluviales.

2.6.2 Métrica de evaluación

Para la medición de las alternativas, es necesario aplicar criterios técnicos, sociales, económicos y ambientales importantes para el sistema de drenaje pluvial:

2.6.2.1. Criterios técnicos

➤ Capacidad de almacenamiento

La alternativa 3, de soluciones verdes-azules, tendría una capacidad de almacenamiento mayor. Tal aseveración es porque las soluciones verdes-azules se diseñan para captar y retener el agua de lluvia, reduciendo la carga en el sistema de alcantarillado y almacenando esta agua por un tiempo en eventos extremos de lluvias. De lo contrario la alternativa de mantener el sistema actual no cuenta con capacidad de almacenamiento.

➤ Operación y mantenimiento

En cuanto a la operación y mantenimiento, las alternativas 1 y 2 implican una menor complejidad en comparación con la alternativa 3 que incluyen medidas grises y soluciones verdes-azules. Sin embargo, requieren mantenimiento más seguido que las Soluciones grises-azules-verdes.

2.6.2.2. Criterios sociales

➤ Visualmente atractivo

La alternativa 3, que combina rejillas longitudinales con soluciones verdes-azules, tiende a ser más visualmente atractiva debido

a su diversidad de elementos como las zonas con vegetación del jardín de lluvia y pavimentos permeables que podrían implementarse con colores. Esto no mejora solo la estética del campus, sino que también proporciona zonas más agradables para la comunidad universitaria, contribuyendo a la biodiversidad local.

- No interfiere con las actividades de la comunidad

La alternativa 1 se llevaría a cabo con mínimas interrupciones en cuanto a las actividades cotidianas de la comunidad universitaria, debido a que no requiere de trabajos de construcción grandes, ni cambios radicales en la infraestructura. Las alternativas 2 y 3 conllevan la incorporación de rejillas longitudinales nuevas en conjunto de soluciones verdes-azules, lo que involucra obras de construcción que interferirían con las actividades diarias temporalmente.

2.6.2.3. Criterios económicos

- Análisis costo-beneficio considerando riesgos evitados

La alternativa 3 cuenta con un análisis costo-beneficio más favorable en comparación a las otras opciones cuando se consideran los riesgos evitados. Esto se debe a que estas soluciones pueden reducir significativamente los riesgos asociados con inundaciones. Además, las soluciones verdes y azules proporcionan beneficios sustanciales en términos de mejoras ambientales, calidad de vida y sostenibilidad a largo plazo.

- Costos de mantenimiento y operación

La alternativa 1 requiere un mantenimiento de limpieza del cual se desconoce la última vez que fue realizado. La alternativa 2

comprende costos moderados, ya que añadir rejillas longitudinales puede requerir inversiones iniciales y mantenimiento regular. La opción 3 aparenta costos de operación y mantenimiento relativamente altos debido a la necesidad de cuidar tanto las rejillas longitudinales como las infraestructuras verdes-azules, pero a largo plazo podría ofrecer beneficios que compensen estos costos a través de la mejora en la gestión del agua pluvial y la reducción de riesgos asociados.

2.6.2.4. Criterios ambientales

➤ Gestión sostenible del agua

La alternativa 3 es la más favorable para la gestión sostenible del agua. Esta combinación permite una mejor gestión de las aguas pluviales, reduce la escorrentía superficial, mejora la calidad del agua y promueve la recarga de acuíferos, al tiempo que ofrece beneficios ecológicos. La alternativa 1 es la menos favorable en términos de sostenibilidad, ya que probablemente no aborda adecuadamente los desafíos actuales y futuros relacionados con el agua de las precipitaciones.

➤ Mitigar impactos negativos ambientales directos e indirectos

La alternativa 3 es la más favorable ya que las soluciones verdes-azules, ayudan a reducir la escorrentía superficial y aumentan la infiltración de manera que se recargan los acuíferos. Además, mitiga los riesgos de inundaciones lo que afecta al entorno afectado.

Tabla 5*Métrica de evaluación de la escala de Likert.*

Totalmente favorable	Parcialmente favorable	Ni favorable, ni desfavorable	Parcialmente desfavorable	Totalmente Desfavorable
5	4	3	2	1

Tabla 6*Escala de Likert.*

Sistema de drenaje pluvial	Puntaje		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Consideraciones Técnicas			
Capacidad de almacenamiento	1	3	5
Operación y mantenimiento	4	3	5
Consideraciones Sociales			
Visualmente atractivo	1	2	5
No interfiere con las actividades de la comunidad	4	3	2
Consideraciones Económicas			
Análisis costo-beneficio	3	4	5
Costos de mantenimiento y operación	2	3	4
Consideraciones Ambientales			
Gestión sostenible del agua	2	3	5
Mitigar impactos negativos ambientales directos e indirectos	1	4	5
TOTAL	18	25	36

La opción 3 de Soluciones grises-azules-verdes, según la Escala de Likert es la más conveniente para el proyecto. Se destacó en diferentes puntos fundamentales:

- Capacidad de almacenamiento: Posee una mayor capacidad de almacenamiento de agua pluvial, lo que permite la gestión eficiente de los recursos hídricos, a su vez disminuir los riesgos de inundación.
- Operación y mantenimiento: Requiere menos mantenimiento en comparación a las otras alternativas.
- Visualmente atractivo: Mejora los alrededores al incorporar componentes verdes, lo cual es estéticamente ventajoso.
- Análisis costo-beneficio: Aunque cuenta con costos de operación y mantenimiento mayores, los beneficios a largo plazo en los ámbitos de la sostenibilidad, como en lo social con disminución de riesgos y con ventajas medioambientales .
- Gestión sostenible del agua: Provee un manejo sostenible del agua.
- Mitigar impactos negativos ambientales directos e indirectos.

Capítulo 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1 Diseños

3.1.1 Determinación de sistema de drenaje a modelar en software

Para el diseño de la alternativa 3, que requiere el adoptar medidas grises con soluciones verdes y azules, primero se determinó las zonas del area de estudio con una mayor necesidad de intervención que son las zonas 6, 7, 9, 11 y 13 como se muestra en la Figura 13. Estas zonas son las que han presentado problemas de inundación en periodos de lluvias, según la información obtenida por el cliente, literatura previa y la comunidad universitaria durante el trabajo de campo.

3.1.2 Parámetros requeridos para el modelado en software

3.1.2.1. Microcuencas

Para ingresar en el software las microcuencas que fueron obtenidas por GIF ESPOL, fue necesario tener información sobre estas. Las pendientes fueron obtenidas con la ayuda de Google Earth Pro. Esto que permitió conocer las cotas y la distancia dentro de la microcuenca, dando como resultado el valor de su pendiente en porcentaje, como se muestra en la Tabla 4. En la Figura 80, ubicada en los anexos, se muestra los datos ingresados en el software SMWW para la microcuenca denominada M18, donde se especificó el pluviómetro y el punto de desfogue

3.1.2.2. Precipitación

Los datos de lluvia fueron obtenidos a partir de las curvas IDF que se muestra en la Figura 9 (a). De forma más específica se consideró las intensidades de lluvia para un periodo de retorno de 10 años y estos fueron

ingresados al programa para una duración de tormenta de 2 horas, como se observa en la Figura 81. Por último, el software también presenta un gráfico de la intensidad de lluvia vs tiempo (Figura 82).

3.1.2.3. Método de infiltración

Para la modelación del sistema de drenaje pluvial también fue necesario determinar cuál será el modelo de infiltración. Para este proyecto se utilizó el método de número de curva (CN) en el que se empleó 3 parámetros: el número de curva, la conductividad y el tiempo de secado. El número de curva se definió con un valor de 79, tomando como guía el Manual de Usuario de SWMM. Esta estimación se la obtuvo según el tipo de suelo y su uso (véase Figura 84), que en este caso es de tipo C. Tal clasificación (Figura 83) implica un suelo arcilloso con tasa de infiltración baja cuando está completamente saturado. El segundo parámetro fue la conductividad que obtuvo un valor de 0.5 mm/h y, por último, el tiempo de secado, que es el tiempo que requiere el suelo que está completamente saturado para que se seque, fue determinado con un valor de 7 días, ya que el tiempo de secado va entre 2 y 14 días, así que decidimos escoger un valor intermedio.

3.1.2.4. Información de canales actuales

Las características geométricas de los canales involucrados en el área de la problemática se encuentran en la Tabla 21 en los anexos. La información de los canales para ingresar en el software se refiere a las abscisas, forma de la sección, longitud, dimensiones del canal, cotas y coeficientes de rugosidad. Estos datos fueron obtenidos por GIF ESPOL y de manera complementaria se obtuvo ciertas cotas con Google Earth Pro.

Por otro lado, en la Figura 85 se presentan los coeficientes de Manning para los canales del sistema de drenaje pluvial que son de hormigón, por esta razón se los representó con un valor de 0.013. Sin embargo, para considerar las obstrucciones que presenta este sistema se colocó un valor de 0.04, debido a que en ciertas zonas hay acumulación de vegetación. En la Tabla 7 se presenta más información importante y específica sobre los canales del área de la problemática como su ubicación, estado y observaciones generales.

Tabla 7

Estado de los canales del sistema de drenaje.

Código de identificación del canal	Ubicación	Estado	Observación
SC	Edificio 11C, intercepta con tramo CG	Bueno	Superficie empedrada, canal requiere labores de limpieza, presenta daño puntual.
RF	Rectorado	Bueno	Canal en buen estado; sin embargo, presenta fisura y un daño puntual en la estructura.
RF1	Parte baja de Rectorado	Bueno	Canal con tres cruces peatonales; presenta azolve y obstrucción de otros sistemas (riego y telecomunicaciones)
RF2	Edificio 13H	Bueno	Canal en buen estado
RF3	Entre edificio 13H y 11C	Bueno	Se requiere limpieza debido a presencia de hojas

g	Parte posterior de rectorado	Regular	Presenta daño en la unión entre el canal y la losa asfáltica. hay presencia de grietas.
b	Edificio 13J y 13H	Regular	Presencia de fisuras en tramos del canal, además de musgo debido a la humedad del sitio.
S	Frente a Sweet & Coffee y 9K	Regular	La mayor parte del canal contiene musgo debido a la humedad, además de que se encuentran grietas, fisuras y alto contenido de hojas.

Nota: Tabla realizada por GIF ESPOL y modificada por autoras (2024).

3.1.3 Modelado de alternativas en software

A pesar de que la alternativa 3 fue la mejor ponderada según la Escala de Likert, es necesario modelar la alternativa 1, ya que representa el sistema actual, del cual debe partir el modelado de la alternativa 3. También se debe simular la alternativa 2, debido a que tuvo una buena ponderación según la Tabla 6, por lo cual para un análisis más refinado, es necesario contrastar los resultados que tiene la alternativa 2 en comparación a la 3 en temas de operabilidad y presupuesto. Para cada alternativa, se obtuvo por medio del software los valores de inundación en términos de hora (h), tasa o caudal (m^3/s) y altura (cm).

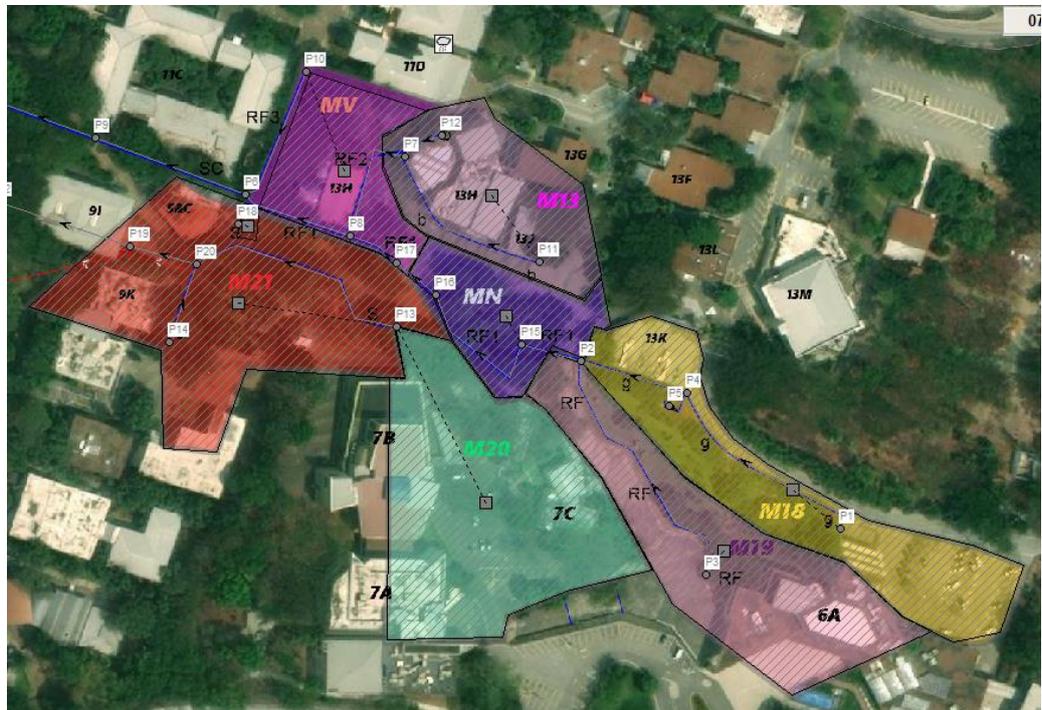
De esta forma es posible establecer en qué zonas específicamente se deben aplicar las soluciones, tomando en cuenta la Figura 13 que muestra la extensa longitud y cantidad de canales involucrados en la problemática. Cabe recalcar que, tal y como se mencionó en el apartado 3.1.2.4, el modelado para las tres alternativas parte de las condiciones críticas actuales de operación (alternativa 1), es decir, el sistema de drenaje vigente para la fecha en que se modeló, que no cuenta con mantenimiento de limpieza ni de restauración, Tabla 21.

3.1.3.1. Modelado de alternativa 1: Business As Usual (BAU)

Una vez ingresados todos los datos del apartado 3.1.2 se tiene una representación del sistema actual como se observa en la Figura 44. En donde se visualiza la modelización del drenaje superpuesto a la imagen satelital del área de la problemática. La esquematización que utiliza SWMM es por medio de círculos grises o nodos que identifican entradas, conexiones y cambios de secciones, mientras que los cuadrados y líneas diagonales grisáceas representan las microcuencas, nanocuencas y su delimitación de área. Además, los canales en el software se ven reconocidos por las líneas grises que siguen la secuencia de las líneas azules de la imagen satelital. En otras palabras, los elementos grisáceos de círculos, cuadrados y líneas son los objetos visuales en lo que se ingresan los parámetros que requiere el programa.

Figura 44

Modelado en el software SWMM de la alternativa 1, BAU



Los resultados del primer modelamiento indicaron que el drenaje funcionaba adecuadamente incluso con las consideraciones críticas previamente mencionadas. Esto no refleja lo que sucede en la realidad, razón

por la cual, para que el software interprete las inundaciones que ocurren, se insertó un nodo como indicador (P18) para medir la cantidad de escorrentía superficial acumulada. El valor de entrada para este nodo es un área (0.18 ha) que fue obtenida con las curvas de nivel del área inundada y es representada en una nanocuenca.

Además, el software permite visualizar el perfil de los canales modelados (distancia vs elevación en metros), Figura 86 (a) y (b), esto posibilita el reconocimiento de las áreas que se inundan porque simula el comportamiento durante la precipitación. Es importante recordar que la unión de las zanjas identificadas como *RF*, *RF1*, *RF2*, *RF3*, *b*, *g* y *SC* conforman todo un trayecto. Por otro lado, el canal *S* y su unión a la cámara #1024 constituyen otro tramo.

Por otro lado, la Figura 88, muestra la cuantificación de la escorrentía superficial para las micro y nanocuenas. Cabe mencionar que la inclusión de nanocuenas fue fundamental para ejemplificar la aportación de una limitada área de microcuenca en función de las curvas de nivel. Finalmente, la Figura 89 (a), (b) y (c) expone las horas (h), tasas o caudal (m^3/s) y altura (cm) de inundación respectivamente, y se encuentra en la sección de anexos.

3.1.3.2. Modelado de alternativa 2: Soluciones grises

Las soluciones grises implican la utilización de elementos del drenaje pluvial comunes como lo son las rejillas longitudinales o sumideros. Para la simulación de las rejillas longitudinales en el software, fue necesario crear un conducto, representado como una línea grisácea, por el cual se conectan nodos que a su vez reciben como dato de entrada las aportaciones de nanocuenas.

Como se muestra en la Figura 46, se tuvo que incorporar 20 rejillas

longitudinales para disminuir los parámetros de inundación en términos de hora, tasa y altura en comparación a la alternativa 1, Figura 90 (a), (b) y (c) en la sección de Anexos.

La ubicación de las rejillas longitudinales estuvo limitada por las condiciones topográficas del territorio, es decir, la posibilidad de que el agua captada por la rejilla longitudinal ingrese en el canal circundante de manera que este empiece a trabajar con su finalidad de transportar la escorrentía superficial. Tomando en cuenta las geometrías transversales de los canales, se estimó una profundidad estándar para las rejillas longitudinales de 50cm, asegurando que estas puedan empatar su conexión con los canales. Para esto se utilizó una pendiente de 1% y se determinó las cotas y longitudes mediante la ortofoto y Google Earth Pro. Adicionalmente, las Figuras 91 y 92 indican el perfil de los canales y valores de escorrentía superficial respectivamente para esta alternativa de soluciones grises.

Figura 45

Modelado en el software SWMM de la alternativa 2, Soluciones grises



3.1.3.3. Modelado de alternativa 3: Soluciones grises-azules-verdes

Esta alternativa implica el complemento en utilidad de las rejillas longitudinales, los jardines de lluvia y el pavimento permeable con el fin en conjunto de redirigir la escorrentía superficial hacia los canales para que trabajen. La unión de estos elementos de drenaje pluvial facilita la captación y retención temporal del agua durante el periodo de precipitación.

Para la simulación del pavimento permeable se ingresaron características de la superficie, suelo, hormigón, almacenamiento y drenaje como se detalla en la Figura 92(a), estos datos permiten simular con precisión el comportamiento hidráulico del pavimento permeable. Además, este material el diseño debe constar de un plan de mantenimiento regular y otras regulaciones medioambientales acordes a las soluciones verdes-azules planteadas en el proyecto.

Por otro lado, el jardín de lluvia con celda de almacenamiento es señalado en el software como celda de biorretención (*bioswale*) Figura 92(b), ya que el funcionamiento es análogo al infiltrar el agua y luego almacenarlo. De esta solución destaca que se tiene una altura de 50 cm para sembrado del jardín y requiere de varios parámetros geotécnicos. En la interfaz del software estas soluciones no se ven graficadas ya que el computo se da a través del símbolo cuadrado gris que representa las microcuencas, Figura 47. Sin embargo, para su simulación, el software requiere de un porcentaje de área aportada ingresada en cada solución previamente, Figura 93(a) y (b).

Figura 46

Modelado en el software SWMM de la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes



Cabe destacar que en esta alternativa solo se necesitó de 2 pavimentos permeables, 3 jardines de lluvia con celda de almacenamiento y 4 rejillas longitudinales. Esto con el fin de disminuir la inundación reflejada en hora, tasa y altura con respecto a las alternativas antecesoras, Figura 94(a), (b) y (c). Adicionalmente, las Figuras 95 y 96 indican el perfil de los canales y valores de escorrentía superficial respectivamente para esta alternativa de Soluciones grises-azules-verdes.

Áreas de aplicación: A continuación, se detalla visualmente el área de aplicación de las Soluciones grises-azules-verdes con su respectiva justificación, los planos referentes a estas implementaciones se encuentran en los Anexos, que son para 2 paños de losa con pavimento permeable, 3 jardines de lluvia con celda de almacenamiento y 4 rejillas longitudinales. Cabe recalcar que la misión de estas soluciones es la de redirigir el flujo hacia los canales para que estos operen.

➤ Pavimentos permeables: PP1 y PP2

Las ubicaciones de aplicación para este elemento se basaron en el criterio de funcionalidad, es decir, que el pavimento permeable se localice en un paño de losa en las cotas más elevadas del área de la problemática. Por tal motivo, se determinó que en toda la extensión del área de la problemática sólo se pueden ubicar 2 paños de losa de pavimento permeable. De tal manera, que se debe remover el hormigón articulado que se muestra en la Figura 47 (a) y (b), para insertar el material permeable y pueda redirigir la escorrentía superficial hacia los canales aledaños a través de una tubería, lo que se ejemplifica de mejor forma en el Planos 2 y 3.

El pavimento permeable identificado como PP1, se ubica en el sector de Rectorado, cuya cota máxima es de 101 m.s.n.m., Figura 86 (a). Esto para redirigir el flujo captado hacia el canal más cercano que es el *RF*, ya que como indica la Figura 86 (a), este canal no recibe aportaciones de escorrentía superficial en su extremo derecho debido a la presencia de bordillos.

Así mismo, el pavimento permeable identificado como PP2, Figura 47 (b), con una cota aproximada de 90 m.s.n.m., debe conducir el flujo hacia el canal *b* que se encuentra lateral al edificio 13H, además, en la Tabla 8 se encuentra las dimensiones para la aplicación del pavimento permeable. Finalmente, se consideró que no existen más locaciones en el

área de la problemática donde sea factible ubicar más pavimento permeable.

Figura 47

Ubicaciones para pavimentos permeables, Soluciones grises-azules-verdes



(a)



(b)

Nota. (a) Pavimento permeable PP1; (b) Pavimento permeable PP2.

➤ Jardines de lluvia: JL1, JL2 y JL3

Los jardines de lluvia fueron planteados para retener el agua de las lluvias, por medio de la implementación de celdas de almacenamiento, para su posterior desfogue controlado.

Debido a esto, el criterio para identificar las zonas de aplicación para los jardines lluvia, fue el de la colocación mínima de 8.50

m² para la jardinera. Esto con el fin de obtener el mejor rendimiento según las especificaciones técnicas de las celdas, las cuales se asientan por debajo de la jardinera con plantas ornamentales, como se visualiza en los Planos 4 y 5 en los Anexos. Adicionalmente, es necesario contar con un área para el desfogue del agua almacenada, esta sección debe tener acceso libre para utilizar en agua almacenada o desahogarla hacia el canal más cercano

Entonces se determinó que las únicas ubicaciones para los jardines de lluvia son; JL1 lateral al edificio 7C, Figura 49 (a), con una elevación de 94 m.s.n.m.; JL2 se sitúa entre el local *Sweet & Coffee* y el edificio 11C a una cota de 76 m.s.n.m., Figura 49 (b); Finalmente, JL3 se ubicó en cercanía al canal S, Figura 49 (c), a 82 m.s.n.m. de elevación.

Además, en la Tabla 8 se encuentra las dimensiones para los jardines de lluvia, se incluye en la profundidad, la tierra de sembrado y la altura de la celda de almacenamiento, términos que también están detallados en las especificaciones técnicas.

Figura 48

Ubicaciones para jardines de lluvia, Soluciones grises-azules-verdes



(a)



(b)



(c)

Nota. (a) Jardín de lluvia JL1; (b) Jardín de lluvia JL2;
(c) Jardín de lluvia JL3.

➤ Rejillas longitudinales: R1, R2, R3 y R4

Para la colocación de las rejillas longitudinales (canaletas), se consideró que exista un paño de losa con un ancho mínima de 60 cm, debido al proceso constructivo necesario ya que como indica la Tabla 8, el ancho de las rejillas longitudinales es 30 cm. Además, la profundidad estándar para las rejillas longitudinales son 50 cm, razón por la cual, solamente se pueden ubicar cercanas a canales que permitan su conexión, de manera que el flujo captado por la rejilla longitudinal se conduzca hacia el canal. Otro factor importante es que las canaletas puedan conectarse con los canales con una pendiente mínima del 1%.

Por tales motivos, se determinó que en toda la extensión del área de la problemática sólo se pueden ubicar 4 rejillas longitudinales. La cantidad fue limitada debido a las condiciones constructivas actuales en las que se encuentra el drenaje pluvial. La primera rejilla longitudinal *R1*, Figura 50 (a), debe mandar el agua captada en la escalera hacia el canal *b*, que como indica la Figura 50 (c), existe un bordillo que imposibilita el ingreso del agua que termina empozándose en las escaleras.

La segunda rejilla longitudinal *R2*, Figura 50 (b), debe enviar el agua hacia el canal *RF3* que se encuentra entre el bloque *IIC* y la asociación de estudiantes politécnicos

(FEPOL). Por otro lado, la rejilla longitudinal R3 que se ubica en la escalera, Figura 50 (c), dirige el agua hacia el tramo inicial del canal S. Finalmente, la rejilla longitudinal R4, redirecciona la precipitación hacia el canal S, pero en un tramo posterior a la rejilla longitudinal R3.

Figura 49

Ubicaciones para rejillas longitudinales, Soluciones grises-azules-verdes



Nota. (a) Rejilla longitudinal R1; (b) Rejilla longitudinal R2; (c) Rejilla

3.1.4 Resultados

Con la modelización en software y trabajo de campo, se constató que la falta de funcionamiento de los canales para captar la escorrentía superficial, se debe a que los canales tienen obstaculizaciones para recibir el agua de las lluvias. Como se muestra en la Figura 50 (a), (b), (c) y (d), la presencia de bordillos o la ubicación elevada del canal, no permiten que estos capturen la escorrentía superficial, provocando así que no trabajen como se supone.

Figura 50

Ejemplos de complicaciones para ingreso de la escorrentía superficial hacia el canal abierto



Nota. (a) Bordillo lateral derecho en canal *RF*; (b) Continuación de canal *RF* con elevación en lateral derecho; (c) Canal *b* con bordillo en lateral derecho; (d) Canal *S* con bordillo en lateral derecho.

Por otro lado, en la Tabla 8 se muestra el resumen de los datos geométricos relacionados a cada una de las medidas verdes-azules-grises.

Tabla 8

Datos geométricos de cada solución.

Soluciones grises-azules-verdes		Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Volumen total (m ³)
	R1		7.06		2.118	1.059	
Rejillas longitudinales	R2		2.84		0.852	0.426	
	R3	0.3	4.72	0.5	1.416	0.708	3.813
	R4		10.8		3.24	1.62	
	Pavimento permeable	PP1	4	11	0.39	44	17.16
	PP2	4	10		40	15.6	
Jardín de lluvia	JL1	7.2	3.6		25.92	20.736	
	JL2	4.6	15	0.8	69	55.2	143.136
	JL3	10	8.4		84	67.2	

Nota: Tabla realizada por autoras (2024).

Para el análisis de las tres alternativas fue necesario comparar los resultados obtenidos en los incisos anteriores. Para efectuar esta comparación en la Tabla 9 y en la Figura 51 se presentan los resultados más importantes obtenidos con el software para cada una de las alternativas según sus características de inundación: horas, tasa y altura de inundación.

Tabla 9

Resultados de horas, tasa y altura de inundación por cada alternativa.

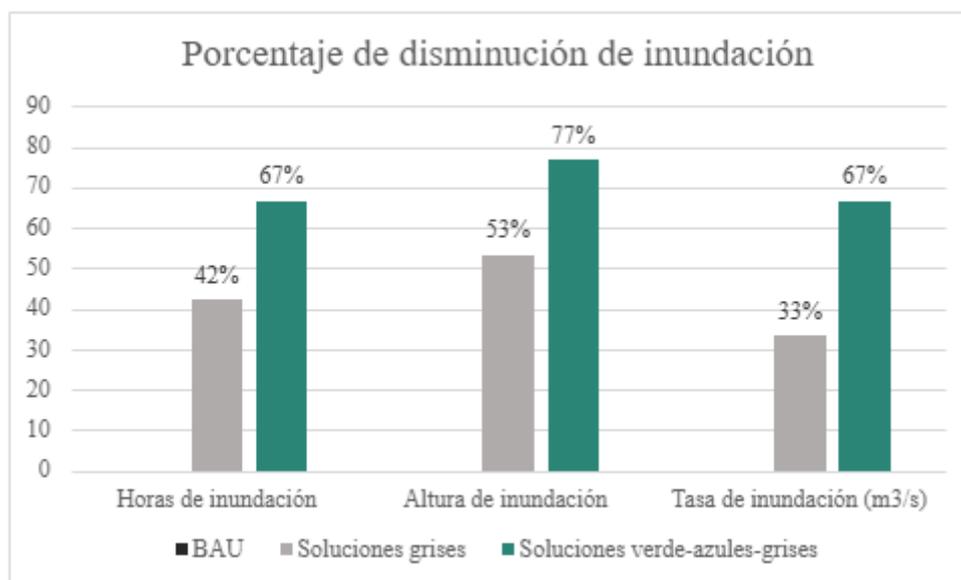
#	Alternativa	Inundación		
		Horas (h)	Tasa (m ³ /s)	Altura (cm)
1	Mantener el sistema actual / <i>Business As Usual</i> (BAU)	4.67	0.03	60

2	Soluciones grises	2.70	0.02	28
3	Soluciones grises-azules-verdes	1.56	0.01	14

Nota: Tabla realizada por autoras (2024).

Figura 51

Resultados de horas, tasa y altura de inundación por cada alternativa en porcentaje



3.1.5 Discusión de resultados

Según los datos que se observan en la Tabla 21 que proporciona información sobre el estado de canales, se puede determinar que uno de los factores que contribuyen a la existencia de estas inundaciones en el área de la problemática se debe a la falta de mantenimiento que presentan estos canales, ya que la acumulación de residuos y sedimentos provocan obstrucciones. Al analizar los datos obtenidos se constató que la zona donde se presenta la problemática es la parte más baja, ya que aquí es donde se inunda según la Figura 88 que indica que la nanocuenca N11 es la que tiene un mayor valor de escorrentía con 36.94 mm. Una de las razones por las que se da esta acumulación, es debido a que los canales no están alcanzando su capacidad límite (Figura 86). Se determina que este problema se genera porque la mayor parte de la precipitación no es capturada adecuadamente, lo que resulta en una escorrentía superficial, sumado a que la zona afectada es un área impermeable, esto es lo que finalmente origina las inundaciones.

Tal situación se reprodujo en el programa mediante un artificio aplicado en la zona de inundación en el que se implementó un pozo indicador (P18) vinculado a una nanocuenca que representa la escorrentía superficial del lugar. Como se ilustra en la Figura 88, al correr el programa el pozo en el sistema de drenaje actual posee las siguientes características de inundación: 60 cm de altura, 0.03 m³/s de tasa, 4.26 horas de inundación. Esto significa que hay una cantidad de agua considerable que no se está dirigiendo como debería ser a través del sistema de drenaje.

A diferencia de cuando se aplican rejillas longitudinales como se ilustra en la Figura 90, el pozo ahora presenta las siguientes características de inundación: 28 cm de altura, 0.02 m³/s de tasa, 2.70 horas de inundación, representando una mejora del 50% comparado con la alternativa de mantener el sistema actual. Sin embargo, al aplicar las soluciones verde-azules-grises este mismo pozo cambió sus características de inundación a: 14 cm de altura, 0.01 m³/s de tasa, 1.56 horas de inundación. Esto representa una mejoría del 70% comparado con las otras soluciones, dado que los interceptores solo captan el agua superficial, pero el pavimento permeable y el jardín de lluvia, además de interceptar el agua, también lo almacenan y provocan un retardo al enviar el agua al sistema de drenaje.

Estas características de inundación indican una capacidad insuficiente del sistema para manejar el volumen de agua en este punto, lo cual se debe a la gran cantidad de escorrentía superficial que no está siendo captada de ninguna forma. La presencia de estas inundaciones incrementa la probabilidad de erosiones en las tuberías y daños en la infraestructura existente, además de poner en riesgo el bienestar de la comunidad universitaria y el medio ambiente. Sin embargo, con estas soluciones lo que se busca es la adaptabilidad del sistema y presentar ciertas mejoras.

3.2 Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas para este proyecto se obtuvieron de diversas fuentes como lo fueron: Especificaciones Técnicas del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Manta, Especificaciones Técnicas del Ministerio del Ambiente, Especificaciones Técnicas de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) y de la Evaluación de la infraestructura física, mobiliario, sistema eléctrico y electrónico de las unidades de salud, diagnóstico y proyectos de adcentamiento. Estas especificaciones proporcionan información relevante sobre cada actividad del proyecto como su: unidad, equipos, materiales, mano de obra, forma de pago, entre otras características.

3.2.1 Rubro: Limpieza de canales

Se define a la limpieza de canales de la acumulación de residuos, estas estructuras se pueden limpiar con una escoba o con un limpiador de alta presión (presión de chorro de hasta 120 bar), en caso de suciedad persistente en toda la longitud del canal.

- Unidad: Metros lineales (m)
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón, Maestro de obra.
- Forma de pago: La limpieza de canales se medirán y pagarán por m, midiendo en obra la cantidad efectivamente realizada, previo a la aprobación del fiscalizador y al precio indicado en el contrato.

3.2.2 Rubro: Picado y levantado de hormigón que incluye desalojo

Se define como trabajos que conllevan el destrozo o rotura, de manera total o parcial, de una obra para su eliminación o cambio, los materiales retirados que no sean aprovechados serán desalojados respectivamente donde lo indique el fiscalizador.

- Unidad: Metro cuadrado (m²)

- Equipo mínimo: Combos, cinceles, picos, palas.
- Mano de obra mínima calificada: Peón, Maestro de obra.
- Requerimientos previos: Señalamientos exactos de donde se desee remover con autorización de fiscalización.
- Ejecución y complementación: El picado de hormigón, se alcanzará utilizando todo tipo de herramientas manuales que el caso amerite, este trabajo será vigilado por fiscalización; con la señalización adecuada de las áreas a removerse juntamente con fiscalización.
- Forma de pago: El picado de hormigón se medirán y pagarán por m², midiendo en obra la cantidad efectivamente realizada, previo a la aprobación del fiscalizador y al precio que conste en el contrato.

3.2.3 Rubro: Replanteo y nivelación

Se define como replanteo el trazado en el terreno, confirmación de niveles y longitudes según se determine en los planos y/o las órdenes del Fiscalizador al lugar donde se llevará a cabo la obra, como paso previo a la implementación. Se deberá ubicar referencias de ejes; estas se quedarán fijas en el proceso de construcción. Los trabajos de replanteo y de nivelación se ejecutarán con aparatos de precisión certificados.

- Unidad: Metro cuadrado (m²)
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón y Maestro de Obra
- Forma de pago: Su pago se realizará por metro cuadrado m², con aproximación de dos decimales.

3.2.4 Rubro: Excavación manual

Se define como actividades tienen como objetivo la excavación de caminera, cunetas, plintos, terraplenes, entre otros. Estos procesos manuales se efectuarán desde el nivel

determinado en el terreno como base (como producto del replanteo y nivelación previo) hasta las cotas especificadas en los planos. El resultado de este trabajo será desalojado fuera de la zona de construcción.

- Unidad: Metro cúbico (m^3)
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón y Maestro de Obra
- Forma de pago: Se medirá en unidad de volumen, la excavación realmente ejecutada según planos del proyecto o indicaciones de la Fiscalización. Su pago será por metro cúbico (m^3), con aproximación de dos decimales.

3.2.5 Rubro: Relleno compactado con suelo natural

Se define como la implementación, hidratación y compactación por capas del suelo natural, según los límites mostrados en los planos o indicaciones por la fiscalización. Se rellanará en capas progresivas de espesor menores a 0.15 m. Según con el equipo de compactación con el que cuente el contratista, y previo visto bueno de la Fiscalización.

Cada capa se humedecerá para alcanzar el contenido de humedad óptima requerido para que la compactación sea la indicada, y luego igualada, conformada y compactada, previo a la colocación de la próxima capa. El material de relleno no debe presentar materia orgánica u otros desperdicios. No puede contener expansividad que exceda al 4%, índice de plasticidad 15% y su densidad máxima debe ser mayor a 1400 kg/m^3 .

- Unidad: Metro cúbico (m^3)
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón, Operador y Maestro de Obra
- Forma de pago: Esta actividad se medirá por metro cúbico y las cantidades a pagarse por relleno se dará en volúmenes colocados efectivamente y medidos mediante las secciones

transversales finales. No se considerarán pérdidas debido a consolidación o compactación. Estos pagos compondrán la prestación total por la preparación de la superficie a rellenar, transporte, tendido, hidratación y compactación del material hasta lograr la densidad indicada, además los ensayos y pruebas de laboratorios necesarios por la fiscalización.

3.2.6 Rubro: Replanteo de hormigón simple 140 kg/cm²

Se define como hormigón simple, por lo general de baja resistencia, usado como la base de componentes estructurales, tuberías, además, no necesita de encofrado. La finalidad es la construcción de replanteos de hormigón, indicado en plano, documentos del proyecto o especificaciones de fiscalización. Contiene el proceso de elaboración, vertido y curado del hormigón.

- Unidad: Metro cúbico (m³)
- Materiales mínimos: Hormigón Premezclado $f'c=140$ kg/cm².
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón, Albañil y Maestro de Obra
- Forma de pago: La medición se la efectuará en unidad de volumen y su pago será por metro cúbico (m³), en base de una medición consumada en el sitio o con los detalles especificados en los planos del proyecto.

3.2.7 Rubro: Malla electrosoldada 8 mm

Se define como la malla electro-soldada que se usará en el contrapiso para proporcionar firmeza y prevenir cuarteamientos. Normativas: Forman parte de estas especificaciones todas las regulaciones establecidas en la Norma ecuatoriana de construcción vigente al 12-2016.

- Unidad: Metro cuadrado (m²).
- Materiales mínimos: Alambre recocido #18, Malla electrosoldada 8 mm.

- Equipo mínimo: Cortadora/ dobladora, Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón, Fierro y Maestro de Obra
- Ejecución y complementación: La malla electro-soldada para ser usada en obra, estará libre de escamas, grasas, arcilla, oxidación, pintura o recubrimiento de cualquier materia inusual que pueda disminuir o eliminar la adherencia, y cumpliendo la norma ASTM A 497. Toda malla electro-soldada se colocará en la construcción de manera segura y con los componentes requeridos que certifiquen su recubrimiento, espaciamiento, ligadura y anclaje. No se admitirá que, contraviniendo las especificaciones indicadas en los planos, la malla sea de otra calidad o se la coloque inadecuadamente.
- Forma de pago: La malla electro-soldada se medirá en metros cuadrados ejecutados en obra y aprobado por el Fiscalizador y el pago se hará de acuerdo a acordado en el contrato.

3.2.8 Rubro: Hormigón simple 210 kg/cm²

Se define como hormigón al resultado del endurecimiento de la mezcla del cemento portland, agua y agregados pétreos, en proporciones adecuadas. Se utilizará hormigón simple 210 kg/cm² en los sitios previstos por fiscalización.

- Unidad: Metro cúbico (m³)
- Materiales mínimos: Cemento portland, ripio, arena, agua, encofrados.
- Equipo mínimo: Herramienta menor, concretera.
- Mano de obra mínima calificada: Maestro de Obra, Albañil, Carpintero, Peón.
- Ejecución y complementación: El material pétreo a usarse estará libre de residuos que pudieran perturbar las condiciones del hormigón. En todo caso su uso deberá ser autorizada por el Fiscalizador, caso contrario el Contratista procederá a destituir a su costo las estructuras que fueren construidas con material no aprobado y autorizado por Fiscalización. En este rubro se considera también el traslado de materiales a mano.

- Forma de pago: El pago y la medición de este rubro se lo efectuará por metro cúbico (m^3), construido, medido en obra y a disposición de Fiscalización. Se incluye en este rubro el encofrado, curado y demás actividades ligadas detalladas en esta especificación a más de los resanes que se produzcan por actividades de desencofrado.

3.2.9 Rubro: Suministro e instalación de tubería 110 mm

Se define como la instalación de tuberías de PVC diámetro = 4" = 110 mm para la conducción de agua lluvia a lo largo de los canales del sistema de drenaje señalados en los planos del proyecto.

- Unidad: Metro lineal (m)
- Materiales mínimos: Tubería PVC D=4"=110mm
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Ayudante de Plomero, Plomero, Maestro de Obra.
- Forma de Pago: Se pagará por metro lineal de tubería (m). Previo a la verificación y cantidad efectiva realizada en obra. El pago de este rubro se lo hará luego de haber pasado las pruebas hidráulicas.

3.2.10 Rubro: Rejilla longitudinal interceptora para canal de drenaje

Se define como aquel elemento que a través de él permite la evacuación de la escorrentía superficial al sistema de drenaje pluvial. Esta actividad será aplicable donde se requiera rejillas longitudinales por no existir o estar destruidas, de acuerdo con las especificaciones en el plano y a las indicaciones del Fiscalizador.

- Unidad: Metro cuadrado (m^2).
- Materiales mínimos: Rejilla longitudinal de hierro fundido, pintura anticorrosiva.
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón y Maestro de Obra

- Forma de pago: El pago se lo realizará por m² efectivamente ejecutado e instalado, al precio establecido en el Contrato. El precio incluye la compensación total por el suministro de materiales, elaboración, transporte, anclajes, equipo, herramientas, mano de obra y todas las demás actividades necesarias para la completa ejecución e instalación de las rejillas longitudinales.

3.2.11 Rubro: Relleno compactado con material granular

Se define por relleno con material granular, el conjunto de trabajos que deberá ejecutar el constructor para implementar en el sitio de la construcción la grava que se requiera para la elaboración de morteros, hormigones, rellenos, filtros, zonas de transición, drenes, etc.

Las capas o ductos que se construyan bajo ellas con grava natural clasificada o sin clasificar, arena o piedra triturada, o con cualquier otro material permeable que facilite el libre escurrimiento de las filtraciones del terreno natural e impida en esa manera la existencia de subpresión hidrostática que pueda operar contra la estructura.

- Requisitos para granulometría que deberá satisfacer la arena de bancos naturales (Número y abertura de los cedazos corresponden a la especificación ASTM-E-11-39)
Cada uno de los diferentes tamaños de agregados, tal como se almacenará, no deberá contener partícula alguna de tamaño mayor significativo y no presentará más de 3% de tamaños menores a los indicados. El agregado grueso se deberá lavar siempre.

Material de filtro

Descripción: El material filtrante para rellenar zanjas y para poner debajo, alrededor y sobre los tubos de drenaje, como medio permeable para subdrenes y otros propósitos semejantes, deberá ser roca o piedra triturada y arena dura, limpia y durable, libre de materias orgánicas, terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes. Cuando se utilice geotextiles para el subdren el material de filtro será agregados que pasen el tamiz de 3 pulgadas y retenga el

tamiz de 1 pulgada. El material de filtro podrá ser Clase 1 o Clase 2, de acuerdo a lo establecido en el contrato o lo ordenado por el Fiscalizador. En la Clase 1 el Contratista podrá utilizar el Tipo A o B.

La composición en peso de material de filtro en el sitio, cumplirán la granulometría indicada en las Tablas 822.4.1. y 822.4.2., la cual se determinará según el método de ensayo INEN 696.

- Ensayos y tolerancias: Los dos tipos de materiales no experimentarán una desintegración y pérdida mayor del 12% a cinco ciclos de la prueba de durabilidad al sulfato de sodio, según el método INEN 863. El material Clase 2 deberá tener un equivalente de arena no mayor de 75, según el método de ensayo propuesto por la norma AASHTO T - 147.

- Conceptos de Trabajo:

 - Código 011: Relleno de grava 1”.

 - Código 012: Relleno de grava 1/2”.

 - Código 013: Relleno de grava 3/4”.

- Unidad: Metro cúbico (m³)

- Materiales mínimos: Material de relleno - grava ¾.

- Equipo mínimo: Herramienta menor, Volqueta, Rodillo Vibratorio.

- Mano de obra mínima calificada: Peón, Operador y Maestro de Obra

- Forma de pago del rubro: Por metro cúbico

3.2.12 Rubro: Relleno compactado con arena

Se define como relleno que se lleva a cabo cuando el fondo de las excavaciones donde se instalan tuberías no brinde la consistencia requerida para sustentarla y mantenerlos en su posición de manera estable o cuando la excavación haya sido hecha en roca que por naturaleza no haya podido afinarse en grado tal para que la tubería tenga el asiento correcto,

se construirá un replantillo de 12 cm de espesor mínimo hecho de arena para dejar una superficie nivelada para una correcta colocación de la tubería.

- Unidad de medida del rubro: Metro cúbico.
- Equipo mínimo: Rodillo Vibratorio, Volqueta.
- Materiales mínimos: Material de relleno – arena.
- Mano de obra mínima calificada: Maestro de obra, Peón, Operador.
- Forma de pago del rubro: Por metro cúbico

3.2.13 Rubro: Hormigón permeable

Se define como un hormigón que no posee finos, por lo que tiene porosidad que permite el paso del agua a través de él, para que después evacue al terreno o recuperarla de otras formas para su reutilización, dependiendo del tipo de suelo.

- Unidad: Metro cúbico (m³)
- Materiales mínimos: Cemento, Plastificante Acelerante, Tira Semidura, Clavos de madera 2.5x25Kl, Arena de Río Anropevi, Agua, Piedra #78 Verdú
- Equipo mínimo: Herramienta menor, concretera.
- Mano de obra mínima calificada: Albañil, Carpintero, Peón, Maestro de obra.
- Forma de pago: Pago por volumen (m³).

3.2.14 Rubro: Suministro e instalación de tubería perforada

Se define como la instalación de tubería perforada para la conducción de agua lluvia a lo largo de los canales del sistema de drenaje señalados en los planos del proyecto.

- Unidad: Metro lineal (m)
- Materiales mínimos: Tubería Perforada.
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Ayudante de Plomero, Plomero, Maestro de Obra.

- Forma de Pago: Se pagará por metro lineal de tubería (m). Previo a la verificación y cantidad efectiva realizada en obra. El pago de este rubro se lo hará luego de haber pasado las pruebas hidráulicas.

3.2.15 Rubro: Suministro e instalación de geomembrana

Se define a la geomembrana como compuestos por filamentos de poliméricos como polietileno de alta densidad, baja densidad, polipropileno, etc. Se destaca por su eficacia como barrera impermeable, lo que permitirá que el agua no se infiltre al suelo.

- Unidad: Metro cuadrado (m²)
- Materiales mínimos: Geomembrana de Polietileno.
- Mano de obra mínima calificada: Peón y Maestro de Obra
- Forma de pago: El pago se lo realizará por metro cuadrado (m²)

3.2.16 Rubro: Suministro e instalación de geotextil

Se define como el uso de geotextil, que son compuestos por filamentos de polímeros sintéticos, no tejidos, dispuestos de manera uniforme y estable. Deberán tener capacidad para dejar pasar el agua, pero no partículas de suelo.

- Unidad: Metro cuadrado (m²)
- Mano de obra mínima calificada: Peón y Maestro de Obra
- Materiales mínimos: Geotextil, Piqueta de anclaje de acero.
- Forma de pago: El pago se lo hará por metro cuadrado (m²)

3.2.17 Rubro: Suministro e instalación de celda de almacenamiento

Se define como sistema modular de celdas Aquacell para infiltración y almacenamiento de aguas pluviales.

- Unidad: Metro cúbico (m³)

- Materiales mínimos: Celda de almacenamiento (Aquacell)
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Operarios para excavación y ensamblaje, técnicos especializados en instalación de Aquacell, supervisor de obra.
- Forma de pago: Pago por volumen de almacenamiento instalado (m³), con pagos parciales por etapas completadas.

3.2.18 Rubro: Jardínera

Se define como la excavación manual de 0.5m x 0.5 m y por 50 centímetros de profundidad, para la plantación de especies seleccionadas y que serán rescatadas mediante el método de estacas.

- Unidad: Metro cuadrado (m²)
- Materiales mínimos: Abono orgánico; Planta mata, ornamental.
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón, Maestro de Obra.
- Forma de Pago: Se pagará por metro cuadrado de acuerdo al precio establecido en el contrato.

3.2.19 Rubro: Limpieza final de la obra

Se define como limpieza final y de la obra al conjunto de operaciones que deberá llevar a cabo el Constructor para que los sitios de alrededor de la construcción muestren un aspecto de orden y de limpieza satisfactoria al Contratante.

- Unidad: Metro cuadrado (m²).
- Equipo mínimo: Herramienta menor.
- Mano de obra mínima calificada: Peón, Maestro de Obra.

- Forma de Pago: La medición será de acuerdo a la cantidad real instalada en obra. Su pago será por metro cuadrado (m²).

Capítulo 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

Este proyecto plantea el rediseño de uno de los circuitos que constituye todo el sistema de drenaje pluvial del campus universitario, véase la Figura 41. Cabe recalcar que se encuentra inmerso en un bosque protector. Sin embargo, el área de la problemática está en la zona urbanizada del campus por tanto no se requiere de permisos para construcción.

Entonces, la finalidad es mitigar el riesgo de inundación que se efectúa en el sector del *Sweet & Coffee* (Figura 2 (b)) durante las épocas de invierno, esto a través de la aplicación de soluciones de infraestructura verde-azul-gris.

Los sistemas de drenaje pluvial se basan comúnmente en la aplicación de elementos grises tradicionales como las rejillas longitudinales, que se conforman de hormigón armado y una cubierta mallada de hierro fundido. Por otro lado, la innovación sustentable propone alternativas como los jardines de lluvia y el pavimento permeable, que permiten la retención temporal y filtración del agua a través del suelo. El conjunto de estas soluciones denominadas verdes-azules-grises, se alinean con tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

El alcantarillado pluvial es fundamental para la gestión del recurso hídrico, lo que en consecuencia contribuye al saneamiento del agua (ODS #6). Además, este sistema de drenaje debe funcionar correctamente para que las infraestructuras de la universidad no se vean afectadas por los aluviones (ODS #9). Finalmente, al optimizar el drenaje pluvial se coopera directamente con la creación de entornos habitables o cómodos, esto para que la comunidad estudiantil y administrativa puedan desarrollar sus actividades académicas sin inconvenientes relacionados a las inundaciones (ODS #11).

Figura 52

Objetivos de Desarrollo Sostenible, por la Organización de las Naciones Unidas



Nota. ODS6: Agua limpia y saneamiento; ODS9: Industria, innovación e infraestructura; ODS11: Ciudades y comunidades sostenibles, por *United Nations*, 2024.

4.2 Línea base ambiental

La línea de base ambiental remarca los aspectos de influencia del proyecto de manera que permite evaluar los posibles impactos ambientales, positivos o negativos, en diversos ejes sustentables. Cabe mencionar que, la propuesta de rediseño de este proyecto presenta varios elementos del drenaje pluvial en sus alternativas, por ejemplo, rejillas longitudinales, jardines lluvias y pavimento permeable. La alternativa 2, implica la adición de elementos para el drenaje pluvial convencionales que son las rejillas longitudinales, y se reconocen como soluciones grises. Por otro lado, la alternativa 3 se basa también en los elementos grises mencionados, en adición para trabajar en conjunto con las soluciones sostenibles como lo son el pavimento permeable y el jardín de lluvia, también conocidos como Soluciones grises-azules-verdes.

Para esta evaluación de impacto ambiental, se analizó cada uno de estos elementos (rejilla longitudinal, jardín de lluvia y pavimento permeable) para determinar su huella en el entorno, debido a que son componentes independientes que funcionan simultáneamente para drenar el agua proveniente de las precipitaciones. Por tal motivo, en la Tabla 10 se presenta la

clasificación de los elementos del drenaje que se relacionan con determinado medio, elemento y factor.

Tabla 10

Árbol de factores para rejillas longitudinales, jardín de lluvia y pavimento permeable.

Sistema	Medio	Elemento	Factor	Elemento del drenaje pluvial
Biofísico	Físico	Tierra-suelo	Cambios en el relieve	Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia
			Plantas ornamentales	Jardín de lluvia
		Agua	Aguas superficiales	Rejilla longitudinal y cámara de inspección
	Aguas subterráneas		Pavimento permeable y jardín de lluvia	
	Gestión hídrica		Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia	
	Aire		Calidad del aire	Jardín de lluvia
		Procesos del medio físico	Drenaje subterráneo (cantidad)	Pavimento permeable y jardín de lluvia
Biótico	Flora	Áreas verdes	Jardín de lluvia	
Socio-económico-cultural	Territorial	Paisaje	Estética del entorno	Pavimento permeable y jardín de lluvia
		Núcleo de población	Red de drenaje pluvial interna	Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia

	Vías de acceso	Tráfico peatonal	Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia
Económico	Mantenimiento	Reducción de gastos futuros	Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia
	Operatividad	Factibilidad de funcionamiento del drenaje pluvial	Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia
Demográfico	Bienestar	Prosperidad de la comunidad	Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia
		Ejecución de actividades productivas	Rejilla longitudinal, pavimento permeable y jardín de lluvia

Se identificó 11 elementos que se verían alterados con los elementos del drenaje propuestos. A su vez se determinó que pueden generarse 15 factores que se modificarán con respecto al estado actual del área de la problemática. Se puede notar que el jardín de lluvia se encuentra presente en todos los factores y es debido a que las áreas verdes están involucradas en todos los tipos de elementos que constituyen un ecosistema.

4.3 Actividades del proyecto

La construcción de la solución conduce a la modificación de ciertos espacios de la zona de la problemática, dado que se debe instaurar los jardines de lluvias, ubicar las rejillas longitudinales, e intercambiar el pavimento articulado actual por pavimento permeable. Estas

acciones son susceptibles de causar impactos ambientales durante su implementación ya que producen alteraciones al entorno presente, por ende, las actividades del proyecto se clasifican en las siguientes fases:

✓ Fase de diseño

Respecto al eje social de la sostenibilidad, esta fase fue crucial para que la comunidad académica de ESPOL obtenga un registro de su sistema de drenaje pluvial ya que dicha información no se encontraba actualizada.

Recopilación de datos: Durante esta etapa fue necesario contrastar toda la información obtenida para entender el funcionamiento del sistema actual y de esta forma identificar las zonas propensas a inundaciones.

Modelamiento del sistema en software: La zona de la problemática fue moldeada en el software SMWW, que es especializado para sistemas de drenaje y redes de saneamiento. En este paso, se concluyó el funcionamiento del sistema con la aplicación de las alternativas previamente mencionadas, de esta manera se puede comparar las soluciones grises (alternativa 2) con la verde-azul-gris (alternativa 3).

✓ Fase constructiva

Rejilla longitudinal: El proceso constructivo de este elemento común en el drenaje pluvial requiere de encofrado, movimiento de tierras, transporte de materiales, nivelación del terreno, etc. Además, está constituido por hormigón, acero de refuerzo y hierro fundido.

Jardín de lluvia: Incluye también el movimiento de escombros y tierras, transporte de materiales y la instalación de componentes específicos (plantas ornamentales). Su excavación provoca desechos y tierra que debe gestionarse adecuadamente. Dado que se complementa con celdas de almacenamiento, es necesario que el proceso

constructivo se apegue a los requerimientos de la aplicación de las celdas, lo cual esta normado por la casa fabricante de estas.

Pavimento permeable: La construcción de este tipo de pavimento implica una serie de procedimientos como el movimiento de escombros y tierras, debido a la excavación y preparación del terreno los cuales generan desechos que necesitan de un óptimo manejo y depuración; el transporte de materiales específicos como agregados permeables y geotextiles que requieren del control de las emisiones físicas y sonoras que provocan.

✓ Fase operativa

Rejilla longitudinal: Implica limpieza periódica para evitar obstrucciones que puedan perturbar el flujo de agua y la eficiencia del sistema. Deben emprenderse reparaciones para evitar conflictos a largo plazo y garantizar el funcionamiento constante del sistema

Jardín de lluvia: Se necesita un cuidado regular de las plantas, que abarca podar, el riego y fertilización. También es necesario tener inspecciones regulares y limpiar cada componente que lo conforma. Adicional, es esencial remover vegetación invasiva que pueda perturbar la funcionalidad del jardín. Luego de que las celdas retengan el agua captada durante la precipitación, esta puede ser reutilizada o desfogada controladamente.

Pavimento permeable: Implementa limpieza regular de la superficie para remover residuos que puedan obstaculizar los poros y disminuir su capacidad de infiltración. Se deben inspeccionar regularmente para detectar fisuras o desgaste.

✓ Fase de abandono

Rejilla longitudinal: Este elemento cumple con un periodo de vida útil debido a las propiedades de sus materiales, por eso, para su desmantelamiento, es necesario

proceder con la trituración del hormigón, luego la eliminación de sus impurezas y finalmente con su reutilización. Por otro lado, para el acero el proceso de reuso esta luego de su fundición.

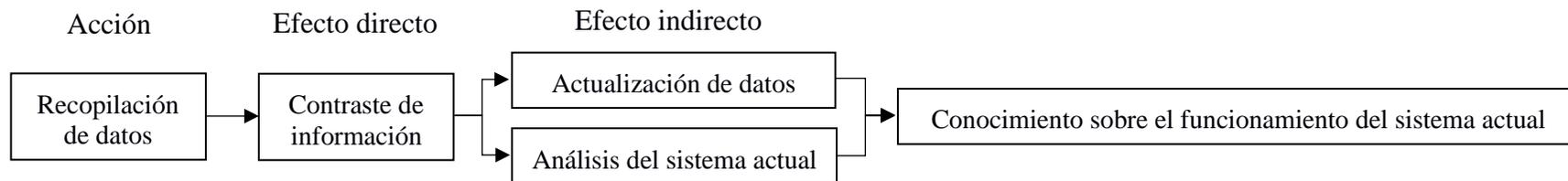
Jardín de lluvia: Esta solución tiene la característica de que perdura en el tiempo debido a su naturaleza, por tanto, no requiere de una fase de desalojo

Pavimento permeable: Este material cuenta con un proceso de desmantelamiento más riguroso ya que su composición es ligeramente diferente al hormigón tradicional. Sin embargo, igual pasa por el proceso de triturado y cribado para la obtención de una nueva mezcla que pueda ser reutilizada.

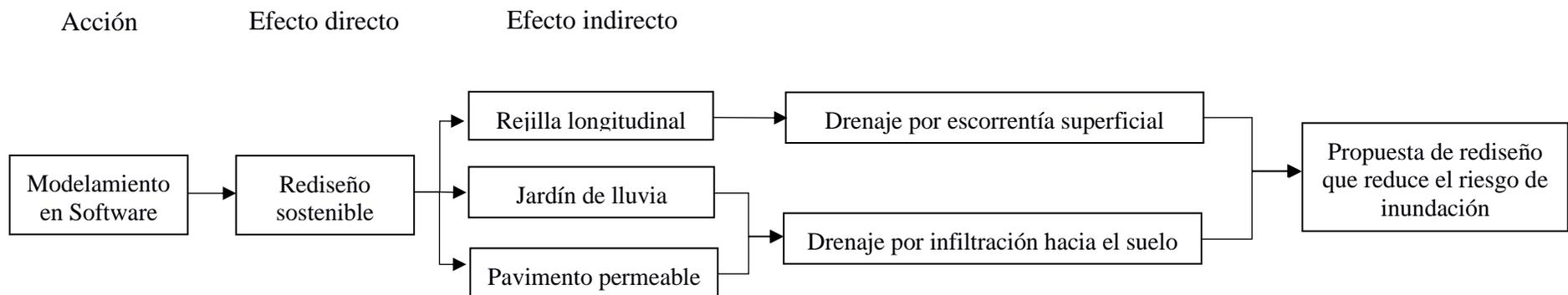
4.4 Identificación de impactos ambientales

El método para identificar los impactos ambientales es el diagrama de redes, el cual son representaciones gráficas que denotan las interconexiones entre diferentes aspectos a tener en cuenta en el enfoque ambiental. Esta herramienta ayuda a entender visualmente las interdependencias y cadenas de efectos que se desprenden de una determinada acción, en este proyecto se identificaron 6 acciones.

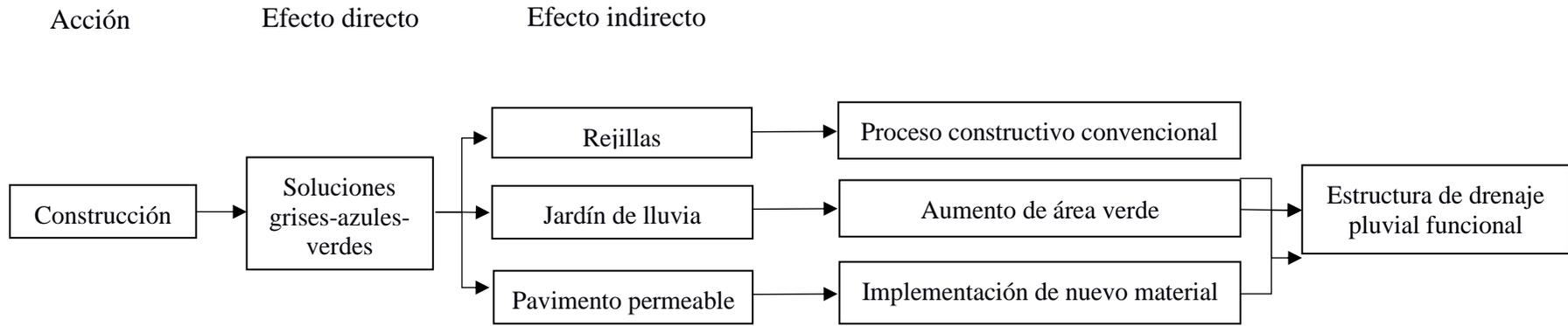
✓ Diagrama de redes #1



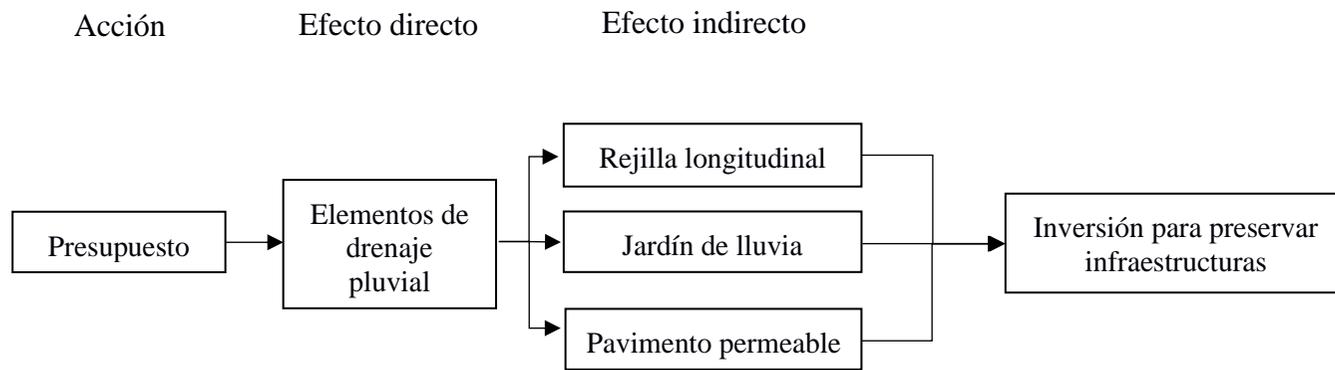
✓ Diagrama de redes #2



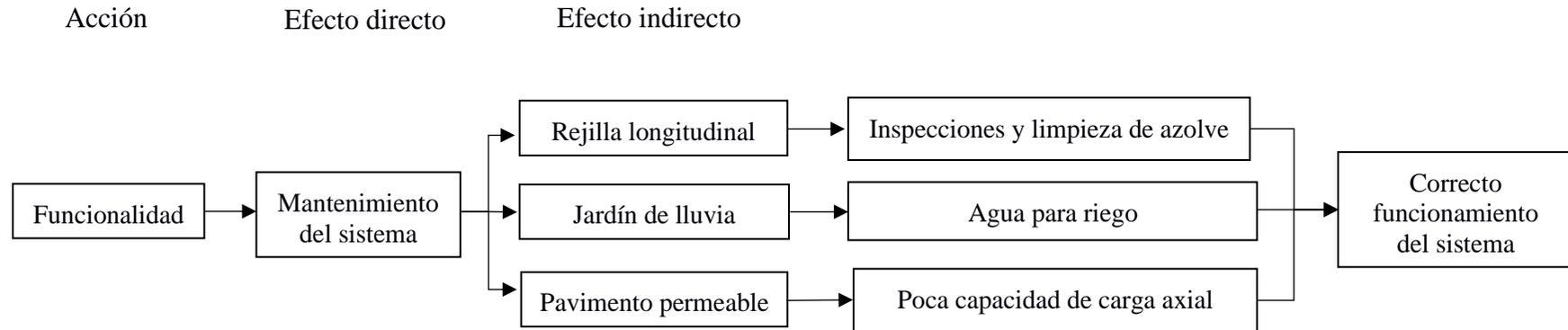
✓ Diagrama de redes #3



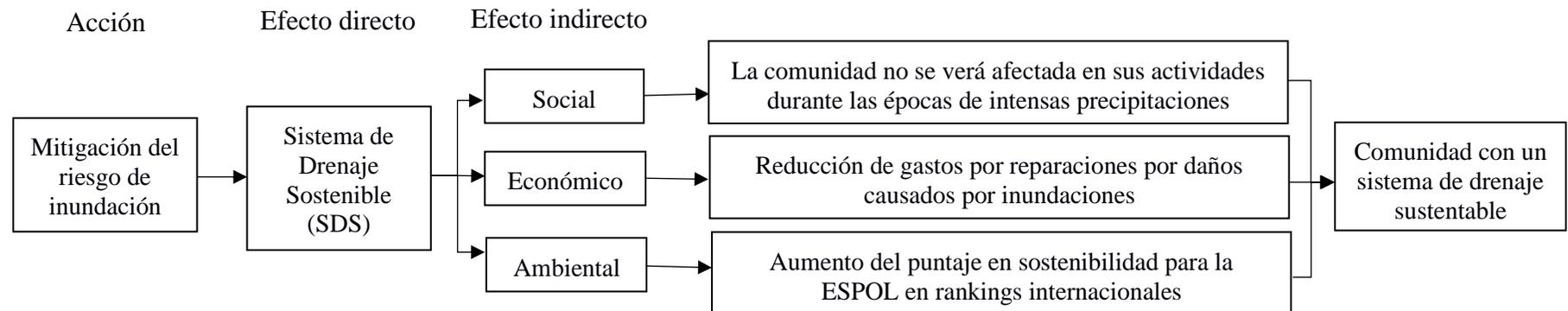
✓ Diagrama de redes #4



✓ Diagrama de redes #5



✓ Diagrama de redes #6



La matriz de Leopold, propuesta en 1971, sirve para valorar los impactos ambientales positivos y negativos según la magnitud e importancia del caso de estudio. Esta matriz considera los factores frente a las acciones a efectuar durante las distintas fases del proyecto. Como indica la Figura 54, la magnitud es un valor que puede ser positivo o negativo, sin embargo, la importancia es solamente positivo.

Como se mencionó previamente, el análisis del impacto ambiental se realiza para cada elemento ya que tienen procesos de afectación distintos, por tal motivo se desarrolló 3 matrices de Leopold. El presente proyecto no contiene impactos que se puedan cuantificar en magnitudes negativas, debido a que los elementos evaluados colaboran en conjunto para conformar el drenaje pluvial, el cual es un sistema cuya principal función siempre será favorecer a una comunidad debido a que su labor es evitar las inundaciones.

Figura 53

Valores numéricos para la matriz de Leopold

Impactos Positivos						Impactos Negativos					
MAGNITUD			IMPORTANCIA			MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación	Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1	Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2	Baja	Media	-2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3	Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4	Media	Baja	-4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5	Media	Media	-5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6	Media	Alta	-6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7	Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8	Alta	Media	-8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9	Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10	Muy alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	+10

Nota. Puntajes para la magnitud e importancia según el impacto positivo o negativo.

Tabla 11*Matriz de Leopold para medidas grises, rejillas longitudinales*

MATRIZ DE LEOPOLD PARA REJILLAS												
CATEGORÍA	COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIÓN FACTOR	Recopilación de datos	Modelamiento en software	Construcción	Presupuesto	Funcionalidad	Mitigación del riesgo de inundación	POR FACTORES			
									AFECTACIÓN EN MAGNITUD		TOTAL DE IMPACTO (+)	
									(+)	(-)		
BIOFÍSICO	Tierra-suelo	Cambios en el relieve	10	3	10	4	5	7	6	0	39	
			10	3	7	2	2	2	6	0	26	
	Agua	Aguas superficiales	9	6	10	6	7	7	6	0	45	
			8	6	8	4	6	8	6	0	40	
Procesos del medio físico	Drenaje subterráneo	6	3	6	6	6	7	6	0	34		
		6	9	5	2	4	4	6	0	30		
SOCIO-ECONÓMICO-CULTURAL	Núcleo de población	Red de drenaje pluvial interna	4	3	7	3	3	2	6	0	22	
			4	6	5	2	2	2	6	0	21	
	Vías de acceso	Tráfico peatonal	4	3	4	2	2	2	6	0	17	
			6	3	5	2	2	2	6	0	20	
	Económico	Reducción de gastos futuros	3	6	6	7	6	7	6	0	35	
			6	10	5	7	7	7	6	0	42	
	Factibilidad de funcionamiento del	Prosperidad de la comunidad	5	10	7	8	7	5	6	0	42	
			6	6	8	4	5	5	6	0	34	
	Demográfico	Ejecución de actividades	4	10	5	7	7	8	6	0	41	
			5	6	5	7	5	5	6	0	33	
POR ACCIONES	AFECTACIÓN EN MAGNITUD	+	10	10	10	10	10	10	10	60		
		-	0	0	0	0	0	0	0	0		
	TOTAL DE IMPACTO (+)	53	57	64	56	54	56			340		
										5.67		
RESULTADO PARA EL IMPACTO (+) POR IMPORTANCIA										5.02		

La primera matriz mostrada en la Tabla 11, representa la solución con rejillas longitudinales, para la cual se tomaron en cuenta solamente las acciones y factores relacionadas a esta propuesta. Según los puntajes máximo de los totales de impactos positivos, por magnitud de factor y acción, se concluye que:

- ✓ El factor de las aguas superficiales se ve afectada positivamente con la implementación de rejillas longitudinales.

- ✓ La acción de construcción se ve afectada positivamente con la implementación de rejillas longitudinales.

Tabla 12

Matriz de Leopold para medidas verdes-azules, jardín de lluvia

MATRIZ DE LEOPOLD PARA JARDIN DE LLUVIA														
CATEGORÍA	COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIÓN FACTOR	Recopilación de datos	Modelamiento en software	Construcción	Presupuesto	Funcionalidad	Mitigación del riesgo de inundación	POR FACTORES					
									AFECTACIÓN EN MAGNITUD		TOTAL DE IMPACTO (+)			
									(+)	(-)				
BIOFÍSICO	Tierra-suelo	Cambios en el relieve	6	5	6	7	6	6	6	6	0	36		
		Plantas ornamentales	4	8	7	6	8	7	8	7	6	0	40	
	Agua	Aguas subterráneas	6	6	5	8	4	5	4	7	10	6	0	42
		Gestión hídrica	5	7	8	9	4	5	6	10	10	6	0	38
	Aire	Calidad del aire	6	8	5	10	10	5	10	10	6	0	43	
			7	7	9	9	5	10	10	6	0	36		
	Procesos del medio físico	Drenaje subterráneo	4	5	8	3	5	7	10	10	6	0	47	
5			8	5	5	8	10	10	6	0	34			
Flora	Áreas verdes	8	5	6	5	6	5	10	10	6	0	41		
		6	8	8	8	6	7	10	10	6	0	39		
SOCIO-ECONÓMICO-CULTURAL	Paisaje	Estética del entorno	7	7	4	2	8	10	10	6	0	37		
			3	6	5	7	6	10	10	6	0	38		
	Núcleo de población	Red de drenaje pluvial interna	4	4	7	7	5	9	9	6	0	36		
			2	5	7	4	8	6	6	6	0	32		
	Vías de acceso	Tráfico peatonal	4	6	4	5	6	5	5	6	0	30		
			6	4	9	6	9	5	5	6	0	39		
	Económico	Reducción de gastos futuros	7	4	8	6	7	10	10	6	0	42		
7			5	4	4	8	6	6	6	0	34			
Demográfico	Factibilidad de funcionamiento del	3	6	5	4	7	10	10	6	0	35			
		9	7	7	3	9	8	8	6	0	43			
Demográfico	Prosperidad de la comunidad	6	3	6	5	7	10	10	6	0	37			
		3	5	6	4	9	8	8	6	0	35			
Ejecución de actividades	Ejecución de actividades	7	8	4	6	5	10	10	6	0	40			
		5	4	6	7	7	8	8	6	0	37			
POR ACCIONES	AFECTACIÓN EN MAGNITUD	+	14	14	14	14	14	14	14	14	84			
		-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
TOTAL DE IMPACTO (+)			78	81	81	83	90	130				543		
			71	83	88	78	105	118				543		
RESULTADO PARA EL IMPACTO (+) POR MAGNITUD											6.46			
RESULTADO PARA EL IMPACTO (+) POR IMPORTANCIA											6.46			

Por otro lado, la segunda matriz de la Tabla 12, muestra la solución con el jardín de lluvia, para la cual se tomaron en cuenta solamente las acciones y factores relacionadas a esta

propuesta. Según los puntajes máximo de los totales de impactos positivos, por magnitud de factor y acción, se concluye que:

- ✓ El factor de la gestión hídrica se ve afectada positivamente con la implementación del jardín de lluvia.
- ✓ La acción de mitigar el riesgo de inundación se ve afectada positivamente con la implementación del jardín de lluvia.

Tabla 13

Matriz de Leopold para medidas verdes-azules, pavimento permeable

MATRIZ DE LEOPOLD PARA PAVIMENTO PERMEABLE											
CATEGORÍA	COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIÓN FACTOR	Recopilación de datos	Modelamiento en software	Construcción	Presupuesto	Funcionalidad	Mitigación del riesgo de inundación	POR FACTORES		
									AFECTACIÓN EN MAGNITUD		TOTAL DE IMPACTO (+)
									(+)	(-)	
BIOFÍSICO	Tierra-suelo	Cambios en el relieve	5	5	5	3	5	2	6	0	25
			5	4	5	7	5	5	6	0	31
	Agua	Aguas subterráneas	6	7	7	6	10	4	6	0	40
			6	5	6	4	7	5	6	0	33
Procesos del medio físico	Gestión hídrica	Drenaje subterráneo	4	4	4	7	8	5	6	0	32
			4	7	4	3	8	4	6	0	30
SOCIO-ECONÓMICO-CULTURAL	Paisaje	Estética del entorno	5	7	6	4	10	6	6	0	38
			4	4	7	7	7	5	6	0	34
	Núcleo de población	Red de drenaje pluvial interna	6	5	4	3	8	4	6	0	30
			6	7	6	3	10	6	6	0	38
	Vías de acceso	Tráfico peatonal	7	7	7	7	6	5	6	0	39
			4	8	6	4	5	4	6	0	31
	Económico	Reducción de gastos futuros	4	8	5	4	3	3	6	0	27
			3	9	5	5	3	5	6	0	30
	Económico	Factibilidad de funcionamiento del	3	4	3	5	8	6	6	0	29
			7	6	5	7	5	6	6	0	36
Demográfico	Prosperidad de la comunidad	8	9	6	4	10	5	6	0	42	
		9	6	4	5	10	7	6	0	41	
Demográfico	Ejecución de actividades	6	3	7	5	5	6	6	0	32	
		4	4	5	4	4	7	6	0	28	
POR ACCIONES	AFECTACIÓN EN MAGNITUD	+	4	4	5	4	4	7	6	0	28
			6	6	4	5	5	8	6	0	34
	-	11	11	11	11	11	11	11	66		
0		0	0	0	0	0	0	0	0		
TOTAL DE IMPACTO (+)			58	63	59	52	77	53			362
			58	66	57	54	69	62			366
RESULTADO PARA EL IMPACTO (+) POR MAGNITUD										5.48	
RESULTADO PARA EL IMPACTO (+) POR IMPORTANCIA										5.55	

Finalmente, la tercera matriz de la Tabla 13, muestra la solución con pavimento permeable, para la cual se tomaron en cuenta solamente las acciones y factores relacionadas a

esta propuesta. Según los puntajes máximo de los totales de impactos positivos, por magnitud de factor y acción, se concluye que:

- ✓ El factor de factibilidad de funcionamiento del drenaje pluvial se ve afectado positivamente con la implementación de pavimento permeable.
- ✓ La acción de funcionabilidad se ve afectada positivamente con la implementación de pavimento permeable.

4.5 Valoración de impactos ambientales

El método cualitativo para valorar el impacto ambiental es el propuesto por Boris Tito, este procedimiento requiere del valor de la magnitud total de impacto obtenida por medio de la matriz de Leopold. Este método tiene un sistema de puntaje basado en aspectos descriptivos, además se emplea la siguiente ecuación:

$$Imp = (W_E \times E) + (W_D \times D) + (W_R \times R) \quad (4.1)$$

$$IA = \pm\sqrt{(Imp \times |Magnitud|)} \quad (4.2)$$

En donde:

Imp: Valor calculado de la importancia del impacto ambiental

IA: Valor de Impacto Ambiental

Magnitud: $\frac{\text{Total de impacto}}{\text{Total de afectación}}$, de la Matriz de Leopold

E: Valor del criterio de Extensión, W_E : Peso del criterio de Extensión

D: Valor del criterio de Duración, W_D : Peso del criterio de Duración

R: Valor del criterio de Reversibilidad, W_R : Peso del criterio de Reversibilidad

Cabe recalcar que los valores de peso W_E , W_D y W_R deben sumar entre sí la unidad.

El valor de extensión (E) se refiere al área de influencia, mientras que el valor de duración (D) es la persistencia a través del tiempo. Por otro lado, el valor de reversibilidad (R) es la

posibilidad de retroceso al estado actual por medio naturales. Estos criterios obtienen valores numéricos según la Figura 55.

Figura 54

Escala de valoración cualitativa, por Tito (2020)

Característica	Puntaje				
	1	2,5	5	7,5	10
Extensión	Puntual	Particular	Local	Generalizada	Regional
Duración	Esporádica	Temporal	Periódica	Recurrente	Permanente
Reversibilidad	Completamente reversible	Medianamente reversible	Parcialmente irreversible	Medianamente irreversible	Completamente irreversible
Magnitud (incidencia sobre factor ambiental)	Poca incidencia		Mediana incidencia	Alta incidencia	

Nota. Puntajes para los criterios cualitativos.

Así

mismo, se realizó el cálculo para cada uno de los elementos del drenaje pluvial:

➤ **Rejilla longitudinal**

Se consideró las siguientes ponderaciones para el peso según la importancia de su criterio adjunto: $W_E = 0.3$, $W_D = 0.35$, $W_R = 0.35$.

$$Imp = (0.3 \times 1) + (0.35 \times 2.5) + (0.35 \times 5) = 2.93$$

Según la matriz de Leopold para la rejilla longitudinal, el valor de su magnitud es 5.67

$$IA = \pm\sqrt{(2.93 \times |5.67|)} = 4.07$$

➤ **Jardín de lluvia**

Se consideró las siguientes ponderaciones para el peso según la importancia de su criterio adjunto: $W_E = 0.2$, $W_D = 0.5$, $W_R = 0.3$.

$$Imp = (0.2 \times 5) + (0.5 \times 10) + (0.3 \times 1) = 6.30$$

Según la matriz de Leopold, el valor de su magnitud es 6.46

$$IA = \pm\sqrt{(6.30 \times |6.46|)} = 6.38$$

➤ **Pavimento permeable**

Se tomó en cuenta las siguientes ponderaciones para el peso según la importancia de su criterio adjunto: $W_E = 0.4$, $W_D = 0.3$, $W_R = 0.3$.

$$Imp = (0.4 \times 2.5) + (0.3 \times 5) + (0.3 \times 5) = 4.00$$

Según la matriz de Leopold, el valor de su magnitud es 5.48

$$IA = \pm\sqrt{(4.00 \times |5.48|)} = 4.68$$

La Figura 56 muestra la valoración para los índices de impacto ambiental y su categorización desde lo benéfico hasta lo altamente significativo

Figura 55

Escala de valoración del índice de impacto ambiental, por Tito (2020)

Calificación del Impacto Ambiental	Valor del índice de impacto ambiental (IA)
Altamente significativo	$ IA \geq 6,5$
Significativo	$6,5 > IA \geq 4,5$
Despreciable	$ IA < 4,5$
Benéfico	$IA > 0$

Nota. Escala para el índice de Impacto Ambiental IA.

4.5.1. Análisis de impacto ambiental

Con las valoraciones estimadas a través de las herramientas Matriz de Leopold y Método de Tito, se observa que las rejillas longitudinales tienen un impacto positivo para el manejo de las aguas superficiales, además de tener un proceso constructivo más fácil en relación con las otras soluciones, no obstante, su fase de mantenimiento es más constante y ardua. Adicionalmente, su duración de vida útil es la más baja, así mismo como su índice de impacto ambiental que se cataloga como despreciable, lo que indica que está en desventaja frente a las otras opciones.

Por contraste, el pavimento permeable tiene un proceso constructivo medianamente complejo, pero su fase operativa es muy conveniente dado que solo necesita de limpieza frecuente en su superficie para remover residuos que puedan obstaculizar los poros. Por esta razón, como se muestra en la matriz, esta opción

aumenta la factibilidad de funcionamiento del drenaje, lo que se refleja en su impacto ambiental que es significativamente positivo, según los índices propuestos por Tito.

Finalmente, el jardín de lluvia tiene el proceso constructivo y mantenimiento más complejo, aunque destaca por sobre las otras opciones en su perdurabilidad a través del tiempo, ya que la vegetación es totalmente reversible lo que implica que la posibilidad de retroceso al estado actual por medio naturales. El jardín de lluvia es el que mejor realiza la gestión hídrica ya que tiene la propuesta de guardar el agua captada a través de las celdas de almacenamiento, lo que abre la posibilidad del reúso de esta agua. También es la propuesta que mejor mitiga el riesgo de inundación por su alta capacidad retentiva del flujo pluvial. Todo esto influye en su índice de impacto ambiental que es altamente significativo.

4.6 Medidas de prevención

Es necesario prevenir las emisiones de contaminación ambiental durante el proceso constructivo de los elementos de las Soluciones grises-azules-verdes, es decir, las rejillas longitudinales, jardines de lluvia y pavimentos permeables. Esto se puede alcanzar por medio de medidas de mitigación para las emisiones de ruidos y atmosféricas. Para lo cual es necesario: capacitar al personal de construcción, tener protocolos de aseo durante la obra, usar equipos en buen estado, ejecutar correctamente el cronograma, optimización de recursos empleados, entre otras medidas.

También es importante emplear otro tipo de medidas de prevención para que prevalezca el buen estado del sistema de drenaje, es decir, desarrollar un buen mantenimiento preventivo que establezca una serie de pasos para determinadas fechas, de esta forma se prevé el correcto funcionamiento de los elementos del drenaje pluvial. Cabe recalcar que cada solución requiere de un mantenimiento distinto ya que se componen y desempeñan de formas muy distintas.

Esto es necesario para que la vida útil del sistema se prolongue lo más posible, lo que incrementaría los puntajes en sostenibilidad de la universidad y su campus para los rankings internacionales. Además, esto permite la aplicación para obtener certificados en sostenibilidad de alcance internacional, como lo es, el Certificado LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Ese título fue creado por *el US Green Building Council*, que son un referente global en la construcción sostenible.

Capítulo 5

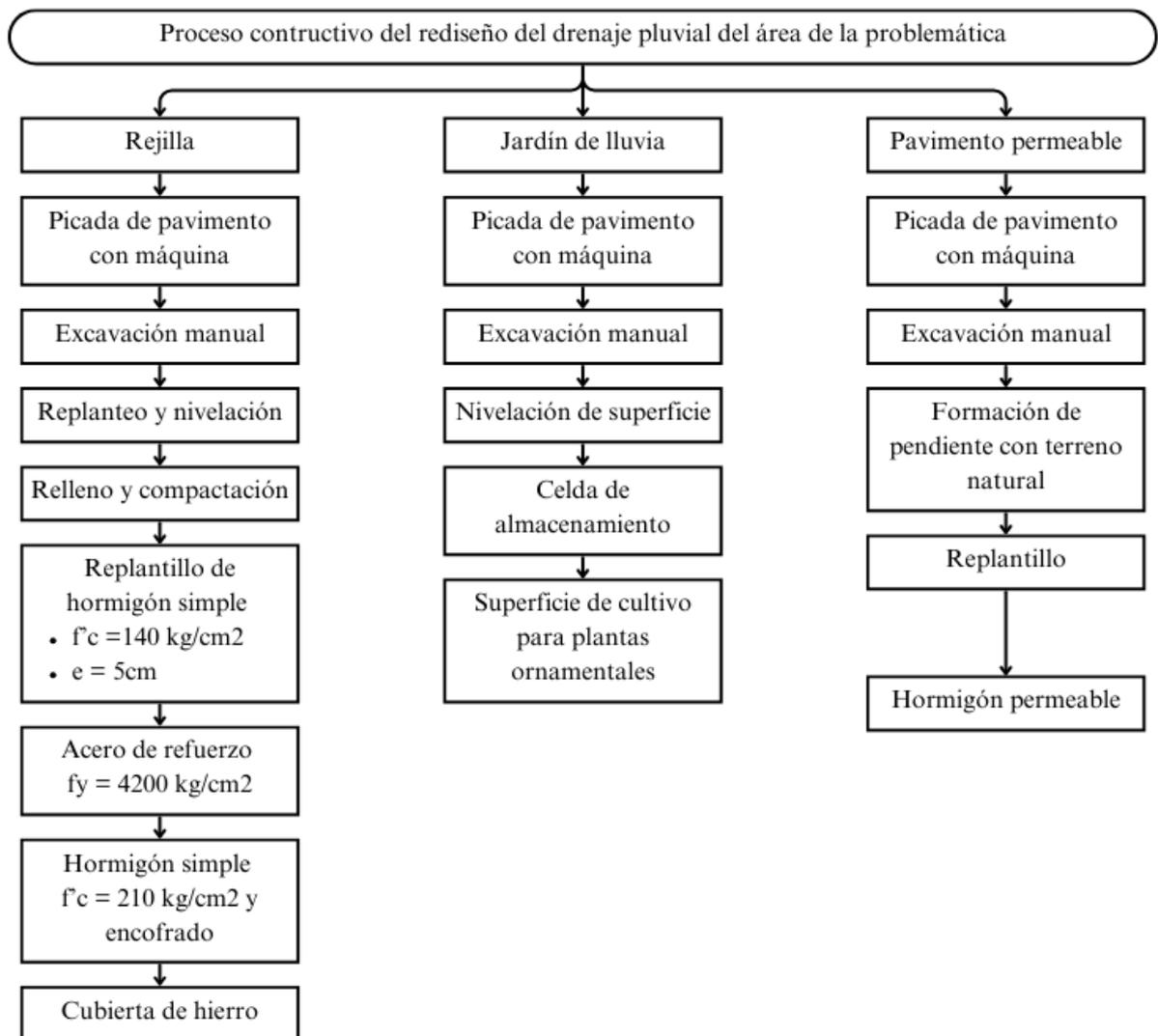
5. PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

Para establecer el presupuesto del proyecto, primero se estableció la Estructura de Desglose del Trabajo o EDT (véase Figura 57), que contiene los procesos constructivos de las 3 soluciones propuestas que representas a las Soluciones grises-azules-verdes, lo que permite definir los rubros o actividades necesarias para llevar a cabo este proyecto.

Figura 56

Desglose de trabajo del Proyecto Integrador



Cabe recalcar que la solución gris-verde-azul será aplicada como parte de un rediseño, lo que significa que no se debe desarrollar actividades preliminares como la limpieza del terreno, porque el área de interés ya se encuentra con infraestructura existente.

5.2 Rubros y análisis de precios unitarios

El presupuesto del proyecto se elaboró en base a un análisis detallado de las cantidades de obra presentadas en el Capítulo 3, los precios unitarios fueron obtenidos de la Cámara de la Construcción, Insucons y cotizaciones de ciertos proveedores. Además, se consideraron los costos indirectos y directos, lo que incluye equipos, mano de obra y materiales necesarios para emprender cada actividad.

A continuación, se presentan la Tabla 14 y Tabla 15 que muestran los rubros tanto del proyecto con las Soluciones grises-azules-verdes como los rubros de la alternativa 2 con soluciones grises, en este caso con 20 rejillas longitudinales. Esto con la finalidad de poder comparar que alternativa es la más conveniente según el ámbito económico.

Tabla 14

Rubros que conforman el proyecto.

No.	Rubro
1	Obras Preliminares
1.1	Limpieza de canales
1.2	Picado y levantado de hormigón incluye desalojo
1.3	Replanteo y nivelación
2	Rejillas longitudinales
2.1	Excavación manual
2.2	Relleno compactado con suelo natural
2.3	Replanteo de hormigón simple $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$, $e=5\text{cm}$
2.4	Malla electrosoldada 8 mm

-
- 2.5 Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm², Incluye encofrado
 - 2.6 Suministro e instalación de tubería 110 mm
 - 2.7 Rejilla longitudinal interceptora para canal de drenaje
 - 3 Pavimentos Permeables**
 - 3.1 Excavación manual
 - 3.2 Relleno compactado con suelo natural
 - 3.3 Relleno compactado con material granular
 - 3.4 Relleno compactado con arena
 - 3.5 Hormigón permeable
 - 3.6 Suministro e instalación de tubería perforada
 - 3.7 Suministro e instalación de geomembrana
 - 4 Jardines de lluvia**
 - 4.1 Excavación manual
 - 4.2 Relleno compactado con suelo natural
 - 4.3 Suministro e instalación de tubería 110 mm
 - 4.4 Suministro e instalación de geomembrana
 - 4.5 Suministro e instalación de geotextil
 - 4.6 Suministro e instalación de celda de almacenamiento
 - 4.7 Jardinera
 - 5 Final**
 - 5.1 Limpieza final
-

Tabla 15

Rubros que conforman la alternativa 2 con veinte rejillas longitudinales.

No.	Rubro
1	Obras Preliminares
1.1	Limpieza de canales

-
- 1.1 Picado y levantado de hormigón incluye desalojo
 - 1.2 Replanteo y nivelación
 - 2 Excavación y rellenos**
 - 2.1 Excavación manual
 - 2.2 Relleno compactado con suelo natural
 - 3 Hormigones y acero**
 - 3.1 Replanteo de hormigón simple $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$,
e=5cm
 - 3.2 Malla electrosoldada 5 mm
 - 3.3 Hormigón simple $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Incluye encofrado
 - 4 Varios**
 - 4.1 Suministro e instalación de tubería
 - 4.2 Rejilla longitudinal interceptora para canal de drenaje
 - 5 Final**
 - 5.1 Limpieza final
-

5.3 Descripción de cantidades de obra

Tabla 16

Cantidad por cada rubro del proyecto

No.	Rubro	Unidad	Cantidad
1	Obras Preliminares		
1.1	Limpieza de canales	m	877.40
1.2	Picado y levantado de hormigón incluye desalojo	m ²	201.55
1.3	Replanteo y nivelación	m ²	270.55
2	Rejillas		
2.1	Excavación manual	m ³	4.19
2.2	Relleno compactado con suelo natural	m ³	0.76
2.3	Replanteo de hormigón simple $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$, e=5cm	m ³	0.38

2.4	Malla electrosoldada 8 mm	m2	7.63
2.5	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2, Incluye encofrado	m3	3.81
2.6	Suministro e instalación de tubería 110 mm	m	8
2.7	Rejilla interceptora para canal de drenaje	m	25.42
3	Pavimentos Permeables		
3.1	Excavación manual	m3	32.76
3.2	Relleno compactado con suelo natural	m3	8.40
3.3	Relleno compactado con material granular	m3	10.08
3.4	Relleno compactado con arena	m3	10.08
3.5	Hormigón permeable	m3	12.6
3.6	Suministro e instalación de tubería perforada	m	8
3.7	Suministro e instalación de geomembrana	m2	84
4	Jardines de lluvia		
4.1	Excavación manual	m3	161.03
4.2	Relleno compactado con suelo natural	m3	17.89
4.3	Suministro e instalación de tubería 110 mm	m	43.6
4.4	Suministro e instalación de geomembrana	m2	178.92
4.5	Suministro e instalación de geotextil	m2	178.92
4.6	Suministro e instalación de celda de almacenamiento	m3	71.568
4.7	Jardinera	m2	178.92
5	Final		
5.1	Limpieza final	m2	270.55

Tabla 17

Cantidad por cada rubro de la alternativa 2 con veinte rejillas.

No.	Rubro	Unidad	Cantidad
1	Obras Preliminares		

1.1	Limpieza de canales	m	877.40
1.1	Picado y levantado de hormigón incluye desalojo	m2	46.97
1.2	Replanteo y nivelación	m2	46.97
2	Excavación y rellenos		
2.1	Excavación manual	m3	25.83
2.2	Relleno compactado con suelo natural	m3	5.64
3	Hormigones y acero		
3.1	Replanteo de hormigón simple f'c=140 kg/cm2, e=5cm	m3	2.35
3.2	Malla electrosoldada 5 mm	m2	133.08
3.3	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2, Incluye encofrado	m3	25.83
4	Varios		
4.1	Suministro e instalación de tubería	m	34
4.2	Rejilla interceptora para canal de drenaje	m	156.56
5	Final		
5.1	Limpieza final	m2	46.97

5.4 Valoración integral del costo del proyecto

Tabla 18

Presupuesto de alternativa 3 con soluciones grises-azules-verdes

No.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
-----	-------	--------	----------	-----------------	--------------

1	Obras Preliminares				\$	6,291.63
1.1	Limpieza de canales	m	877.40	\$	2.15	\$ 1,886.41
1.2	Picado y levantado de hormigón incluye desalojo	m2	201.55	\$	18.81	\$ 3,791.08
1.3	Replanteo y nivelación	m2	270.55	\$	2.27	\$ 614.14
2	Rejillas longitudinales					\$ 5,538.81
2.1	Excavación manual	m3	4.19	\$	11.02	\$ 46.22
2.2	Relleno compactado con suelo natural	m3	0.76	\$	5.15	\$ 3.93
2.3	Replanteo de hormigón simple f'c=140 kg/cm2, e=5cm	m3	0.38	\$	7.23	\$ 2.76
2.4	Malla electrosoldada 8 mm	m2	7.63	\$	19.52	\$ 148.86
2.5	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2, Incluye encofrado	m3	3.81	\$	114.88	\$ 438.04
2.6	Suministro e instalación de tubería 110 mm	m	8	\$	18.66	\$ 149.28
2.7	Rejilla longitudinal interceptora para canal de drenaje	m	25.42	\$	186.85	\$ 4,749.73
3	Pavimentos Permeables					\$ 4,309.36
3.1	Excavación manual	m3	32.76	\$	11.02	\$ 361.02
3.2	Relleno compactado con suelo natural	m3	8.40	\$	5.09	\$ 42.76
3.3	Relleno compactado con material granular	m3	10.08	\$	17.35	\$ 174.89
3.4	Relleno compactado con arena	m3	10.08	\$	19.19	\$ 193.44
3.5	Hormigón permeable	m3	12.6	\$	224.78	\$ 2,832.23
3.6	Suministro e instalación de tubería perforada	m	8	\$	6.02	\$ 48.16
3.7	Suministro e instalación de geomembrana	m2	84	\$	7.82	\$ 656.88
4	Jardines de lluvia					\$ 32,399.55
4.1	Excavación manual	m3	161.03	\$	11.02	\$ 1,774.53
4.2	Relleno compactado con suelo natural	m3	17.89	\$	5.09	\$ 91.07

4.3	Suministro e instalación de tubería 110 mm	m	43.6	\$ 6.02	\$ 262.47
4.4	Suministro e instalación de geomembrana	m2	178.92	\$ 7.82	\$ 1,399.15
4.5	Suministro e instalación de geotextil	m2	178.92	\$ 9.18	\$ 1,642.49
4.6	Suministro e instalación de celda de almacenamiento	m3	71.568	\$ 328.10	\$ 23,481.46
4.7	Jardinera	m2	178.92	\$ 20.95	\$ 3,748.37
5	Final				\$ 294.90
5.1	Limpieza final	m2	270.55	\$ 1.09	\$ 294.90
Total					\$ 48,834.24

Tabla 19

Presupuesto de alternativa 2 con veinte rejillas longitudinales.

No.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
1	Obras Preliminares				\$ 2,876.50
1.1	Limpieza de canales	m	877.40	\$ 2.15	\$ 1,886.41
1.1	Picado y levantado de hormigón incluye desalojo	m2	46.97	\$ 18.81	\$ 883.47
1.2	Replanteo y nivelación	m2	46.97	\$ 2.27	\$ 106.62
2	Excavación y rellenos				\$ 313.70
2.1	Excavación manual	m3	25.83	\$ 11.02	\$ 284.67
2.2	Relleno compactado con suelo natural	m3	5.64	\$ 5.15	\$ 29.03
3	Hormigones y acero				\$ 5,582.25
3.1	Replanteo de hormigón simple f'c=140 kg/cm2, e=5cm	m3	2.35	\$ 7.23	\$ 16.98
3.2	Malla electrosoldada 5 mm	m2	133.08	\$ 19.52	\$ 2,597.64

3.3	Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm ² , Incluye encofrado	m ³	25.83	\$ 114.88	\$ 2,967.63
4	Varios				\$ 29,887.68
4.1	Suministro e instalación de tubería	m	34	\$ 18.66	\$ 634.44
4.2	Rejilla longitudinal interceptora para canal de drenaje	m	156.56	\$ 186.85	\$ 29,253.24
5	Final				\$ 51.20
5.1	Limpieza final	m ²	46.97	\$ 1.09	\$ 51.20
Total					\$ 38,711.31

Como se observa en la Tabla 18 y Tabla 19 la diferencia entre desarrollar la alternativa 3 con: 4 rejillas longitudinales, 2 pavimentos permeables y 3 jardines de lluvia o la alternativa 2 con: 20 rejillas longitudinales es de \$10,122.93. Sin embargo, esta cifra es sin contar los costos de mantenimiento a largo plazo requeridos por las soluciones. Al considerar esto, como se observa en la Tabla 20, la alternativa 2 tiene un costo mayor en cuanto a mantenimiento que la alternativa 3, ya que este requiere de más mantenimiento. Por lo que, las soluciones verdes-azules representan una ganancia neta anual de \$1.100.

Tabla 20

Ganancia neta anual con respecto a las soluciones verdes-azules.

Soluciones	Mantenimiento	Costo	Cantidad al año	Costo anual	Costo anual total	Ganancia neta anual
Rejillas longitudinales	Limpieza	\$ 300.00	4	\$ 1,200.00	\$ 2,200.00	\$ 1,100.00
	Inspección y reparación	\$ 500.00	2	\$ 1,000.00		
Soluciones verdes-azules	Limpieza	\$ 500.00	1	\$ 500.00	\$ 1,100.00	
	Mantenimiento de vegetación	\$ 300.00	2	\$ 600.00		

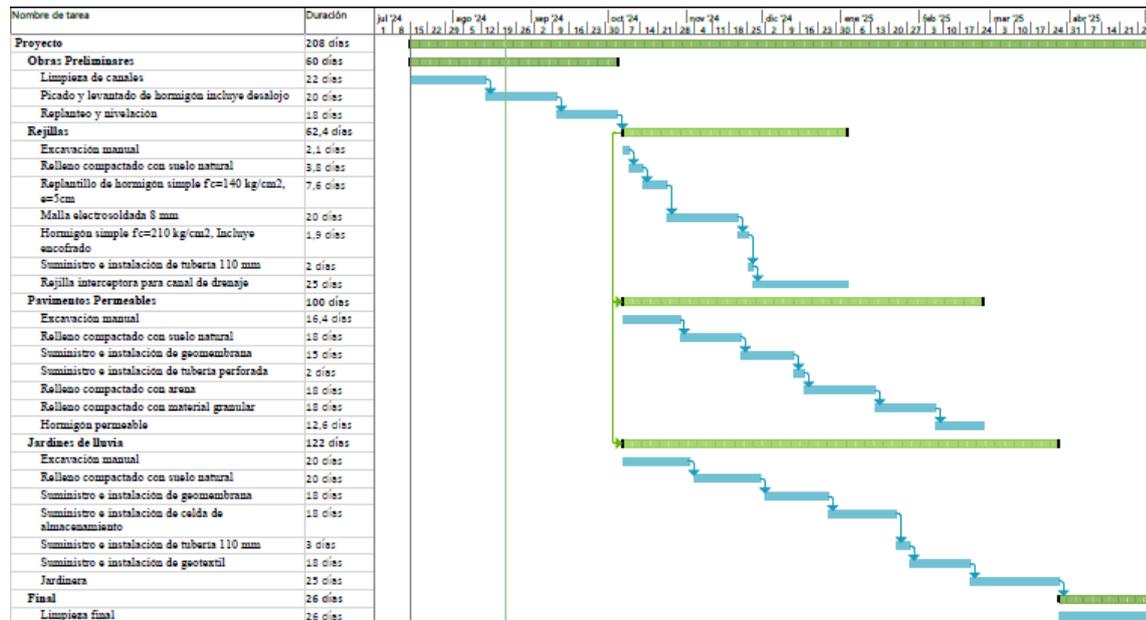
5.5 Cronograma de obra

El cronograma del proyecto fue desarrollado en el programa MS Project, como se observa en la Figura 58. La construcción de este proyecto tiene una duración de 208 días, es decir, 7

meses aproximadamente. Esta planificación se dividió en 4 partes, de las cuales la primera parte consta de las obras preliminares y las otras incluyen la construcción de las soluciones que pueden ser realizadas simultáneamente, por último, se tiene la limpieza final.

Figura 57

Cronograma del Proyecto Integrador



Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De acuerdo a la información obtenida por GIF ESPOL, fue posible determinar que los canales poseen un buen estado. Sin embargo, también es notable que estas zanjas no han tenido ningún tipo de mantenimiento, lo que produce ciertas obstrucciones en el sistema de drenaje. Esta situación trae como consecuencia la disminución de su sección hidráulica. Aun así, según los resultados del programa se determinó que no es el causante principal de estas inundaciones, porque según el perfil de los canales, aunque se acumula el agua en la parte más baja, no se debe a la funcionalidad del canal. Por tanto, se concluye que los canales no están trabajando adecuadamente, porque el agua de lluvia no está llegando hacia ellos. Mas bien la escorrentía superficial que no llega necesita ser captada para redirigirla hacia el sistema de drenaje pluvial.

Se concluye con los resultados obtenidos por el software que las Soluciones grises-azules-verdes son la más efectivas, ya que logran una reducción de 14 cm de altura de inundación, lo que representa una disminución del 75% en comparación con la solución BAU con una altura de inundación de 60 cm. Las soluciones grises también mejoran significativamente la problemática, con una reducción de 28 cm, pero aun así tienen menos eficacia que las soluciones verde-azules-grises. Además, en cuanto a las horas y tasa de inundación presenta una disminución de 76% y 66% respectivamente, en comparación al sistema actual. Por lo tanto, estas soluciones basadas en la naturaleza ofrecen una mayor optimización en la gestión de aguas lluvias, ya que reducen más del 50% que se obtiene al solo usar rejillas longitudinales.

Con respecto al ámbito económico, las Soluciones grises-azules-verdes poseen una diferencia de \$10,122.93 en el costo inicial, debido a su valor añadido en el sentido de novedad, desempeño y personalización. En novedad, ya que son soluciones que recién se están explorando que buscan ser más sostenibles al replicar las características de la naturaleza, lo que es bueno para la universidad, ya que de acuerdo con QS World University Rankings ESPOL es una de las universidades sostenibles del Ecuador. En desempeño, ya que no solo captan el agua como pasa con las rejillas longitudinales que son parte de las soluciones grises; sino que también retiene el agua de lluvia provocando un retardo, lo que conlleva a que no se exceda la capacidad de los canales. Por último, personalización, ya que se utilizan varias soluciones para la problemática que se ajustan según la necesidad de cada ubicación. Además, estas soluciones suelen requerir menos mantenimiento a largo plazo a comparación de las soluciones grises y pueden significar un ahorro en otros sistemas al implementar junto con el jardín de lluvia con celda de almacenamiento un desarenador y una bomba para reutilizar el agua de pluvial.

En conclusión, las medidas verdes-azules-grises reflejan su efectividad de aplicación, no solo por mejorar el estado actual de la problemática, sino también en el ámbito técnico, al representar una mayor optimización para el sistema de drenaje pluvial, gracias a sus características basadas en la naturaleza que les permite filtrar el agua, lo que no admite que se colapse el sistema a pesar de eventos extremos. En el ámbito medioambiental, ya que mejoran la calidad del agua y del aire. En el ámbito económico, que, a pesar de tener un costo inicial mayor, es más rentable a largo plazo porque no requiere tanto mantenimiento. Además, estas soluciones aportan a la parte estética del campus, que también influyen en el bienestar de la comunidad.

6.2 Recomendaciones

Se requiere más información como el catastro de cámaras de inspección, en el que incluya longitudes, pendientes, diámetros y direcciones, con el fin de conocer mejor el funcionamiento y conexión del sistema de drenaje, así mismo analizar otras áreas del campus como el comedor “Good Vibes” ubicado en tecnologías que según un reporte de GIF presenta inundaciones u otras zonas que puedan presentar futuros inconvenientes similares.

Se sugiere emprender un estudio geotécnico para que los parámetros del suelo que se deben ingresar en el software como su: conductividad, porosidad, capacidad de retención, sean más apegados a la realidad, permitiendo afinar los resultados.

Se recomienda analizar la factibilidad de uso de otras medidas LID, como techos verdes, zanjas de infiltración, barriles de lluvia, entre otras. Dado que se pueden llegar a condiciones más adecuadas dentro del sistema, según las soluciones que se apliquen y en qué porcentaje se apliquen dentro de cada microcuenca.

A pesar de que las obstrucciones por falta de mantenimiento en el sistema no son el principal factor desencadenante de las inundaciones, se recomienda dar un mantenimiento regular a los canales, ya que con el pasar del tiempo se puede llegar a agravar más la problemática (Véase la Figura 2).

Se recomienda analizar la calidad del agua, ya que el software permite ver los cambios de este parámetro dependiendo de cada solución que se aplique en el sistema. Al realizar esto es posible calcular la cantidad de contaminantes eliminados en el agua gracias a las soluciones verdes-azules. Este dato permitiría cuantificar los beneficios ambientales.

Referencias

Autoras. (2024). Google Earth [Fotografía]. Google Earth. Google Earth

Colpeaton. (2020). Pozos de inspección [Fotografía]. <https://colpeaton.co/portfolio-item/pozos-de-inspeccion>

Barbour. (2015). Hauraton channel system at Darwen Vale High School [Fotografía]. <https://www.barbourproductsearch.info/hauraton-channel-system-at-darwen-vale-high-school-news024797.html>.

Gobierno Municipal de Zapotlán. (2024). Construcción de Drenaje Pluvial en Arroyo Los Guayabos [Fotografía]. <http://www.ciudadguzman.gob.mx/Pagina.aspx?id=3d1dc6e4-e87b-43dc-86b7-09bcfae18434>

Cementos INKA. (2019). Cunetas como parte del drenaje pluvial de una carretera [Fotografía]. <https://www.cementosinka.com.pe/blog/tipos-de-cunetas-el-drenaje-en-las-carreteras/>

Pircher Oberland Srl. (2024). Sistemas de recolección de aguas lluvias [Fotografía]. <https://www.pircher.eu/>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2015). DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN Versión (2) [Fotografía].

Ibáñez, S. A., Moreno, H. R., & Gisbert, J. B. (n.d.). Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c). [Fotografía]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%20c3%ada.pdf>

Interagua. (n.d.). Ecuaciones de intensidad de precipitación según la frecuencia [Fotografía].

Norma de Interagua.

- Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional de Loja.
- AJUSTE Y REVISION DEL PLAN MAESTRO AGUA POTABLE; ALCANTARILLADO SANITARIO y ALCANTARILLADO PLUVIAL TOMO I (2016).
- Angela, C. B., Javier, C. J., Teresa, G. M., & Marisa, M. H. (2015). Hydrological evaluation of a peri-urban stream and its impact on ecosystem services potential. *Global Ecology and Conservation*, 3, 628–644. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.008>
- Assaf, M. N., Manenti, S., Creaco, E., Giudicianni, C., Tamellini, L., & Todeschini, S. (2024). New optimization strategies for SWMM modeling of stormwater quality applications in urban area. *Journal of Environmental Management*, 361. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121244>
- Bermúdez-Valero, M. (2021). *SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN AMÉRICA LATINA*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Caxi, A. A. (2017). *Generación de escorrentía, disponibilidad de agua y usos del suelo* [UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI]. https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/336/Caxi%20Arcata%20Arnold%20Kevin_trabajo%20de%20suf%20prof_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chapman, C., & Hall, J. W. (2022). Designing green infrastructure and sustainable drainage systems in urban development to achieve multiple ecosystem benefits. *Sustainable Cities and Society*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104078>
- Chen, C. F., Chen, Y. W., Lin, C. H., & Lin, J. Y. (2024). Field performance of 15 rain gardens in different cities in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 947. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174545>
- Chiapparelli, G., & Vagge, I. (2023). Cities vs countryside: An example of a science-based peri-urban landscape features rehabilitation in Milan (Italy). *Urban Forestry and Urban Greening*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128002>
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2012). *Hidrología Aplicada*. McGRAW W-HILL.
- Cubides, E., & Santos, G. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32–42. <https://doi.org/10.31908/19098367.3813>

- Curo, R. S. (2020). *MODELAMIENTO HIDRAULICO DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACION EN LA EVACUACION DE LAS AGUAS PLUVIALES DE LA CIUDAD DE HUANCAYO* [UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES].
https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/2667/T037_46343881_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fayomi, G. U., Onyari, E. K., & Jaiyeola, A. T. (2024). Quantitative assessment of open drainage and storm water runoff capacity in Nigeria: Consequences and way forward. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100766>
- Geldres, M. (2020). *Propuesta del sistema de drenaje pluvial urbano del distrito de Iquitos* [Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/6637>
- Gimenez-Maranges, M., Breuste, J., & Hof, A. (2021). A new analytical tool for a more deliberate implementation of Sustainable Drainage Systems. *Sustainable Cities and Society*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102955>
- Interagua. (2018). *NORMAS Y CRITERIOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL*.
- Jiménez, D. R., & Mozo, W. M. (2021). *GUÍA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLADOS* [Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/37751/2021DannaJimenez.pdf?sequence=1>
- Lala-Ayo, H. D., & Fernández-Quintana, M. (2020). Analysis of the sustainability through water footprint in the Pita River microbasin, Ecuador. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 11(1), 169–234. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-01-05>
- Li, S., Leitão, J. P., Wang, Z., & Bach, P. M. (2024). A drainage network-based impact matrix to support targeted blue-green-grey stormwater management solutions. *Science of the Total Environment*, 912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168623>
- Lozano-Trejo, S., Olazo Aquino, J., Pérez-León, M. I., Castañeda-Hidalgo, E., Díaz-Zorrilla, G. O., & Santiago-Martínez, G. M. (2020). Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(1), 57. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.443>
- Luna, P. D. (2022). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/21652>

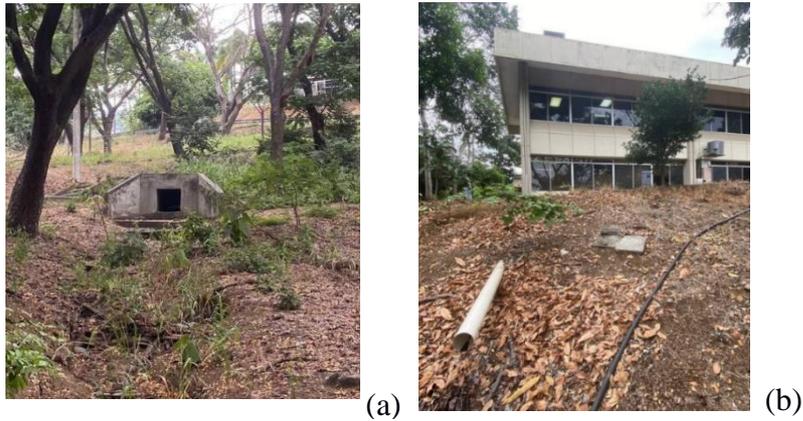
- Otalora, E. (2018). *Propuesta de alcantarillado pluvial para garantizar el drenaje para la escorrentía superficial – Barrio San Vicente suroriental, localidad de San Cristóbal – Bogotá D.C.* <https://hdl.handle.net/10983/22829>
- Parada-Molina, P. C., Suárez Guerrero, A. I., Jiménez Huerta, J., Cervantes Pérez, J., & Silva Blanco, L. A. (2020). Drenaje urbano sostenible: una alternativa para Xalapa, Veracruz, México. *Sociedad y Ambiente*, 23, 1–23. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2201>
- Ramírez, Y., Giraldo, L., Zúñiga, M., Ramos, B., & Chará, J. (2018). Influencia de la ganadería en los macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i3.30316>
- Sánchez, J. A. (2018). *INSTRUCTIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14215/SanchezAvellanedaJohnEdisonAnexo-1.pdf?sequence=2>
- Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, Ó., & Romero Aravena, H. (2017). TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL NORTE GRANDE DE CHILE Y SU RELACIÓN CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO PRECIPITATION TRENDS IN THE CHILEAN NORTE GRANDE AND ITS RELATIONSHIP WITH CLIMATE CHANGE PROJECTIONS. *No*, 54, 41–50. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812017000300041>
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). *MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL*. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/rgac.v0i23.8579>
- Soto-Montes-de-Oca, G., Cruz-Bello, G. M., & Bark, R. H. (2023). Enhancing megacities' resilience to flood hazard through peri-urban nature-based solutions: Evidence from Mexico City. *Cities*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104571>
- Thorn, J. P. R., Biancardi Aleu, R., Wijesinghe, A., Mdongwe, M., Marchant, R. A., & Shackleton, S. (2021). Mainstreaming nature-based solutions for climate resilient infrastructure in peri-urban sub-Saharan Africa. *Landscape and Urban Planning*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104235>
- Velazco, A., & Gonzales, A. (2014). *Sistema de Drenaje Pluvial para el Distrito de Mariano Melgar, Arequipa* [Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4669>

- Vera Muthre, C., Nieto, J. J., & Sanga Suárez, C. (2009). *Análisis Hidrológico de la Cuenca del Cerro Colorado y su Interacción con la Autopista Terminal Terrestre-Pascuales*.
- Wang, J., Liu, J., Mei, C., Wang, H., & Lu, J. (2022). A multi-objective optimization model for synergistic effect analysis of integrated green-gray-blue drainage system in urban inundation control. *Journal of Hydrology*, 609.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127725>
- Yang, B., Zhang, T., Li, J., Feng, P., & Miao, Y. (2023). Optimal designs of LID based on LID experiments and SWMM for a small-scale community in Tianjin, north China. *Journal of Environmental Management*, 334.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117442>
- Yin, D., Zhang, X., Cheng, Y., Jia, H., Jia, Q., & Yang, Y. (2023). Can flood resilience of green-grey-blue system cope with future uncertainty? *Water Research*, 242.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120315>
- Zhang, Q., Gong, J., & Wang, Y. (2024). How resilience capacity and multiple shocks affect rural households' subjective well-being: A comparative study of the Yangtze and Yellow River Basins in China. *Land Use Policy*, 142.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107192>
- Zhu, H., Yu, M., Zhu, J., Lu, H., & Cao, R. (2019). Simulation study on effect of permeable pavement on reducing flood risk of urban runoff. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 373–382.
<https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.12.001>

PLANOS Y ANEXOS

Figura 58

Tipos de desfogue del drenaje pluvial de la zona 5



Nota. (a) Desfogue al terreno natural del canal *h*; (b) Desfogue de tubería bajante hacia el terreno natural del bloque 5B.

Figura 59

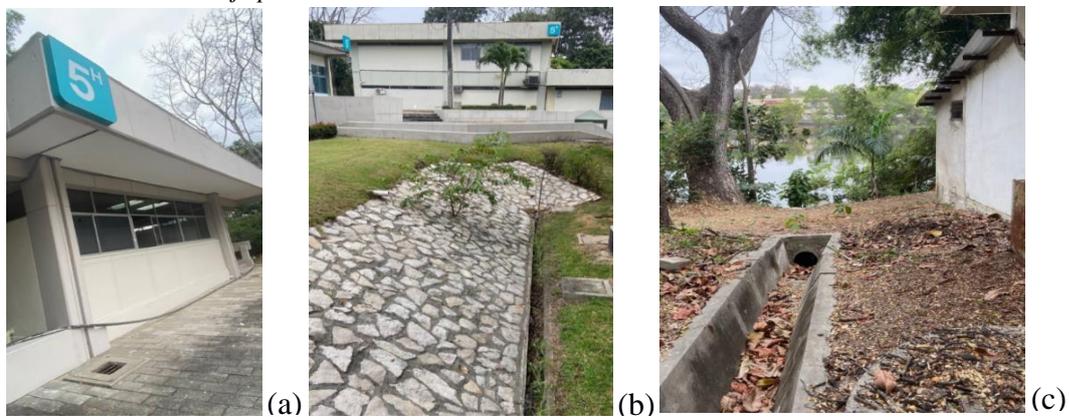
Elementos del drenaje pluvial de la zona 5



Nota. (a) Inicio del canal *iV* frente al bloque 5A; (b) Inicio del canal *iV* al lado del bloque 5G; (c) Conexión del canal *iV* hacia la cámara #1010.

Figura 60

Elementos del drenaje pluvial de la zona 5



Nota. (a) Tubería bajante de bloque 5H con conexión a sumidero; (b) Terraplén con cuneta *iN*; (c) Desfogue del canal *i* hacia el lago.

Figura 61

Canales y cuneta del drenaje pluvial de la zona 7



Nota. (a) Inicio del canal S; (b) Tramo A-A' de la cuneta BR; (c) Tramo B-B' de canales BD y BI.

Figura 62

Elementos del drenaje pluvial de la zona 7



Nota. (a) tuberías de drenaje para muro de contención y sumidero; (b) Sumidero con intervención del sistema de riego.

Figura 63

Cámara de inspección #1011 de la zona 7



Nota. Cámara de inspección

Figura 64

Entradas a cruces viales del drenaje pluvial de la zona 8



(a)

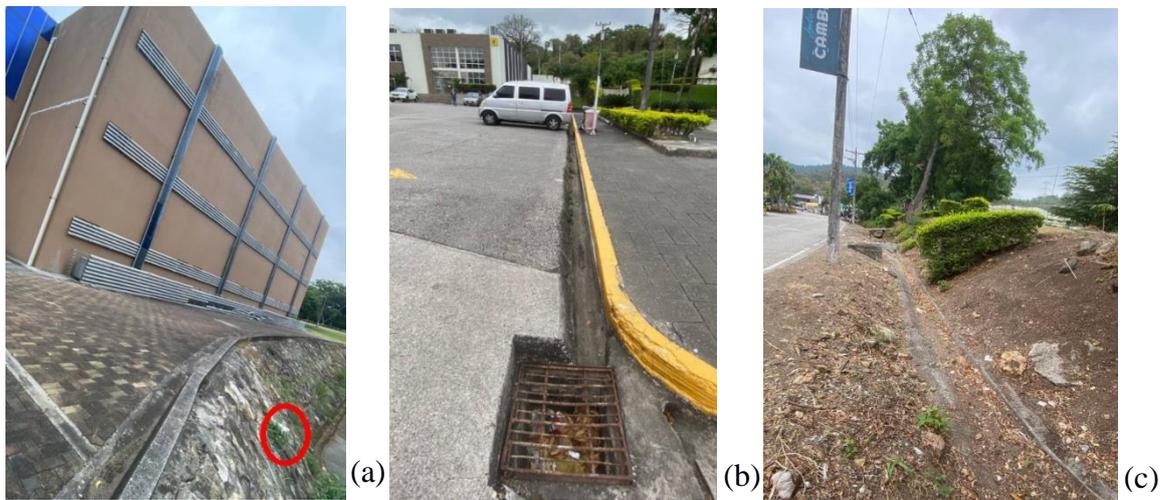


(b)

Nota (a) Inicio del cruce vial CV1 para el canal principal; (b) Inicio del cruce vial CV2 para el canal principal.

Figura 66

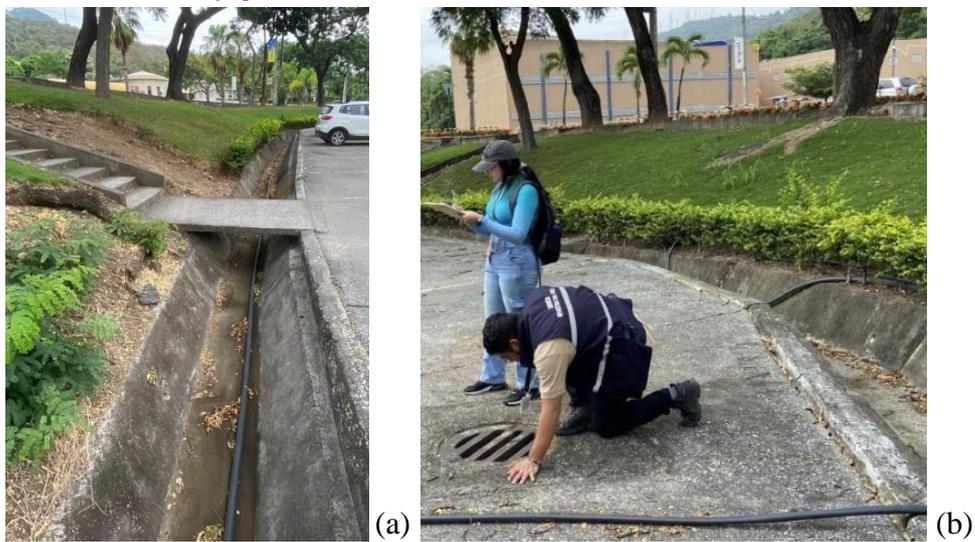
Elementos del drenaje pluvial de la zona 8



Nota. (a) Tubería bajante del bloque 8G que aporta al canal CI; (b) Cuneta y sumidero del parqueadero que aporta al canal CX; (c) Final de canal CX.

Figura 65

Elementos del drenaje pluvial de la zona 9



Nota. (a) Tramo A-A' del canal PF; (b) Cámara #1019 frente al canal PF.

Figura 67

Canales del drenaje pluvial de la zona 9



(a)



(b)

Nota. (a) Tramo D-D' del canal A; (b) Tramo de unión E-E' del canal A con el canal principal C.

Figura 68

Conexión al canal principal del drenaje pluvial de la zona 9



(a)

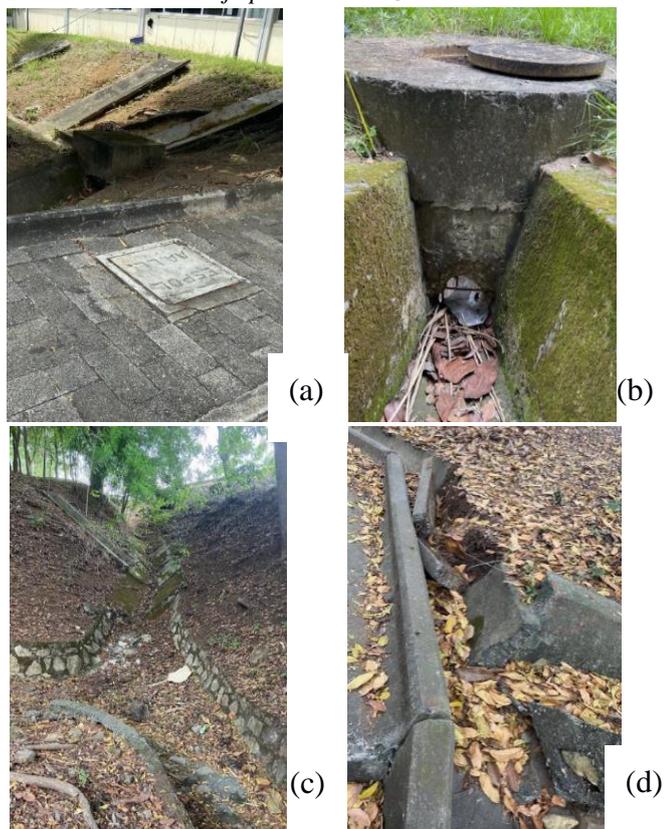


(b)

Nota. (a) Tramo B-B' del canal B; (b) Tramo C-C' del canal B con conexión a cámara #1012.

Figura 69

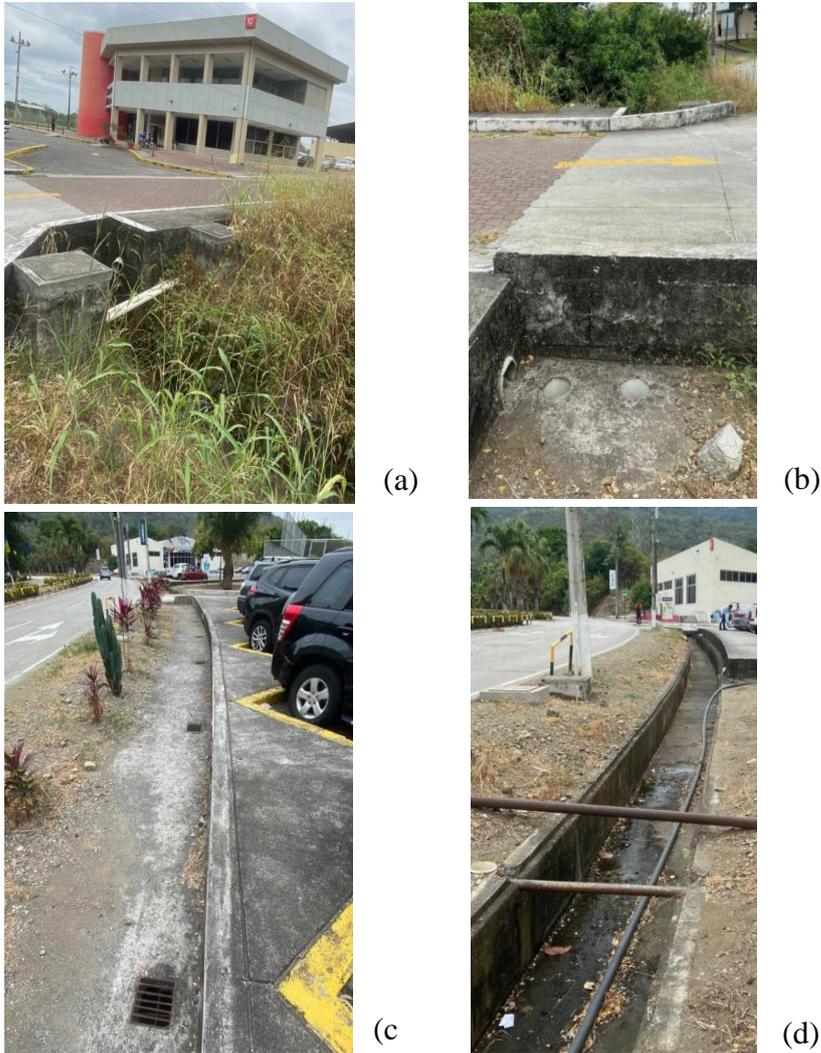
Elementos del drenaje pluvial de la zona 9



Nota. (a) Canal VI con cámara “AA.LL”; (b) Unión de canal B con cámara #1012; (c) Ramificación de canal BI; (d) Tramo de canal BI.

Figura 70

Elementos del drenaje pluvial del canal UBP de la zona 10



Nota. (a) Desfogue A-A' del canal *UBP*; (b) Tramo B-B' del canal *UBP*; (c) Tramo C-C' del canal *UBP*; (d) Tramo D-D' del canal *UBP*.

Figura 71

Cunetas del drenaje pluvial de la zona 10



(a)



(b)

Nota. (a) Inicio de la cuneta *TM*; (b) Cuneta frente al bloque 10

Figura 72

Coliseo con código de bloque AD4 ubicado en la zona 10



(a)



(b)

Nota. (a) Canaleta y tubería bajantes conectadas a sumideros del coliseo; (b) Desfogue al terreno natural de instalación de aguas lluvias del coliseo.

Figura 73

Elementos del drenaje pluvial de la zona 11



Nota. (a) Cámara #1029; (b) Tubería saliendo de muro de contención; (c) Interceptor.

Figura 74

Cámaras del drenaje pluvial de la zona 12



Nota. (a) Catastro de cámara #1027; (b) Catastro de cámara #1033; (c) Catastro de cámara #1039; (d) Cámara con conexión de alcantarillado pluvial y sanitario.

Figura 75

Entrada del cruce vial CV8 y salida SN del drenaje pluvial de la zona 12



(a)



(b)

Nota. (a) Entrada del cruce vial CV8 obstaculizada por vegetación; (b) Salida de cruce SN.

Figura 76

Cámaras del drenaje pluvial de la zona 13



(a)

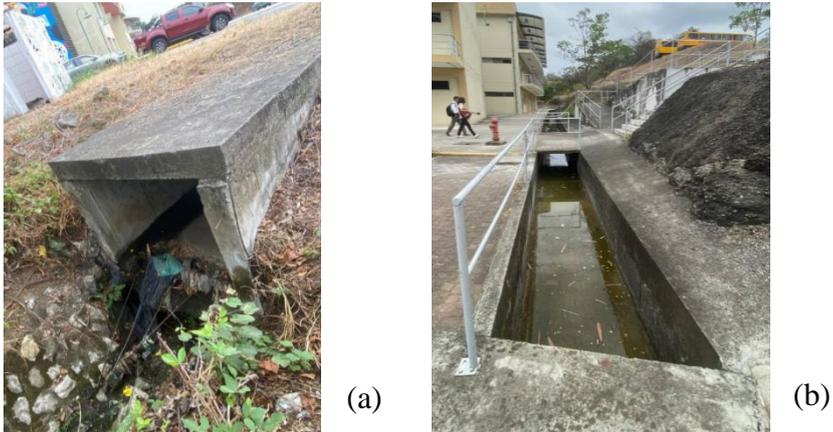


(b)

Nota. (a) Cámara #1051 bajo tierra; (b) Catastro de cámara #1047.

Figura 77

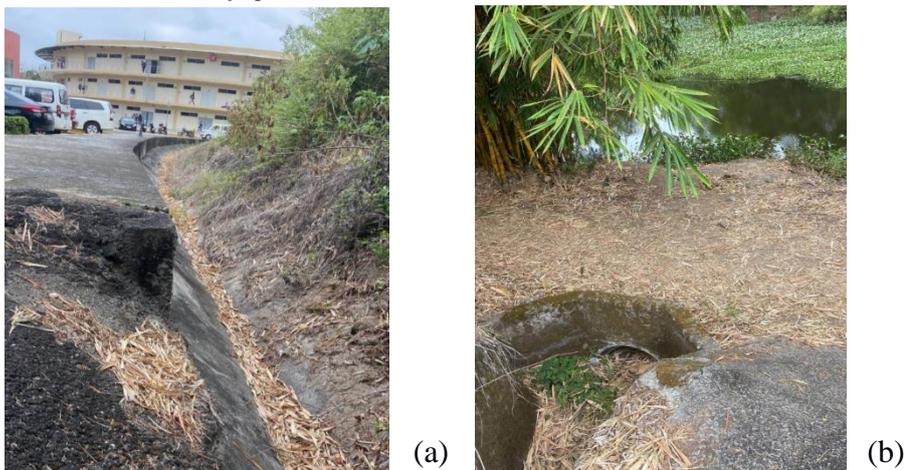
Canal f del drenaje pluvial de la zona 14



Nota. (a) Desfogue al terreno natural del canal *f*; (b) Intersección entre canales *e* y *f*.

Figura 78

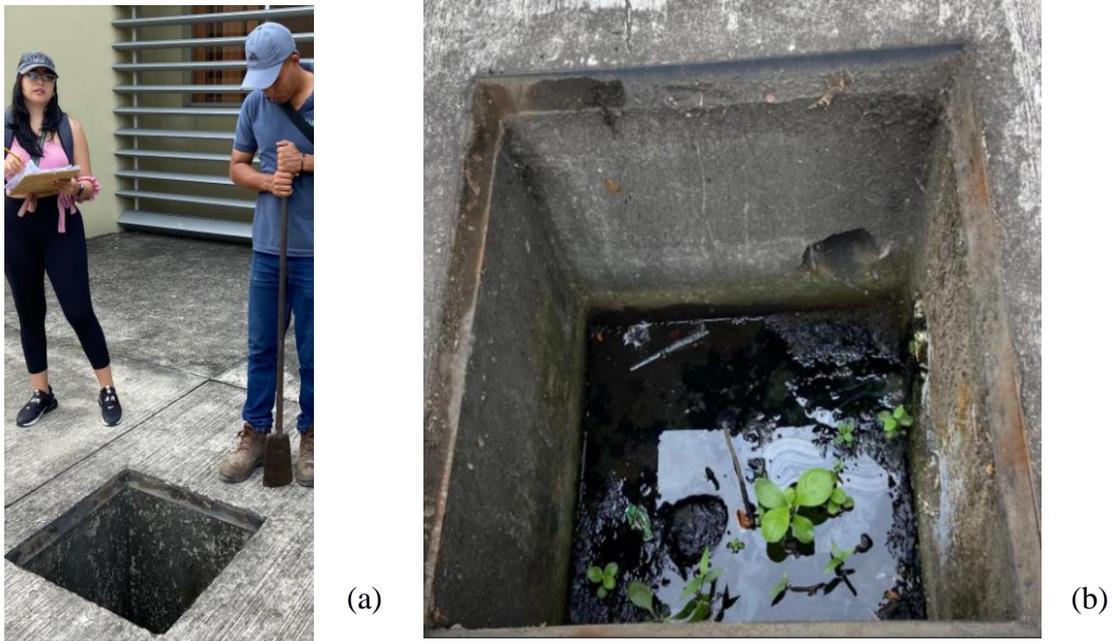
Canal FCD del drenaje pluvial de la zona 14



Nota. (a) Canal *FCD*; (b) Desfogue del canal *FCD* hacia el lago.

Figura 79

Cámaras del drenaje pluvial de la zona 14



Nota. (a) Cámara #1059; (b) Cámara con agua estancada.

Figura 80

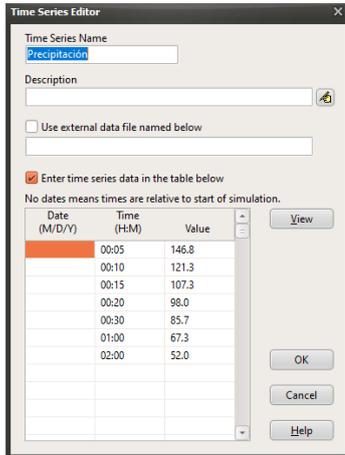
Ingreso de datos de microcuencas en el programa SWMM

Property	Value
Name	M18
X-Coordinate	8947.136
Y-Coordinate	3431.957
Description	
Tag	
Rain Gage	LL1
Outlet	P1
Area	0.56
Width	500
% Slope	0.03
% Imperv	25
Min. Inflow	0.01

User-assigned name of subcatchment

Figura 81

Datos de intensidad de lluvia ingresados en el programa SWMM



Nota. Datos de lluvia para un período de retorno de 10 años.

Figura 82

Gráfico de intensidad de lluvia vs tiempo, obtenidos del programa SWMM

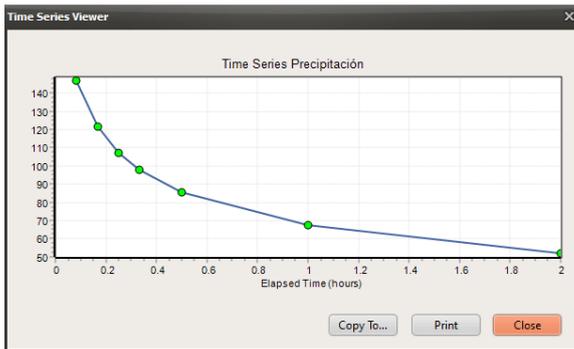


Figura 83

Número de curva para el tipo de suelo y su uso según el manual de usuario del software SWMM

Descripción del Uso del Suelo	Tipo de Suelos			
	A	B	C	D
Tierra cultivada				
Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastos y prados				
En malas condiciones	68	79	86	89
En buenas condiciones	39	61	74	80
Pradera				
En buenas condiciones	30	58	71	78
Terreno boscoso				
Poco denso, cubierta forestal pobre o inexistente	45	66	77	83
Buena cubierta forestal ¹	25	55	70	77
Espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.)				
En buenas condiciones (75% o más de hierba)	39	61	74	80
En pobres condiciones (50-75% de hierba)	49	69	79	84
Zonas comerciales (85% impermeable)	89	92	94	95
Polygonos industriales (72% impermeable)	81	88	91	93
Zona residencial ¹				
Tamaño medio de la parcela ² (% Impermeabilidad ³)				
< 500 m ² (65%)	77	85	90	92
1000 m ² (38%)	61	75	83	87
1500 m ² (30%)	57	72	81	86
2000 m ² (25%)	54	70	80	85
4000 m ² (20%)	51	68	79	84
Aparcamientos pavimentados, tejados, caminos asfaltados, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentados, con cunetas y colectores de drenaje	98	98	98	98
Caminos de grava	76	85	89	91
Súccios	72	82	87	89

Figura 84*Tipos de suelo según el manual de usuario del software SWMM*

Tipo	Descripción	K (mm/h)
A	Bajo potencial de escorrentía. Suelos con una alta tasa de infiltración incluso cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en arenas y gravas con drenaje profundo entre bueno y excesivo.	≥ 11
B	Suelos con tasa de infiltración media cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos con drenaje profundo a moderado y textura de grano mediano. Ejemplos: marga arenosa o <i>loess</i> poco profundo.	3,75 – 7,5
C	Suelos con tasa de infiltración baja cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos con una capa que impide el flujo de agua hacia abajo, o suelos con textura de grano fino. Ejemplos: marga arcillosa o marga arenosa poco profunda.	1,25 – 3,75
D	Alto potencial de escorrentía. Suelos con tasa de infiltración muy baja cuando están completamente mojados. Consisten principalmente en suelos arcillosos con un alto potencial de expansión, con un nivel freático permanentemente alto, con cubierta de arcilla en o cerca de la superficie y suelos poco profundos con una capa impermeable cerca de la superficie.	$\leq 1,25$

Tabla 21*Información de canales*

TRAMO	ABSCISAS	FIGURA	SIMETRIA	L (m)	BASE	BASE	LADO	LADO	H
					SUP. (B)	INF. (b)	DERC. (d)	IZQ. (i)	
RF1	0	trapezoidal	regular	8	1	0,5	0,61	0,52	0,452
RF2	8	trapezoidal	regular	10,3	1,2	0,58	0,64	0,63	0,547
RF3	18,3	trapezoidal	regular	4,1	1,2	0,63	0,63	0,6	0,541
RF4	22,4	trapezoidal	regular	4,2	1,2	0,56	0,58	0,62	0,519
RF5	26,6	trapezoidal	regular	4,15	1,2	0,52	0,58	0,67	0,506
RF6	30,75	trapezoidal	regular	18,3	1,23	0,6	0,71	0,64	0,593
RF7	49,05	trapezoidal	regular	14,9	1,26	0,57	0,67	0,64	0,534
RF8	63,95	trapezoidal	regular	3	1,24	0,61	0,6	0,66	0,584
RF9	66,95	trapezoidal	regular	9,45	1,01	0,58	0,59	0,58	0,522
RF10	76,4	trapezoidal	regular	9,3	1,18	0,58	0,61	0,61	0,544
RF11	85,7	trapezoidal	regular	14,45	1,2	0,56	0,62	0,63	0,535
RF12	100,15	trapezoidal	regular	5,3	1,23	0,71	0,66	0,64	0,53
RF13	105,45	trapezoidal	regular	4,2	1	0,38	0,72	0,66	0,581

RF14	109,65	trapezoidal	regular	23,67	1,86	1,75	0,66	0,65	0,7
RF15	133,32	trapezoidal	regular	0,33	1,4	1,1	0,7	0,65	0,525
RF16	133,65	trapezoidal	regular	15	1,72	1,3	0,6	0,57	0,812
RF17	148,65	trapezoidal	regular	2	1,24	0,59	0,67	0,64	0,587
RF18	150,65	trapezoidal	regular	7	1,58	0,9	0,67	0,63	0,57
RF19	157,65	trapezoidal	irregular	4	1,2	0,51	0,69	0,65	0,618
RF20	161,65	trapezoidal	regular	2,7	1,26	0,55	0,7	0,71	0,592
RF21	164,35	trapezoidal	regular	3,3	1,28	0,59	0,65	0,67	0,63
RF22	167,65	trapezoidal	regular	28	1,33	0,47	0,72	0,71	0,642
RF23	195,65	trapezoidal	regular	2,5	1,28	0,58	0,68	0,72	0,572
RF24	198,15	trapezoidal	regular	1	1,24	0,6	0,725	0,69	0,649
RF25	199,15	trapezoidal	regular	17,9	1,64	1,1	0,735	0,69	1,007
RF26	217,05	trapezoidal	regular	11,6	1,67	1,4	0,57	0,67	1,012
RF27	228,65	trapezoidal	regular	16,3	1,1	0,58	1,06	1,07	0,943
RF28	244,95	trapezoidal	regular	22,3	1,12	0,61	1,04	1,01	81,614
RF29	267,25	trapezoidal	regular	2,9	0,96	0,5	1,17	1,15	1,137
RF30	270,15	trapezoidal	regular	3,2	0,84	0,55	0,75	0,81	0,69
RF31	273,35	trapezoidal	regular	3,6	0,93	0,55	0,71	0,63	0,685
RF32	276,95	trapezoidal	regular	4,7	0,95	0,52	0,75	0,65	0,715
RF33	281,65	trapezoidal	regular	8	0,97	0,53	0,6	0,64	0,685
RF34	289,65	trapezoidal	regular	4	1,1	0,5	1,01	1,03	0,956
RF35	293,65	trapezoidal	regular	3	1,4	0,64	1	0,9	0,846
RF36	296,65	trapezoidal	regular	3	1,56	0,76	1,04	0,84	0,73
RF37	299,65	trapezoidal	regular	8	1,14	0,53	0,61	0,62	0,487
RF38	307,65	trapezoidal	regular	12	1,21	0,55	0,6	0,57	0,492

RF39	319,65	trapezoidal	regular	7	1,24	0,64	0,57	0,52	0,362
RF40	326,65	trapezoidal	regular	20	1,28	0,52	0,59	0,64	0,475
RF41	346,65	trapezoidal	regular		1,3	0,6	0,64	0,61	0,489

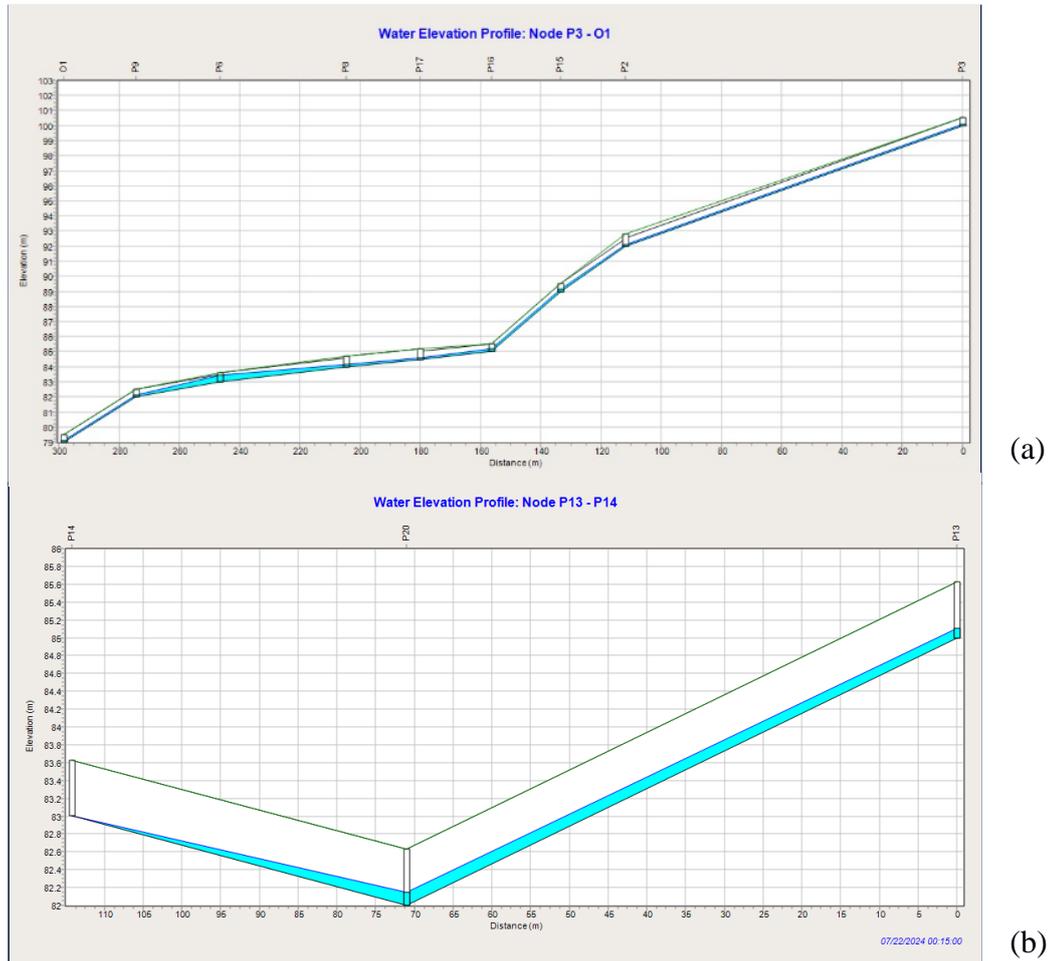
Figura 85

Valores de coeficiente n de Manning para flujo en canales abiertos, manual de usuarios de SWMM

Material del conducto	<i>n</i>
Canales revestidos:	
De asfalto	0,013 - 0,017
De ladrillo	0,012 - 0,018
De hormigón	0,011 - 0,020
De escombros	0,020 - 0,035
De vegetación	0,03 - 0,04
Excavado o en zanja:	
En tierra, recto y uniforme	0,020 - 0,030
En tierra, con curvas o no uniforme	0,025 - 0,040
En roca	0,030 - 0,045
Sin mantenimiento	0,05 - 0,14
Canales o cauces naturales ⁸ :	
Sección más o menos regular	0,03 - 0,07
Sección irregular con charcos	0,04 - 0,10

Figura 86

Perfil de canales del drenaje para la alternativa 1, BAU



Nota. (a) Perfil de canales RF, RF1, RF2, RF3, b, g y SC; (b) Perfil del canal S.

Figura 87

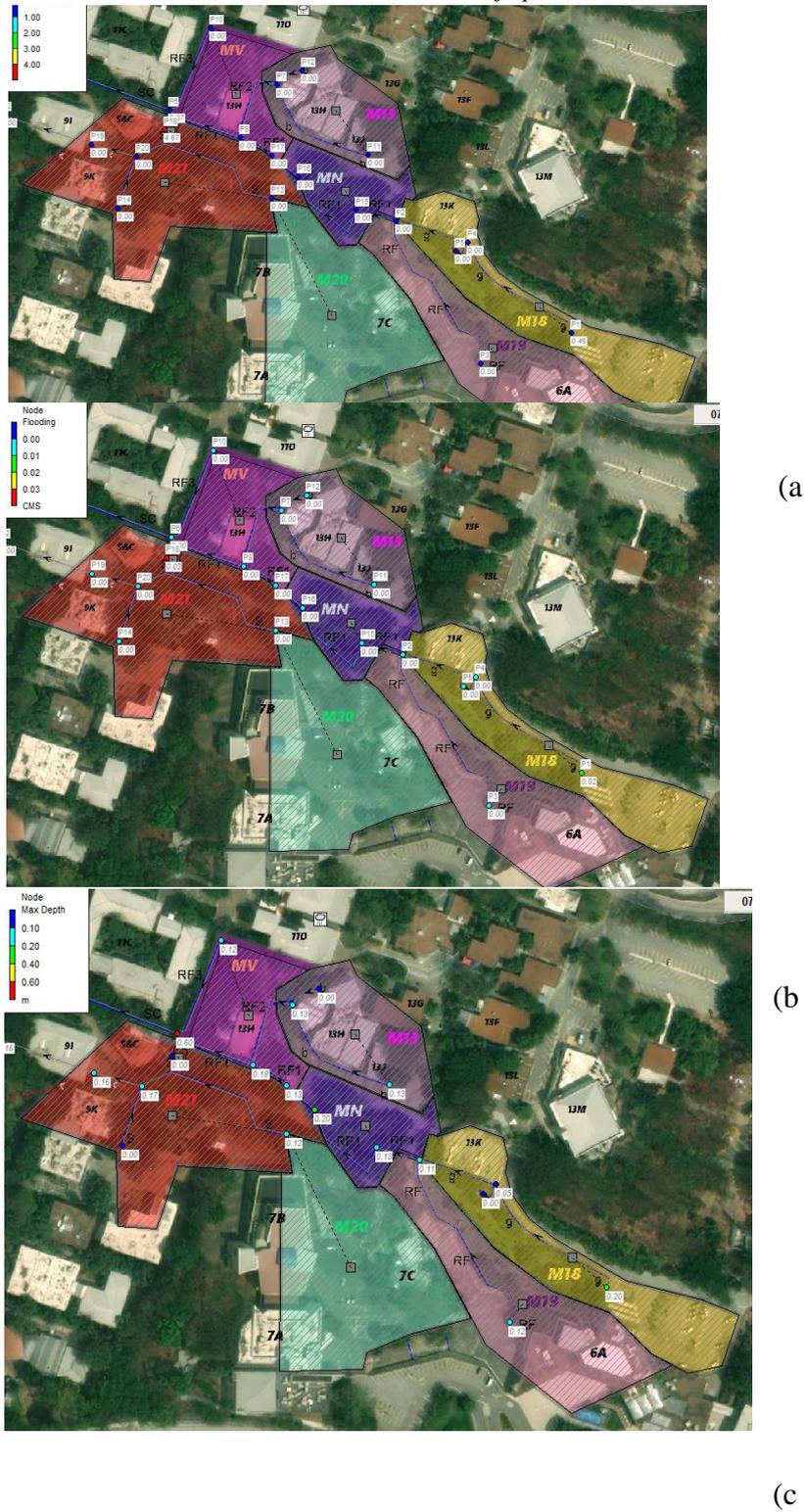
Tabla de escorrentía superficial de micro y nanocuenas para la alternativa 1, BAU

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 ^{^6} ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
N11	56.53	0.00	0.00	22.48	14.16	22.78	36.94	0.07	0.04	0.653
MN	56.53	0.00	0.00	22.90	14.23	20.70	34.94	0.08	0.04	0.618
M13	56.53	0.00	0.00	23.61	14.41	19.24	33.65	0.13	0.07	0.595
MV	56.53	0.00	0.00	23.61	14.44	19.17	33.61	0.09	0.05	0.595
M20	56.53	0.00	0.00	24.31	14.60	18.29	32.89	0.26	0.12	0.582
M19	56.53	0.00	0.00	24.31	14.53	18.30	32.83	0.21	0.10	0.581
M18	56.53	0.00	0.00	24.31	14.60	18.17	32.77	0.18	0.08	0.580
M21	56.53	0.00	0.00	25.72	14.73	16.53	31.25	0.26	0.11	0.553

Nota. Microcuenas con identificación M y nanocuenas con identificación N.

Figura 88

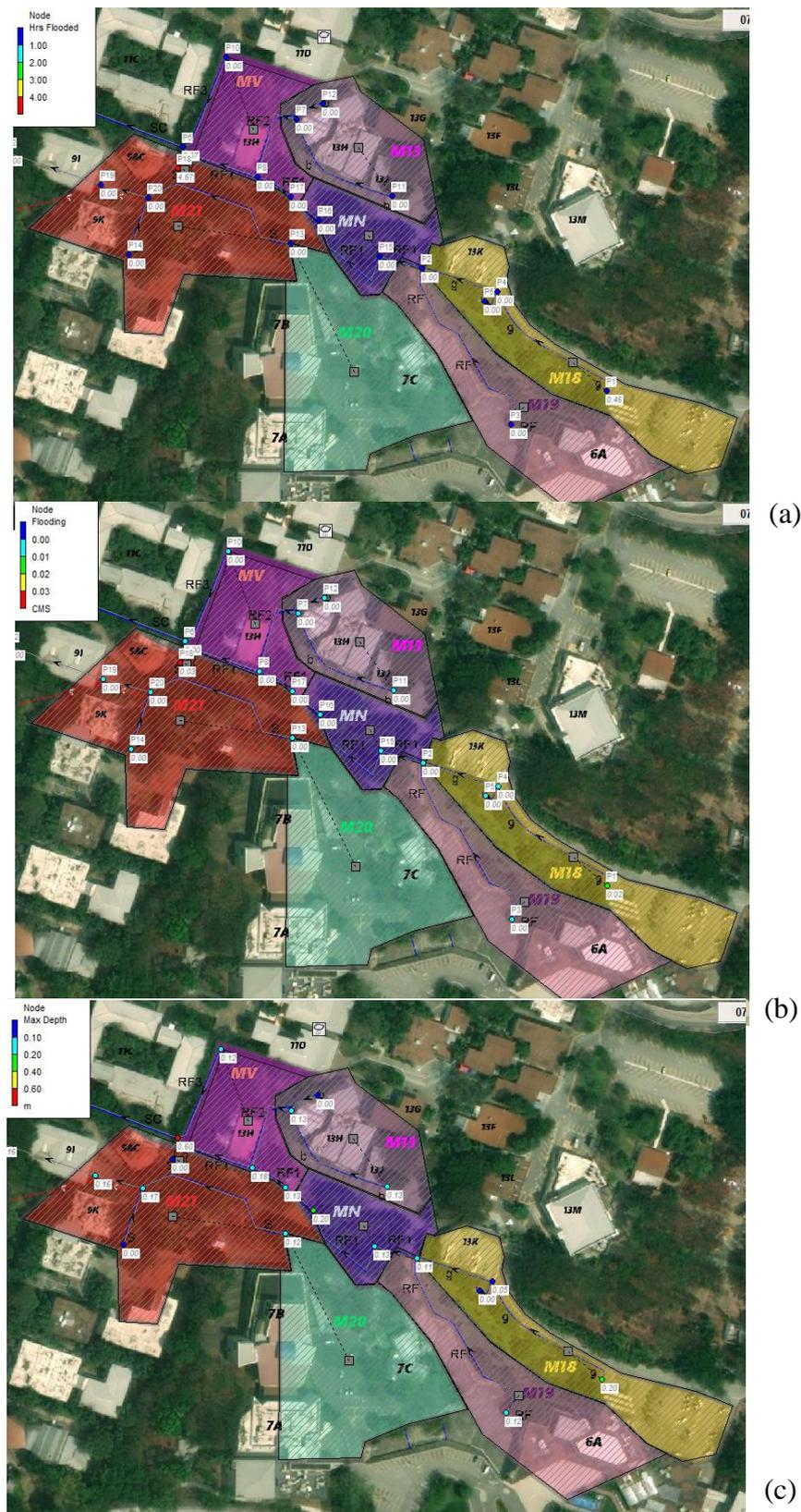
Datos de inundación en diversos términos del drenaje para la alternativa 1, BAU



Nota. (a) Horas (h); (b) Tasas (m^3/s); (c) Altura (cm).

Figura 89

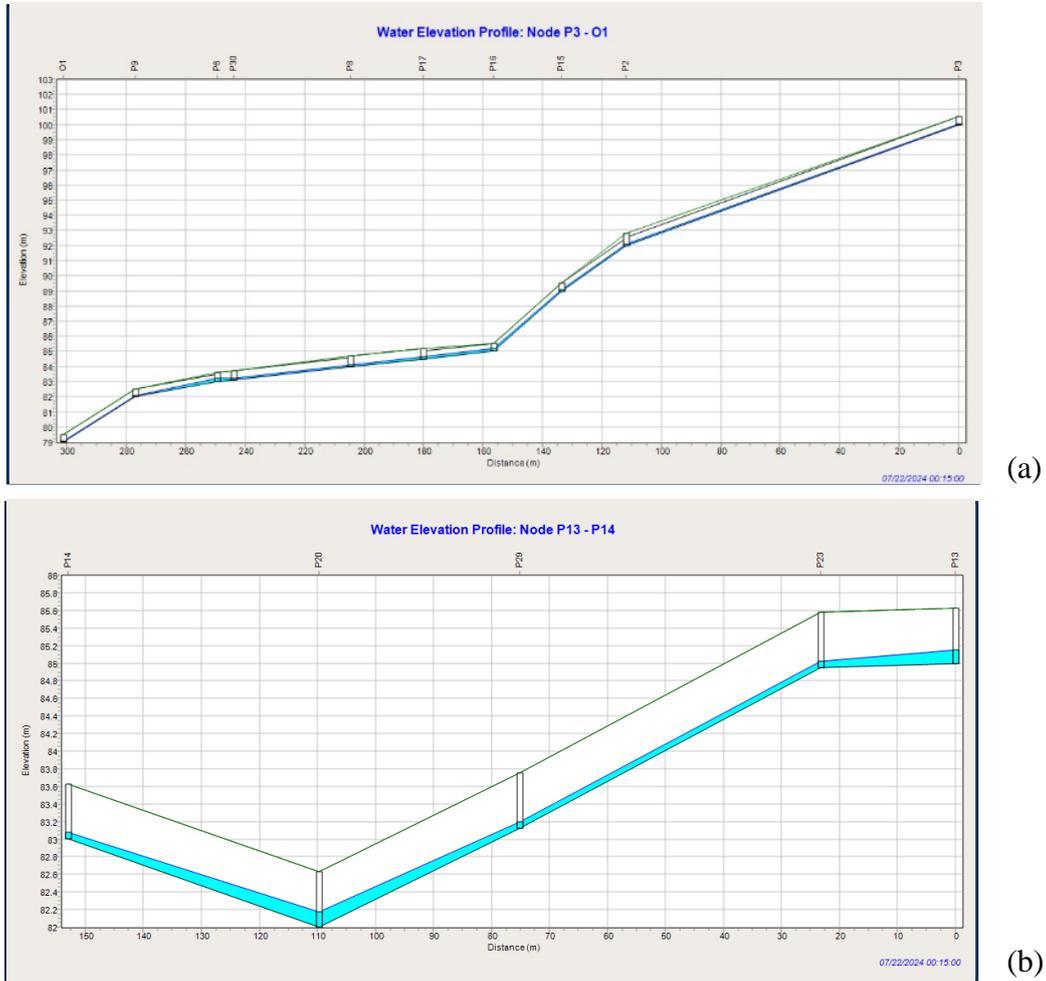
Datos de inundación en diversos términos del drenaje para la alternativa 2, Soluciones grises



Nota. (a) Horas (h); (b) Tasas (m^3/s); (c) Altura (cm).

Figura 90

Perfil de canales del drenaje para la alternativa 2, Soluciones grises



Nota. (a) Perfil de canales RF, RF1, RF2, RF3, b, g y SC; (b) Perfil del canal S.

Figura 91

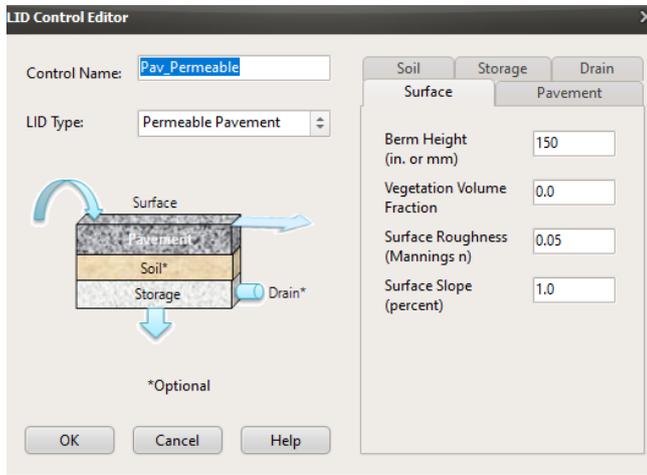
Tabla de escorrentía superficial de micro y nanocuenas para la alternativa 2, Soluciones grises

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Impev Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10 ⁶ ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
N11	56.53	0.00	0.00	22.51	14.14	22.80	36.95	0.04	0.02	0.654
MN	56.53	0.00	0.00	22.90	14.23	20.70	34.94	0.08	0.04	0.618
N27	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N28	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N33	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M46	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M47	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N26	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N30	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N29	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N31	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N32	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N25	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M48	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N35	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N34	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M49	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M38	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M37	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N36	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M39	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M42	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M41	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606

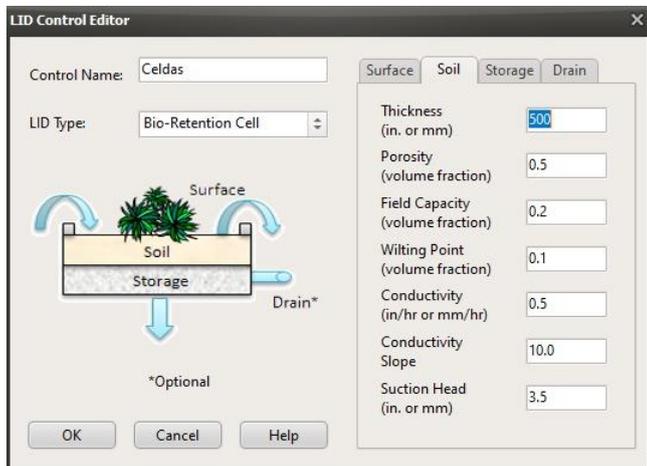
Nota. Microcuencas con identificación M y nanocuenas con identificación N.

Figura 92

Ingreso de parámetros para la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes



(a)



(b)

Nota. (a) Parámetros para el pavimento permeable; (b) Parámetros para el jardín de lluvia con celda de almacenamiento.

Figura 93

Ingreso de solución en su respectiva microcuenca para la alternativa 3,
Soluciones grises-azules-verdes

The screenshot shows the 'LID Usage Editor' dialog box with the 'LID Control Name' set to 'Pav_Permeable'. The 'LID Area' is represented by a 3D grid of grey permeable pavement units. The 'Detailed Report File (Optional)' field is empty. The 'Send Drain Flow To' field is also empty. The 'Return all Outflow to Pervious Area' checkbox is checked. The following table summarizes the parameters shown in the dialog:

Parameter	Value
LID Control Name	Pav_Permeable
LID Occupies Full Subcatchment	<input type="checkbox"/>
Area of Each Unit (sq ft or sq m)	48.9
Number of Units	1
% of Subcatchment Occupied	0.764
Surface Width per Unit (ft or m)	7
% Initially Saturated	15
% of Impervious Area Treated	20
% of Pervious Area Treated	20
Send Drain Flow To	(Leave blank to use subcatchment outlet)
Return all Outflow to Pervious Area	<input checked="" type="checkbox"/>

(a)

The screenshot shows the 'LID Usage Editor' dialog box with the 'LID Control Name' set to 'Celdas'. The 'LID Area' is represented by a 3D grid of green storage cells. The 'Detailed Report File (Optional)' field is empty. The 'Send Drain Flow To' field is also empty. The 'Return all Outflow to Pervious Area' checkbox is checked. The following table summarizes the parameters shown in the dialog:

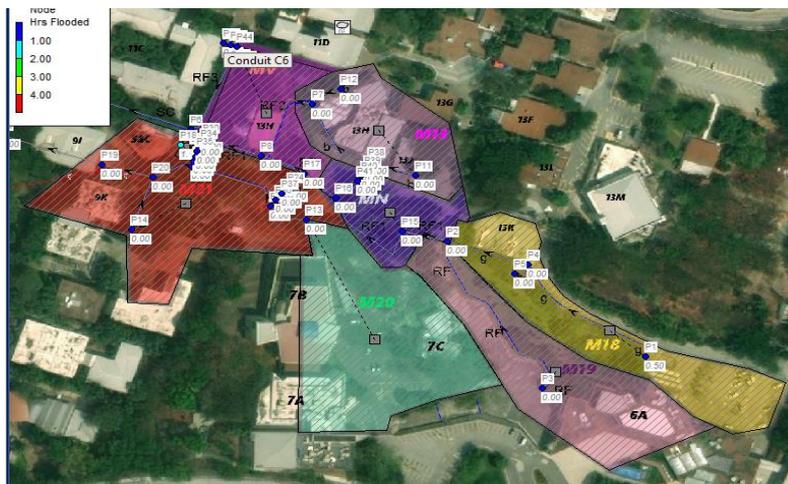
Parameter	Value
LID Control Name	Celdas
LID Occupies Full Subcatchment	<input type="checkbox"/>
Area of Each Unit (sq ft or sq m)	19.7
Number of Units	1
% of Subcatchment Occupied	0.308
Surface Width per Unit (ft or m)	10
% Initially Saturated	15
% of Impervious Area Treated	20
% of Pervious Area Treated	20
Send Drain Flow To	(Leave blank to use subcatchment outlet)
Return all Outflow to Pervious Area	<input checked="" type="checkbox"/>

(b)

Nota. (a) Pavimento permeable; (b) Jardín de lluvia con celda de almacenamiento.

Figura 94

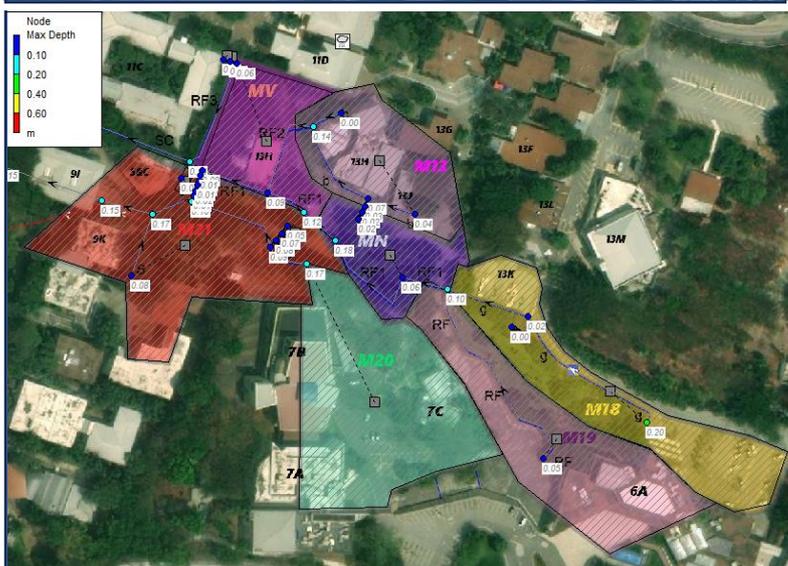
Datos de inundación en diversos términos para la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes



(a)



(b)

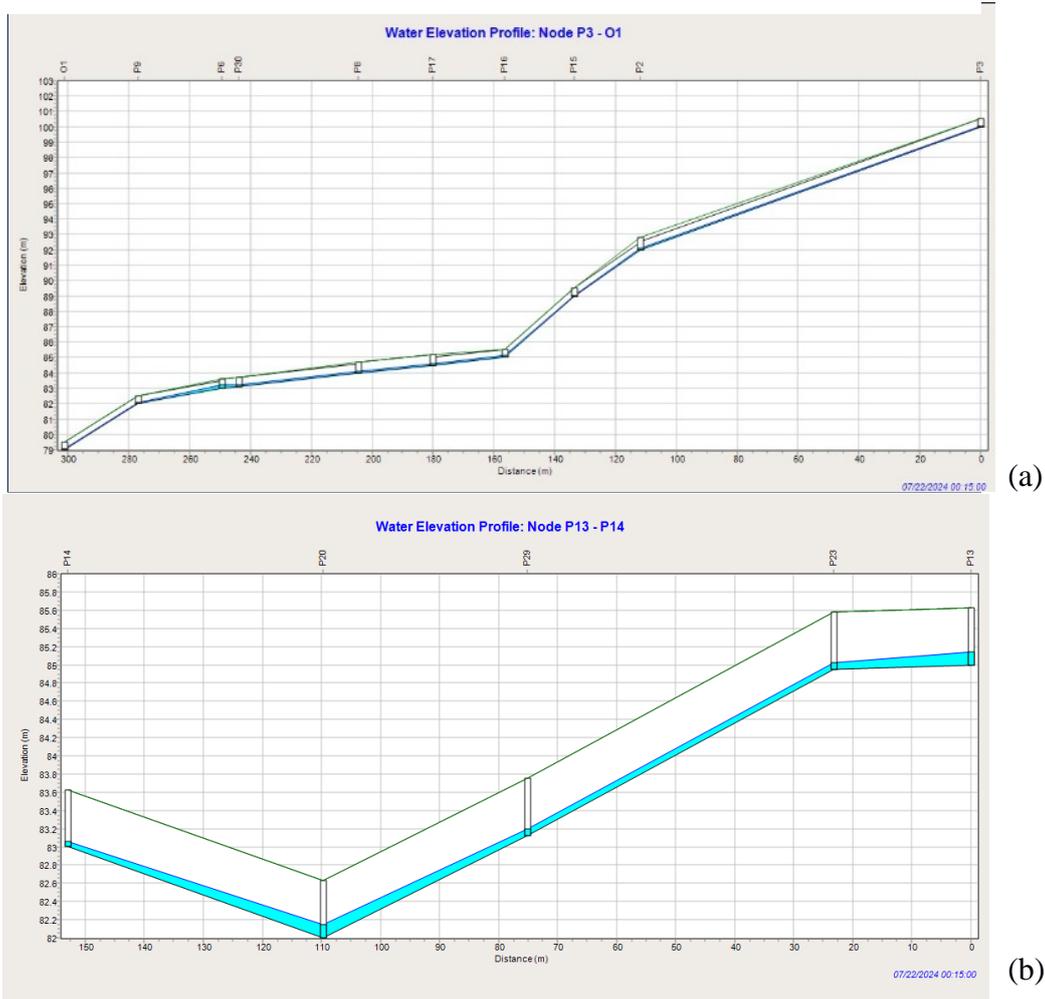


(c)

Nota. (a) Horas (h); (b) Tasas (m^3/s); (c) Altura (cm).

Figura 95

Perfil de canales del drenaje para la alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes



Nota. (a) Perfil de canales RF, RF1, RF2, RF3, b, g y SC; (b) Perfil del canal S.

Figura 96

Tabla de escorrentía de micro y nanocuenas para alternativa 3, Soluciones grises-azules-verdes

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10% 5 hr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
N25	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N26	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N35	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N36	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N37	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N28	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N29	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N3	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N27	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N11	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N34	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N33	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N1	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
N2	56.53	0.00	0.00	22.43	14.13	20.10	34.24	0.00	0.00	0.606
M13	56.53	0.00	0.00	23.61	14.41	19.24	33.65	0.13	0.07	0.595
MV	56.53	0.00	0.00	23.61	14.44	19.17	33.61	0.09	0.05	0.595
M20	56.53	0.00	0.00	24.31	14.54	18.29	32.83	0.26	0.12	0.581
M18	56.53	0.00	0.00	24.31	14.60	18.17	32.77	0.18	0.08	0.580
MN	56.53	0.00	0.00	23.26	13.99	24.87	31.09	0.07	0.04	0.550
M19	56.53	0.00	0.00	26.17	14.37	34.22	29.15	0.19	0.08	0.516
M21	56.53	0.00	0.00	28.08	14.45	31.89	27.81	0.23	0.08	0.492

Nota. Microcuenas con identificación M y nanocuenas con identificación N.

Tabla 22

APU del Rubro 1.1

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.		
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Limpieza de canales		
UNIDAD:	m	No.	1.1

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% M.O.					\$ 0.09
SUBTOTAL M					\$ 0.09

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.10	\$ 4.65	\$ 0.47	0.10	\$ 0.05
Peón - CAT I	4.00	\$ 4.14	\$ 16.56	0.10	\$ 1.66
SUBTOTAL N					\$ 1.70

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
				\$ -
SUBTOTAL O				\$ -

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
	Unidad	0.00	\$ 0.05	\$ -
SUBTOTAL P				\$ -

Costo Directo		\$ 1.79
Indirectos	20.00%	\$ 0.36
VALOR OFERTADO		\$ 2.15

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 23

APU del Rubro 1.2

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.				
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas				
RUBRO:	Picado y levantado de hormigón incluye desalojo				
UNIDAD:	m2		No.		1.2
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% M.O.					\$ 0.63
Camión	0.25	\$ 19.14	\$ 4.79	0.50	\$ 2.39
SUBTOTAL M					\$ 3.03

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.10	\$ 4.65	\$ 0.47	0.50	\$ 0.23
Peón - CAT I	6.00	\$ 4.14	\$ 24.84	0.50	\$ 12.42
SUBTOTAL N					\$ 12.65

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
				\$ -	
SUBTOTAL O				\$ -	

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
	Unidad	0.00	\$ 0.05	\$ -	
SUBTOTAL P				\$ -	

Costo Directo		\$ 15.68
Indirectos	20.00%	\$ 3.14
VALOR OFERTADO		\$ 18.81

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 24

APU del Rubro 1.3

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.				
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas				
RUBRO:	Replanteo y nivelación				
UNIDAD:	m2	No.	1.3		
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor 5% M.O.	A	B	C=A*B	R	D=C*R \$ 0.09
SUBTOTAL M					\$ 0.09

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.10	\$ 4.65	\$ 0.47	0.14	\$ 0.07
Peón - CAT I	3.00	\$ 4.14	\$ 12.42	0.14	\$ 1.74
SUBTOTAL N					\$ 1.80

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B \$ -
SUBTOTAL O				\$ -

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
	Unidad	A 0.00	B \$ 0.05	C=A*B \$ -
SUBTOTAL P				\$ -

Costo Directo		\$ 1.89
Indirectos	20.00%	\$ 0.38
VALOR OFERTADO		\$ 2.27

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 25

APU del Rubro 2.1

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.				
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas				
RUBRO:	Excavación manual				
UNIDAD:	m3	No.	2.1		
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor 5% M.O.	A	B	C=A*B	R	D=C*R \$ 0.44
SUBTOTAL M					\$ 0.44

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Maestro de Obra CAT IV	A 0.10	B \$ 4.65	C=A*B \$ 0.47	R 1.000	D=C*R 0.47
Peón - CAT I	2.00	\$ 4.14	8.28	1.000	8.28
SUBTOTAL N					\$ 8.75

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O				\$ 0.00	

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	Unidad	A 0.00000	B 0.050	C=A*B \$ 0.00	
SUBTOTAL P				\$ 0.00	

Costo Directo		\$ 9.18
Indirectos	20.00%	\$ 1.84
VALOR OFERTADO		\$ 11.02

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 26*APU del Rubro 2.2*

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.				
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas				
RUBRO:	Relleno compactado con suelo natural				
UNIDAD:	m3	No.			2.2
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Compactador Manual	1.00	\$ 2.50	2.50	0.12	0.31
Cargadora 130 HP	0.50	\$ 45.94	22.97	0.12	2.82
Herramienta menor 5% M.O.					\$ 0.06
SUBTOTAL M					\$ 3.18
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.10	\$ 4.65	0.47	0.12	0.06
Peón - CAT I	1.00	\$ 4.14	4.14	0.12	0.51
Operador	1.00	\$ 4.42	4.42	0.12	0.54
SUBTOTAL N					\$ 1.11
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O				\$ 0.00	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	Unidad	A	B	C=A*B	
		0.00000	0.050	\$ 0.00	
SUBTOTAL P				\$ 0.00	

Costo Directo		\$ 4.29
Indirectos	20.00%	\$ 0.86
VALOR OFERTADO		\$ 5.15

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 27

APU del Rubro 2.3

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.	
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas	
RUBRO:	Replanto de hormigón simple f'c=140 kg/cm ² , e=5cm	
UNIDAD:	m3	No. 2.3

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					0.05
SUBTOTAL M					\$ 0.05

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.20	\$ 4.65	0.93	0.06	0.05
Peón - CAT I	3.00	\$ 4.14	12.42	0.06	0.70
Albañil	1.00	\$ 4.19	4.19	0.06	0.23
SUBTOTAL N					\$ 0.98

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Hormigón Premezclado f'c=140kg/cm ²		m3	0.05	99.810
SUBTOTAL O				\$ 4.99

TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		Unidad	A 0.00000	B 0.050	C=A*B \$ 0.00
SUBTOTAL P					\$ 0.00

Costo Directo		\$ 6.02
Indirectos	20.00%	\$ 1.20
VALOR OFERTADO		\$ 7.23

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 28

APU del Rubro 2.4

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.		
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Malla electrosoldada 8 mm		
UNIDAD:	m2	No.	2.4

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Dobladora y cortadora de hierro	0.50	\$ 1.68	0.50	0.05	0.03
Herramienta menor					0.20
SUBTOTAL M					\$ 0.23

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.20	\$ 4.65	\$ 0.93	0.30	0.28
Ferrero	1.00	\$ 4.19	\$ 4.19	0.30	1.26
Peón - CAT I	2.00	\$ 4.14	\$ 8.28	0.30	2.48
SUBTOTAL N					\$ 4.02

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B

Alambre recocido #18	kg	0.15	\$ 1.96	\$ 0.29
Malla electrosoldada	m2	1.02	\$ 11.50	\$ 11.73
SUBTOTAL O				\$ 12.02

TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		Unidad	A 0.00000	B 0.050	C=A*B \$ 0.00
SUBTOTAL P					\$ 0.00

Costo Directo		\$ 16.27
Indirectos	20.00%	\$ 3.25
VALOR OFERTADO		\$ 19.52

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 29

APU del Rubro 2.5

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.		
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Hormigón f'c=210 kg/cm2 (incluye encofrado)		
UNIDAD:	m3	No.	2.5

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor Concretera	A 1.00	B \$ 2.50	C=A*B 2.50	R 1.00	D=C*R 0.95 2.50
SUBTOTAL M					\$ 3.45

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R

Maestro de Obra	0.50	\$	4.65	2.33	1.00	2.33
Albañil	2.00	\$	4.19	8.38	1.00	8.38
Carpintero	1.00	\$	4.19	4.19	1.00	4.19
Peón	1.00	\$	4.14	4.14	1.00	4.14
SUBTOTAL N						\$ 19.04

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Cemento Tipo GU saco 50 kg	saco	6.18	\$ 7.38	\$ 45.61
Arena	m3	0.65	\$ 14.73	\$ 9.57
Ripio	m3	0.95	\$ 18.00	\$ 17.10
Agua	m3	0.24	\$ 0.85	\$ 0.20
Tira Semidura	Unidad	0.35	\$ 1.67	\$ 0.58
Clavos de madera 2.5x25Kl	Caja	0.01	\$ 35.71	\$ 0.18
SUBTOTAL O				\$ 73.25

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
	Unidad	0.00000	0.050	\$ 0.00
SUBTOTAL P				\$ 0.00

Costo Directo		\$ 95.74
Indirectos	20.00%	\$ 19.15
VALOR OFERTADO		\$ 114.88

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 30

APU del Rubro 2.6

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.		
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Suministro e instalación de tubería 110 mm		
UNIDAD:	m	No.	2.6

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO

Herramienta menor	A	B	C=A*B	R	D=C*R	0.46
SUBTOTAL M						\$ 0.46

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Ayudante de plomero	2.00	\$ 4.14	\$ 8.28	0.70	\$ 5.80
Plomero	1.00	\$ 4.19	\$ 4.19	0.70	\$ 2.93
Maestro de obra	0.14	\$ 4.65	\$ 0.65	0.70	\$ 0.46
SUBTOTAL N					\$ 9.18

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Tubería PVC D=4"=110mm	m	1.00	\$ 5.41	\$ 5.41
SUBTOTAL O				\$ 5.41

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
	m/km	10.00	0.050	\$ 0.50
SUBTOTAL P				\$ 0.50

Costo Directo		\$ 15.55
Indirectos	20.00%	\$ 3.11
VALOR OFERTADO		\$ 18.66

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 31

APU del Rubro 2.7

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas
RUBRO:	Rejilla longitudinal interceptora para canal de drenaje
UNIDAD:	m No. 2.7

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					0.77
SUBTOTAL M					\$ 0.77

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	4.00	\$ 4.19	\$ 16.76	0.87	\$ 14.58
Maestro de obra	0.20	\$ 4.65	\$ 0.93	0.87	0.81
SUBTOTAL N					\$ 15.39

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Rejilla longitudinal	u	1.00	\$ 136.40	\$ 136.40
Pintura Anticorrosiva	gln	0.20	\$ 15.74	\$ 3.15
SUBTOTAL O				\$ 139.55

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
	Unidad	0.00000	0.050	\$ 0.00
SUBTOTAL P				\$ 0.00

Costo Directo		\$ 155.71
Indirectos	20.00%	\$ 31.14
VALOR OFERTADO		\$ 186.85

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 32

APU del Rubro 3.3

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.	
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas	
RUBRO:	Relleno compactado con material granular	
UNIDAD:	m3	No. 3.3

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Rodillo Vibratorio	1.00	\$ 39.00	39.00	0.02	0.78
Volqueta	1.00	\$ 25.00	25.00	0.02	0.50
Herramienta menor 5% M.O.					0.01
SUBTOTAL M					\$ 1.29

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.10	\$ 4.65	0.47	0.02	0.01
Peón - CAT I	2.00	\$ 4.14	8.28	0.02	0.17
Operador	1.00	\$ 4.42	4.42	0.02	0.09
SUBTOTAL N					\$ 0.26

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Material de relleno - grava 3/4	m3	1.00	12.900	\$ 12.90
SUBTOTAL O				\$ 12.90

TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C=A*B
		Unidad	0.00000	0.050	\$ 0.00
SUBTOTAL P					\$ 0.00

Costo Directo		\$ 14.46
Indirectos	20.00%	\$ 2.89
VALOR OFERTADO		\$ 17.35

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 33

APU del Rubro 3.4

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.

ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Relleno compactado con arena		
UNIDAD:	m3	No.	3.4

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Rodillo Vibratorio	1.00	\$ 39.00	39.00	0.02	0.78
Volqueta	1.00	\$ 25.00	25.00	0.02	0.50
Herramienta menor 5% M.O.					0.01
SUBTOTAL M					\$ 1.29

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.10	\$ 4.65	0.47	0.02	0.01
Peón - CAT I	2.00	\$ 4.14	8.28	0.02	0.17
Operador	1.00	\$ 4.42	4.42	0.02	0.09
SUBTOTAL N					\$ 0.26

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Material de relleno - arena	m3	1.00	14.730	\$ 14.73	
SUBTOTAL O				\$ 14.73	

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
	Unidad	0.00000	0.050	\$ 0.00	
SUBTOTAL P				\$ 0.00	

Costo Directo		\$ 16.29
Indirectos	20.00%	\$ 3.26
VALOR OFERTADO		\$ 19.54

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 34

APU del Rubro 3.5

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.	
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas	
RUBRO:	Hormigón Permeable (incluye encofrado)	
UNIDAD:	m3	No. 3.5

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					0.67
Concreteira	1.00000	\$ 2.50	2.50	1.00	2.50
SUBTOTAL M					\$ 3.17

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra	0.20	\$ 4.65	0.93	1.00	0.93
Albañil	1.00	\$ 4.19	4.19	1.00	4.19
Carpintero	1.00	\$ 4.19	4.19	1.00	4.19
Peón	1.00	\$ 4.14	4.14	1.00	4.14
SUBTOTAL N					\$ 13.45

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Cemento	kg/m3	425.00	\$ 0.11	\$ 45.86
Plastificante Acelerante	Kg	4.00	\$ 1.00	\$ 4.00
Tira Semidura	Unidad	0.35	\$ 1.67	\$ 0.58
Clavos de madera 2.5x25Kl	Caja	0.01	\$ 35.71	\$ 0.18
Arena de Río Anropevi	kg/m3	1535.00	\$ 0.01	\$ 10.75
Agua	m3	100.00	\$ 1.08	\$ 108.00
Piedra #78 Verdú	kg/m3	138.00	\$ 0.01	\$ 1.32
SUBTOTAL O				\$ 170.69

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
	Unidad	A 0.00000	B 0.050	C=A*B \$ 0.00
SUBTOTAL P				\$ 0.00

Costo Directo		\$ 187.31
Indirectos	20.00%	\$ 37.46
VALOR OFERTADO		\$ 224.78

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 35

APU del Rubro 3.6

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.	
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas	
RUBRO:	Suministro e instalación de tubería perforada	
UNIDAD:	m	No. 3.6

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					0.04
SUBTOTAL M					\$ 0.04

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Plomero	1.00	\$ 4.19	\$ 4.19	0.06	\$ 0.23
Ayudante de Plomero	2.00	\$ 4.14	\$ 8.28	0.06	\$ 0.46
Maestro de obra	0.10	\$ 4.65	\$ 0.47	0.06	0.03
SUBTOTAL N					\$ 0.72

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
Tubería perforada	m	1.00	\$ 4.26	\$ 4.26

SUBTOTAL O				\$ 4.26
------------	--	--	--	---------

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
	Unidad	A 0.00000	B 0.050	C=A*B \$ 0.00
SUBTOTAL P				\$ 0.00

Costo Directo		\$ 5.02
Indirectos	20.00%	\$ 1.00
VALOR OFERTADO		\$ 6.02

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 36

APU del Rubro 3.7

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.		
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Suministro e instalación de geomembrana		
UNIDAD:	m2	No.	3.7

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					\$ 0.18
SUBTOTAL M					\$ 0.18

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	1.00	\$ 4.65	4.65	0.40	1.86
Peón - CAT I	1.00	\$ 4.19	4.19	0.40	1.68
SUBTOTAL N					\$ 3.54

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B

Geomembrana de polietileno	m2	1.00	2.80	\$ 2.80
SUBTOTAL O				\$ 2.80

TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		Unidad	A 0.00000	B 0.050	C=A*B \$ 0.00
SUBTOTAL P					\$ 0.00

Costo Directo		\$ 6.51
Indirectos	20.00%	\$ 1.30
VALOR OFERTADO		\$ 7.82

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 37

APU del Rubro 4.5

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.		
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Suministro e instalación de geotextil		
UNIDAD:	m2	No.	4.5

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					\$ 0.16
SUBTOTAL M					\$ 0.16

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	1.00	\$ 4.65	4.65	0.25	1.16

Peón - CAT I	2.00	\$ 4.19	8.38	0.25	2.10
SUBTOTAL N					\$ 3.26

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Geotextil	m2	1.10	1.52	\$ 1.67	
Piqueta de anclaje de acero	u	2.00	0.81	\$ 1.62	
SUBTOTAL O					\$ 3.29

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
	Unidad	0.00	0.050	\$ 0.00	
SUBTOTAL P					\$ 0.00

Costo Directo		\$ 6.71
Indirectos	20.00%	\$ 1.34
VALOR OFERTADO		\$ 8.05

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 38

APU del Rubro 4.6

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.		
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas		
RUBRO:	Suministro e instalación de celda de almacenamiento		
UNIDAD:	m3	No.	4.6

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					\$ 0.16

SUBTOTAL M					\$ 0.16

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	1.00	\$ 4.65	4.65	0.25	1.16
Peón - CAT I	2.00	\$ 4.19	8.38	0.25	2.10
SUBTOTAL N					\$ 3.26

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Celda de almacenamiento	m3	1.00	270.00	\$ 270.00	
SUBTOTAL O				\$ 270.00	

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
	Unidad	0.00	0.050	\$ 0.00	
SUBTOTAL P				\$ 0.00	

Costo Directo		\$ 273.42
Indirectos	20.00%	\$ 54.68
VALOR OFERTADO		\$ 328.10

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 39

APU del Rubro 4.7

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas

RUBRO:	Jardinera		
UNIDAD:	m2	No.	4.7

EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor					\$ 0.49
SUBTOTAL M					\$ 0.49

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	1.00000	\$ 4.65	4.65	0.75	3.49
Peón - CAT I	2.00000	\$ 4.19	8.38	0.75	6.29
SUBTOTAL N					\$ 9.77

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Abono orgánico	kg	2.00	1.10	\$ 2.20	
Planta mata	u	1.00	5.00	\$ 5.00	
SUBTOTAL O				\$ 7.20	

TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
	Unidad	0.00	0.050	\$ 0.00	
SUBTOTAL P				\$ 0.00	

Costo Directo		\$ 17.46
Indirectos	20.00%	\$ 3.49
VALOR OFERTADO		\$ 20.95

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Tabla 40

APU del Rubro 5.1

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:	Rediseño del sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo ESPOL, sector A.				
ELABORADO POR:	Valeria Romero y Nadia Vanegas				
RUBRO:	Limpieza final de la obra manual				
UNIDAD:	m2	No.	5.1		
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor	A	B	C=A*B	R	D=C*R
					\$ 0.04
SUBTOTAL M					\$ 0.04

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de Obra CAT IV	0.20000	\$ 4.65	\$ 0.93	0.05	\$ 0.05
Peón - CAT I	4.00000	\$ 4.19	\$ 16.76	0.05	\$ 0.82
SUBTOTAL N					\$ 0.87

MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
		A	B	C=A*B
SUBTOTAL O				\$ -

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
		A	B	C=A*B
	Unidad	0.00000	\$ 0.05	\$ -
SUBTOTAL P				\$ -

Costo Directo		\$ 0.91
Indirectos	20.00%	\$ 0.18

VALOR OFERTADO

\$ 1.09

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

¡POR UN POLI-CAMPUS MÁS AZUL Y VERDE!

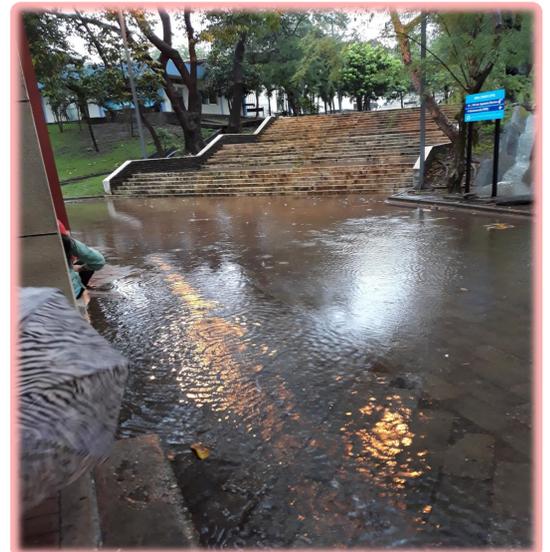
Descubre un diseño sostenible para el drenaje de aguas lluvias en ESPOL, Sector A.

PROBLEMA

Conjunto de canales que conforman el drenaje pluvial del campus Gustavo Galindo

No captan el agua de las lluvias

Inundaciones alrededor del restaurante Sweet & Coffe



ESPOL, Enero del 2019.

OBJETIVO GENERAL

Rediseñar el sistema de drenaje pluvial del Campus Gustavo Galindo sector A, con énfasis en el área proveniente del Rectorado, mediante la modelación del sistema en un software especializado, e inclusión de medidas basadas en la naturaleza, para la optimización del manejo de aguas lluvias.

PROPUESTA

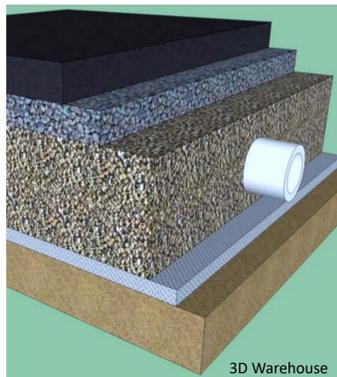
Recopilación y análisis de datos

Propuesta de alternativas

Modelación del drenaje en software

Valoración de alternativas

Diseño de alternativa seleccionada



Pavimento permeable



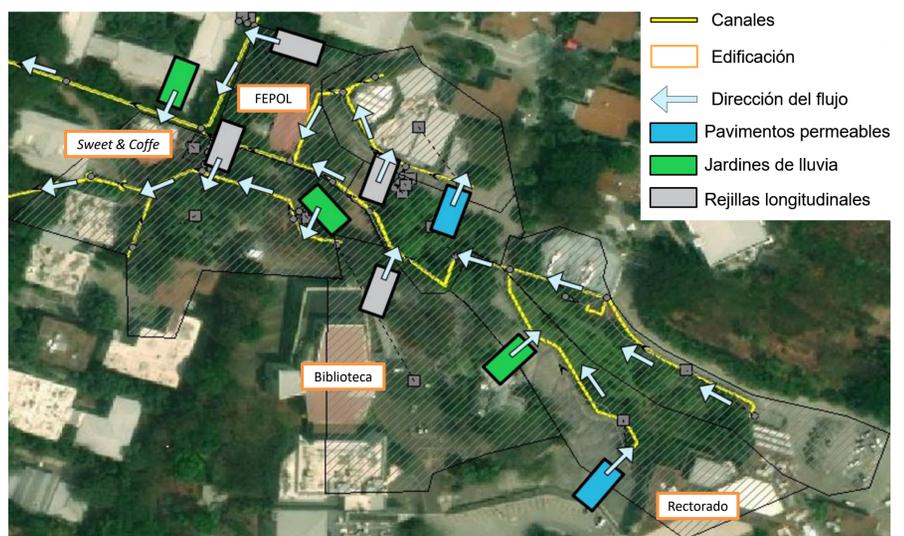
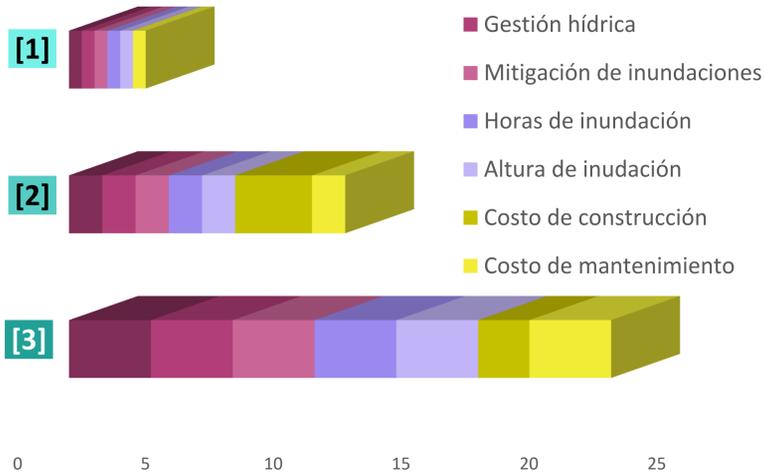
Rejilla longitudinal



Jardín de lluvia

RESULTADOS

Contraste de alternativas:



Mapa de la zona de la problemática modelada en software SWMM.

Alternativa [1]	Alternativa [2]	Alternativa [3]
Business As Usual (BAU)	Soluciones grises	Soluciones azules-verdes-grises
Mantener el sistema actual	Aplicación de 20 rejillas	Aplicación de 2 pavimentos permeables, 3 jardines de lluvia y 4 rejillas

CONCLUSIONES

De las soluciones azules-verdes-grises, como parte de los sistemas de drenaje sostenibles, se puede concluir que:

- Tienen un impacto ambiental altamente positivo por su gran durabilidad, gestión del recurso hídrico y mitigación del riesgo de inundación.
- Son un beneficio al eje social ya que facilitarían a la comunidad Politécnica realizar sus actividades, con la reducción de altura y horas de inundación en un 77% y 65% respectivamente.
- Representan una rentabilidad económica a largo plazo ya que su costo de mantenimiento es menor a las otras alternativas.



Pavimento permeable



Rejilla longitudinal



Jardín de lluvia

