



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**Planificación y diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda que descarga en el Estero Salado, sector Urdesa Norte, de la ciudad de Guayaquil.**

AUTOR:

**Bernal Rivera Juan José**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

**INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

**Ing. Proaño Sánchez Luis Alberto, M.Sc.**

Guayaquil, Ecuador

9 de septiembre de 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de titulación ha sido realizado en totalidad por **Bernal Rivera Juan José**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR:



Firmado digitalmente por:  
LUIS ALBERTO  
PROAÑO SANCHEZ

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Proaño Sánchez Luis Alberto, M.Sc.**

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL:

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany, M.Sc.**

Guayaquil, 9 de septiembre de 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Bernal Rivera Juan José**

#### **DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación, **Planificación y diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda que descarga en el Estero Salado, sector Urdesa Norte, de la ciudad de Guayaquil**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros mediante las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Por lo tanto, este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 9 de septiembre de 2022

Autor:

f. \_\_\_\_\_

**Bernal Rivera Juan José**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### AUTORIZACIÓN

Yo, **Bernal Rivera Juan José**

Por medio de esta declaración escrita, autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en su biblioteca institucional del presente trabajo de titulación, **Planificación y diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda que descarga en el Estero Salado, sector Urdesa Norte, de la ciudad de Guayaquil**, siendo de mi total autoría. Los criterios y contenido emitidos son de mi completa responsabilidad.

Guayaquil, 9 de septiembre de 2022

Autor:

f.

---

**Bernal Rivera Juan José**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## REPORTE URKUND

**URKUND** Clara Catalina Glas Cevallos (clara.glas)

**Documento:** JUAN\_BERNAL\_FINAL.pdf (D151856979)  
**Presentado:** 2022-12-02 13:20 (-05:00)  
**Presentado por:** clara.glas@cu.ucsg.edu.ec  
**Recibido:** clara.glas@analysis.orkund.com  
**Mensaje:** TRABAJO DE TITULACION ESTUDIANTE JUAN BERNAL. [Mostrar el mensaje completo](#)  
0% de estas 60 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

**Lista de fuentes Bloques**

Categoría	Enlace/nombre de archivo
100%	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D15185663
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA: Planificación y diseñ...
	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D151855661
	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D150175655
	Universidad Central de Ecuador / D137042225
	Universidad Central de Ecuador / D25957079
	Universidad Central de Ecuador / D25245766

1 Advertencias. Reiniciar. Compartir

Ilustración 33. Mapa geomorfológico de la ciudad de Guayaquil y la descripción de la zona de depósitos estuarinos. Obtenido de (GEOESTUDIOS S.A., 2011) ..... 48  
Ilustración 34. Precipitación del año 2018 de la estación costera INOCAR Guayaquil. Obtenido de (Reyes Alava, 2019) ..... 49  
Ilustración 35. Zonas permeables y línea de flujo de agua de la ciudadela Urdesa Norte. ( Bernal, 2022) .....  
51 Ilustración 36. Ubicación de los nodos dentro de la calle Fernando Artieda a través de vista satelital de Google Maps. (Bernal,2022) ..... 52 Ilustración 37. Línea de tuberías del colector DM39 ubicado en la calle Fernando Artieda. ( Bernal, 2022) ..... 52  
Ilustración 38. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2257, del escenario actual. (Bernal, 2022)

TUTOR:



Firma e identificación por:  
**LUIS ALBERTO  
PROAÑO SANCHEZ**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Proaño Sánchez Luis Alberto, M.Sc.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco este trabajo de titulación a mis padres, quienes han hecho posible este logro. Me han brindado su apoyo incondicional hacia mis metas.

A muchos maestros que tuve durante la etapa de pregrado, ellos supieron incentivar mucho la visión de lo que realmente es la ingeniería, de cómo pasan los números a hacerse realidad. Los que dejaban más dudas que respuestas, que desbordaban una emoción y vocación a la hora de hablar de lo que tanto que se han preparado académicamente y en el campo profesional, son realmente una fuente de inspiración y admiración.

A muchas personas que me enseñaron a crecer durante mi segunda década de vida, que ahora tal vez no frecuente, pero que se quedaron sin duda sus experiencias en mí.

A la nueva y nuevas personas que están ahora en mi vida, que me enseñan que la vida en un ratito cambia, sin que te lo esperes.

A quienes me brindaron su apoyo con pequeños detalles que parecieran insignificantes, pero que me motivaban muchísimo a seguir, gestos inolvidables que no olvidaré jamás.

A los compañeros y compañeras que, en medio de una guerra de adrenalina y estrés, estudiamos e hicimos diversos trabajos de investigación.

A los días que no me fue bien, porque aprendí más de las fallas que de las soluciones, porque pude revisar mucho y profundizar lo que el apuro no permite.

A toda mi playlist que me acompañó de ida y vuelta, para todos lados, con mis dudas y mis pensamientos.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la persona central en todo lo que soy, y supongo que seré, mi mamá de mi corazón. Ella me forjó con sus manos, literalmente lo hizo, con sus recetas caseras, con su comida increíble, con su carácter fuerte, con su dulzura, con su sencillez, con su astucia, con su manera divertida de ser, es una amiga casi confidente, una persona tan abierta a todo, que ha ido mudando y creciendo con nosotros. Dudo mucho que llegue a querer a alguien como a ella, porque ha dado su vida por verme feliz, no puedo menos que hacerla feliz con seguir su ejemplo y triunfar en la vida, con la misma ímpetu y fuerza que lo hace ella.

A mi padre, una persona que admiro muchísimo, mi mayor ejemplo de constancia y trabajo, que ha vivido tanto en tantos lugares que lo ha llevado la vida. Admiro su serenidad, su inteligencia, la cabeza fría para pensar, menos pasional, más meditativo. Tengo también esa mitad en gran parte, y mantenerme tranquilo a pesar de muchas dificultades. La manera en que ama y se apasiona por lo que sabe, dirigir, administrar, y así triunfó y nos sacó adelante a nuestra familia. Espero que la vida me permita aprender a fondo muchas cosas más de ti, y poder crecer juntos.

A mis dos hermanas, que crecimos jugando en el barrio, con los videojuegos, en todo lo que hemos aprendido juntos, en las peleas y las complicidades, con quien nos conocemos muy bien entre los 4, sabemos exactamente quienes somos, y nos damos consejos, nos asistimos, nos apoyamos en cada cosa que emprendemos, eso nos ha hecho la familia unida que naturalmente hemos sido siempre, sin mucha alabanza, sin decirlo frecuentemente, lo sabemos de adentro.

La deidad o las deidades se han manifestado en todo lo que la vida me ha permitido contemplar, me hacen saber que la tierra tiene alma.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany, M.Sc.**

DIRECTORA DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Clara Glas Cevallos**

COORDINADOR DE ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Plaza Vera Fernando Xavier, PhD.**

OPONENTE



# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
2. CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	7
2.1. Problemas.....	7
2.2. Causas.....	8
2.3. Impactos.....	11
2.4. Objetivos.....	12
2.4.1. Objetivo general.....	12
2.4.2. Objetivos Específicos .....	12
3. CAPÍTULO III. INFORMACIÓN CARACTERÍSTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	14
4. CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO .....	19
4.1. Ciclos de drenaje pluvial .....	19
4.1.1. Ciclo natural de drenaje.....	19
4.1.2. Ciclo convencional de drenaje .....	21
4.1.3. Diseño Urbano Sensible al Agua.....	22
4.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) .....	24
4.3. Hietograma de Chicago .....	24
4.4. Marea típica de diseño para drenaje pluvial .....	25
4.5. Celdas de Bioretención.....	25
4.6. Pavimentos permeables .....	27
4.7. Deducción de ecuación de infiltración .....	31
4.8. Cálculo de tránsito de caudales.....	33

5.1.	Fase preliminar .....	34
5.2.	Fase de análisis y diagnóstico .....	34
5.2.1.	Características físicas .....	35
5.2.2.	Análisis del medio urbano .....	35
5.2.3.	Análisis hidrológico .....	35
5.2.4.	Análisis hidráulico .....	40
5.2.5.	Pérdidas Económicas .....	42
5.2.6.	Simulación del evento pluvial.....	44
6.	CAPÍTULO VI: RESULTADOS.....	47
6.1.	Diagnóstico.....	47
6.1.2.	Medio Urbano .....	50
6.1.3.	Análisis Hidrológico - Hidráulico .....	51
6.1.4.	Pérdidas económicas del sector afectado .....	62
6.2.	Alternativas de solución .....	65
6.2.1.	Alternativa 1. Diseño de Infraestructura Verde .....	65
6.2.1.1.	Evaluación Económica de Infraestructura verde.....	79
6.2.2.	Alternativa 2. Cambio de diámetro de colectores. (Solución convencional).....	81
6.2.2.1.	Evaluación económica de solución convencional.....	91
6.3.	Resultado del análisis ambiental .....	92
7.	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
7.1.	Conclusiones .....	93
7.2.	Recomendaciones.....	95
	BIBLIOGRAFÍA .....	99

Anexo 1. Análisis de impactos ambientales.....	104
Anexo 2. Detallamiento de Líneas – tuberías de conducción .....	107
Anexo 3. Detallamiento de Nodos.....	111
Anexo 4. Valores críticos de nodos obtenidos en SWMM. ....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de Parametrización usados en la fórmula de intensidad. Obtenido de (Interagua C.LTDA., 2017) .....	24
Tabla 2. Valores máximos de precipitaciones del año 2012 al 2015. Obtenido de (Interagua C.LTDA., 2017).....	37
Tabla 3. Valores de intensidad duración y frecuencia. (Bernal,2022) .....	37
Tabla 4. Precipitación de diseño de la ciudad de Guayaquil para T = 10 años (Bernal, 2022) ....	39
Tabla 6. Subcuencas de drenaje de la ciudadela Urdesa Norte (Bernal, 2022) .....	50
Tabla 7. Áreas permeable e impermeable con su porcentaje de ocupación (Bernal, 2022).....	50
Tabla 8. Valores de área de cada subcuenca y de sus soluciones con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	67
Tabla 9. Datos de ingreso de infraestructura verdes aplicadas al proyecto. (Bernal,2022).....	68
Tabla 10. Costos de la solución celda de bioretención. (Bernal, 2022) .....	79
Tabla 11. Costos de la solución jardín de lluvia. (Bernal,2022).....	80
Tabla 12. Costos de la solución adoquinado. (Bernal,2022) .....	80
Tabla 13. Costo de Solución convencional. (Bernal, 2022) .....	91
Tabla 14. Comparación de volúmenes totales en los nodos de la calle Fernando Artieda con y sin infraestructura verde y porcentaje de reducción de volumen. (Bernal, 2022).....	93
Tabla 15. Costo total de inversión para el rediseño con infraestructura verde y con solución convencional para la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022).....	94
Tabla A1. Actividades, factores e impactos ambientales para implementación de área verde para el sector Urdesa Norte .....	107
Tabla A2. Datos de la tubería AL_27P_HA_70 (Bernal, 2022).....	107
Tabla A3. Datos de la tubería AL_30P_HA_70 (Bernal, 2022) .....	108
Tabla A4. Datos de la tubería AL_30P_HA_70 (Bernal, 2022) .....	108
Tabla A5. Datos de la tubería AL_30P_HA_51 (Bernal, 2022) .....	108
Tabla A6. Datos de la tubería AL_33P_HA_64 (Bernal, 2022).....	109

Tabla A7. Datos de la tubería AL_33P_HA_63 (Bernal, 2022) .....	109
Tabla A8. Datos de la tubería AL_33P_HA_62 (Bernal, 2022) .....	109
Tabla A9. Datos de la tubería AL_36P_HA_269 (Bernal, 2022) .....	110
Tabla A10. Datos de la tubería AL_36P_HA_278 (Bernal, 2022).....	110
Tabla A12. Datos del nodo S1775 (Bernal, 2022) .....	111
Tabla A13. Datos del nodo S1776 (Bernal, 2022) .....	111
Tabla A14. Datos del nodo S2257 (Bernal, 2022).....	111
Tabla A15. Datos del nodo S2256 (Bernal, 2022).....	112
Tabla A16. Datos del nodo S2255 (Bernal, 2022).....	112
Tabla A17. Datos del nodo S2398 (Bernal, 2022).....	112
Tabla A18. Datos del nodo S2397 (Bernal, 2022).....	112
Tabla A19. Datos del nodo S944 (Bernal, 2022) .....	113
Tabla A20. Datos del nodo S943 (Bernal, 2022).....	113
Tabla A21. Datos del nodo S957 (Bernal, 2022).....	113
Tabla A22. Datos críticos de nodos en todo el sistema de drenaje de las subcuencas de la ciudadela Urdesa Norte, en su estado actual. (Bernal, 2022) .....	125
Tabla A23. Datos críticos de nodos en todo el sistema de drenaje de las subcuencas de la ciudadela Urdesa Norte, con infraestructura verde (Bernal, 2022) .....	126

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sistema convencional de drenaje pluvial de la ciudad de Guayaquil. Obtenido de (Interagua. C. LTDA.) .....	4
Ilustración 2. Estructura de control de mareas e inundaciones para el Estero Salado. Válvulas instaladas en el puente que conduce hacia Urdesa. Obtenido de (El Comercio, 2021) .....	4
Ilustración 3. Adoquinado e instalación de celdas de bioretención laterales en Downtown Ennis, Texas. Obtenido de (Citygreen, 2019) .....	5
Ilustración 4. Parqueadero con pavimento permeable para centro de eventos, Pigeon Forge, Tennessee. Obtenido de (Gresham Smith, 2022).....	6
Ilustración 5. Vista satelital de la ubicación del Colector DM39 por medio de Google Earth. (Bernal, 2022).....	8
Ilustración 6. Perfil de elevación de agua del colector DM39. Se indica los nodos que registran inundación. Obtenido de (Interagua C.LTDA., 2017) .....	8
Ilustración 7. Diagrama de causas, problemas e impactos inundaciones del sector Urdesa Norte. (Bernal,2022) .....	12
Ilustración 8. Área de ocupación de todas las parroquias de la ciudad de Guayaquil. Obtenido de (GAD Municipal de Guayaquil, 2022) .....	15
Ilustración 9. Mapa de zonificación de esteros. Obtenido de (LAHMEYER, 2000).....	15
Ilustración 10. Mapa satelital de los ramales A, B, C y D obtenido de Google Maps. (Bernal, 2022).....	16
Ilustración 11. Área de la ciudadela Urdesa Norte, junto al ramal A del Estero Salado. (Bernal,2022).....	17
Ilustración 12. Mapa satelital de los ramales E, F, G, I, H y Estero Cobina desde Google Maps. (Bernal, 2022) .....	18
Ilustración 13. Ubicación satelital con Google Earth del colector DM39 y sus nodos. (Bernal,2022).....	19
Ilustración 14. Ciclo natural de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013) ..	20

Ilustración 15. Perfil – diagrama del ciclo natural de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013) .....	20
Ilustración 16. Ciclo convencional de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013) .....	21
Ilustración 17. Perfil – diagrama del ciclo convencional de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013) .....	23
Ilustración 18. Ciclo convencional de drenaje integrado con SWUDs. Obtenido de (Wellington City Council, 2013) .....	23
Ilustración 19. Ejemplo de celda de bioretención. Obtenido de (Capuccini, 2010) .....	26
Ilustración 20. Modelo teórico de celda de bioretención. Obtenido de (Lochiel Park website, 2013) .....	27
Ilustración 21. Instalación de bloques permeables. Obtenido de (SuD Sostenible, 2016).....	29
Ilustración 22. Loseta de hormigón permeable mostrando su capacidad de infiltración de agua. Obtenido de (Spalvier, Díaz, & Marrero, 2021) .....	30
Ilustración 23. Contraste entre el asfalto regular y el asfalto poroso respecto al contenido de agua superficial en la vía. Obtenido de (Capuccini, 2010) .....	30
Ilustración 24. Precipitación para período de retorno 10años (Bernal, 2022) .....	36
Ilustración 25. Precipitación para período de retorno 25 años (Bernal, 2022) .....	36
Ilustración 26. Curvas IDF de la ciudad de Guayaquil para distintos períodos de retorno. (Bernal,2022).....	38
Ilustración 27. Hietograma de precipitación de tiempo de retorno T = 10 años (Bernal, 2022) .	39
Ilustración 28. Captura satelital de las zonas de Inundación de la calle Fernando Artieda desde Google Maps. (Bernal, 2022).....	40
Ilustración 29. Captura satelital del flujo de agua de la ciudadela Urdesa Norte desde Google Maps. (Bernal, 2022).....	41
Ilustración 30. Datos de ingreso para el cálculo de marea (Bernal, 2022) .....	42
Ilustración 31. Precipitación para período de retorno 10años (Bernal, 2022) .....	42
Ilustración 32. Curvas de nivel de la zona de estudio. (Bernal, 2022) .....	47

Ilustración 33. Mapa geomorfológico de la ciudad de Guayaquil y la descripción de la zona de depósitos estuarinos. Obtenido de (GEOESTUDIOS S.A., 2011) .....	48
Ilustración 34. Precipitación del año 2018 de la estación costera INOCAR Guayaquil. Obtenido de (Reyes Alava, 2019).....	49
Ilustración 35. Zonas permeables y línea de flujo de agua de la ciudadela Urdesa Norte. (Bernal, 2022).....	51
Ilustración 36. Ubicación de los nodos dentro de la calle Fernando Artieda a través de vista satelital de Google Maps. (Bernal,2022) .....	52
Ilustración 37. Línea de tuberías del colector DM39 ubicado en la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022).....	52
Ilustración 38. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2257, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	53
Ilustración 39. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2256, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	53
Ilustración 40. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2255, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	54
Ilustración 41. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2398, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	54
Ilustración 42. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2397, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	55
Ilustración 43. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S944, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	55
Ilustración 44. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S943, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	56
Ilustración 45. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S957, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	56
Ilustración 46. Volumen de agua en nodos pertenecientes a la calle Fernando Artieda, del escenario actual, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022) .....	57



Ilustración 47. Mapa de caudal en tuberías pertenecientes a la calle Fernando Artieda, del escenario actual, durante el tiempo crítico de precipitación (Bernal, 2022). .....	57
Ilustración 48. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2257, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	58
Ilustración 49. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2256, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	59
Ilustración 50. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2255, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	59
Ilustración 51. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2398, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	60
Ilustración 52. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2397, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	60
Ilustración 53. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S944, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	61
Ilustración 54. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S943, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	61
Ilustración 55. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S957, del escenario actual. (Bernal, 2022).....	62
Ilustración 56. Pérdidas económicas totales de una vivienda debido a inundaciones para distintos valores de inundación. (Bernal, 2022) .....	63
Ilustración 57. Tiempo de atrasos de actividades comerciales para distintos niveles de inundación. (Bernal,2022) .....	64
Ilustración 58. Pérdidas económicas totales de un negocio debido a inundaciones para distintos niveles de inundación. (Bernal,2022).....	64
Ilustración 59. Vista tipo Street View a través de Google Earth de la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022).....	66
Ilustración 60. Sección transversal de la calle Fernando Artieda con la solución de Infraestructura verde. (Bernal, 2022) .....	68

Ilustración 61. Sección transversal de celda de bioretención y jardín de lluvia. (Bernal, 2022) .	69
Ilustración 62. Sección Transversal del Adoquín Permeable. (Bernal, 2022) .....	69
Ilustración 63. Vista frontal de la Calle Fernando Artieda con Infraestructura Verde. (Bernal, 2022).....	70
Ilustración 64. Mapa de la ciudadela Urdesa Norte con la solución de Infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	70
Ilustración 65. Volumen de agua en nodos pertenecientes a la calle Fernando Artieda, con infraestructura verde, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022).....	71
Ilustración 66. Caudal en colector DM39 perteneciente a la calle Fernando Artieda, con infraestructura verde, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022).....	71
Ilustración 67. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2257, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	72
Ilustración 68. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2256, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	72
Ilustración 69. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2255, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	73
Ilustración 70. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2398, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	73
Ilustración 71. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2397, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	74
Ilustración 72. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S944, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	74
Ilustración 73. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S943, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	75
Ilustración 74. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2257, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	75
Ilustración 75. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2256, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	76

Ilustración 76. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2255, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	76
Ilustración 77. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2255, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	77
Ilustración 78. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2397, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	77
Ilustración 79. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S944, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	78
Ilustración 80. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S943, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	78
Ilustración 81. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S957, con infraestructura verde. (Bernal, 2022).....	79
Ilustración 82. Volumen de agua en nodos pertenecientes a la calle Fernando Artieda, con solución convencional, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022) .....	82
Ilustración 83. Mapa de caudal en tuberías pertenecientes a la calle Fernando Artieda, con solución convencional, durante el tiempo crítico de precipitación (Bernal, 2022) .....	82
Ilustración 84. Línea de tuberías de la Alternativa 2 en la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022).....	82
Ilustración 85. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2256, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	83
Ilustración 86. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2257, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	83
Ilustración 87. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2255, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	84
Ilustración 88. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2398, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	85
Ilustración 89. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2397, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	85

Ilustración 90. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S944, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	86
Ilustración 91. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S943, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	86
Ilustración 92. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S957, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	87
Ilustración 93. Inundación vs tiempo del nodo S2257, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	87
Ilustración 94. Inundación vs tiempo del nodo S2256, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	88
Ilustración 95. Inundación vs tiempo del nodo S2255, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	88
Ilustración 96. Inundación vs tiempo del nodo S2398, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	89
Ilustración 97. Inundación vs tiempo del nodo S2397, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	89
Ilustración 98. Inundación vs tiempo del nodo S944, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	90
Ilustración 99. Inundación vs tiempo del nodo S943, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	90
Ilustración 100. Inundación vs tiempo del nodo S957, con solución convencional. (Bernal, 2022).....	91
Ilustración 101. Determinación de Importancia de impacto para obras de infraestructura verde en el sector de Urdesa Norte. (Bernal,2022) .....	92
Ilustración 102. Comparación de volúmenes totales en los nodos con y sin infraestructura verde y porcentaje de reducción de volumen. (Bernal, 2022).....	94
Ilustración 103. Comparación de inversión según cada solución de infraestructura verde para el sector de Urdesa Norte. (Bernal,2022).....	95

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Intensidad en función de coeficientes de parametrización. ....	24
Ecuación 2. Ecuación sinusoidal de marea de diseño. ....	25
Ecuación 3. Ley de Darcy para el caso de flujo saturado. ....	31
Ecuación 4. Ecuación de Green-Ampt para suelos no saturados. ....	31
Ecuación 5. Ecuación de Horton.....	32
Ecuación 6. Ecuación de MacKenzie para flujo de tubería.....	32
Ecuación 7. Ecuaciones de Saint Venant. ....	33

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en mejorar la ocupación urbana de forma sostenible, generando cambios positivos la resiliencia de la ciudad de Guayaquil y disminuyendo el riesgo de escorrentía superficial por medio de un plan de diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda (DM39), adyacente al ramal A del Estero Salado. Se ha modelado un evento pluvial real de período de retorno de diez años para realizar comparaciones cuantitativas que sustenten su factibilidad, obteniendo reducciones de volumen de agua.

Debido al diseño de la nueva zona verde urbana, se redujo la exposición de riesgo de peligro en Urdesa Norte por inundación con la retención del caudal de escorrentía de las precipitaciones por infiltración, resultando en una reducción del volumen de agua de entre un 20% y un 40%.

**Palabras clave:** LID, SWUD, SWMM, infiltración, subcuenca, drenaje, permeabilidad, escorrentía.

## ABSTRACT

The present work consisted of improving urban occupation sustainably, generating positive changes in the resilience of the city of Guayaquil, and reducing the risk of surface runoff through a green infrastructure design plan in the area of influence of the street collector Fernando Artieda Miranda (DM39), next to the branch A of the Estero Salado. A real rainfall event with a return period of ten years has been modeled to make quantitative comparisons that support its feasibility, obtaining reductions in the volume of water.

Due the design of new green urban area, the exposure of risk of danger in Urdesa Norte due to flooding was reduced with retention of precipitation runoff flow through infiltration, resulting in a water volume reduction of between 20% and 40%.

**Keywords: LID, SWUD, infiltration, sub-basin, drainage, permeability, runoff**

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

Guayaquil es la ciudad más grande del territorio ecuatoriano y en él vive el 18% de la población total del país. La ciudad se encuentra en la zona norte del Golfo de Guayaquil y cuenta con el estuario más grande de la costa del Pacífico de América del Sur. La ciudad es un núcleo económico para el país, donde se encuentra el 25% del PIB, debido principalmente por su actividad portuaria. Guayaquil ha registrado un crecimiento demográfico acelerado, pasando de 300,000 habitantes en 1950 a casi 3 millones de habitantes en la actualidad. (Peñailillo, Jeuken, Meijer, & Benitez, 2021). Dicho crecimiento ha generado un impacto en la infraestructura urbana, como la red de agua potable, red vial, red de alcantarillado sanitario y red de drenaje pluvial, esta última, contando con problemas de drenaje, causando anegaciones e inundaciones.

Guayaquil se ubica en el cuarto lugar dentro de las veinte ciudades costeras que presentan vulnerabilidad por precipitaciones de alta intensidad, conllevando a sufrir pérdidas económicas a futuro y que, para el año 2050, ascenderían a 2.813 millones de dólares. (Hallegatte, Green, Nicholls, & Corfee-Morlot, 2013) Una de sus principales razones son la pérdida de espacios verdes y cambio de uso de suelo para la construcción de edificaciones y calles que generan mayor impermeabilización del suelo; y por consiguiente, un aumento de las necesidades de alcantarillado pluvial a base de tuberías, sumideros, canales u otras obras grises de recolección de aguas lluvia. El plan maestro (Interagua C.LTDA., 2017), describe de la siguiente manera a las inundaciones en Guayaquil:

Las inundaciones debidas a lluvias suceden cuando la intensidad y/o volumen total de lluvia dentro de la ciudad excede la capacidad de descarga del drenaje natural o artificial; y por el efecto combinado de los niveles de marea y de los ríos en las partes más bajas. Estas condiciones se relacionan con la baja capacidad de descarga y de



amortiguamiento de los sistemas de drenaje local, y con la falta de control del efecto de remanso desde aguas abajo. Además, la ocupación urbana (tradicional) produce un impacto hidrológico importante porque aumenta el caudal y la velocidad del escurrimiento superficial.

Las inundaciones de mayor relevancia que han ocurrido en la ciudad de Guayaquil en los últimos 30 años son:

- 1) 25 de marzo de 1997: Se produjo un evento pluvial de gran intensidad, de una duración de 18 horas, que, en combinación de la pleamar de sicigia, ocasionaron grandes inundaciones en toda la ciudad, llegando a tirantes de agua mayores a 1 metro (Mestanza, 2013).
- 2) 4 de febrero de 2007: Se registró desbordamientos en los canales abiertos ubicados en la ciudadela Las Orquídeas, ocasionando inundaciones en varias viviendas aledañas. Las cotas de agua llegaron hasta los 80 cm de altura (Mestanza, 2013).
- 3) 31 de enero de 2009: Sectores del norte de la ciudad como las ciudadelas Urdesa y Alborada, fueron las más golpeadas por lluvia de 8 horas de duración (Mestanza, 2013).
- 4) 9 de febrero de 2012: La lluvia de 12 horas seguidas coincidió con un período de aguaje, dejando inundada la mayoría de la ciudad (Mestanza, 2013).
- 5) 2 de marzo de 2013, las zonas bajas de la ciudad de Guayaquil registraron pérdidas humanas y materiales producto de una fuerte lluvia de larga duración (Mestanza, 2013).

Las instituciones públicas encargadas de gestionar soluciones al problema de inundaciones han realizado diversas obras con el fin de disminuir la escorrentía superficial. Se ha optado a través de los años por soluciones convencionales de drenaje, que consiste en la construcción de un conjunto de sumideros, canales, canaletas, ductos y alcantarillas. La empresa municipal de agua potable y alcantarillado, conocida como EMAPAG, ha instalado válvulas de retención en los colectores que descargan sus aguas en el estero, para obtener un control del

caudal y así evitar contraflujo durante mareas altas. (Peñailillo, Jeuken, Meijer, & Benitez, 2021).

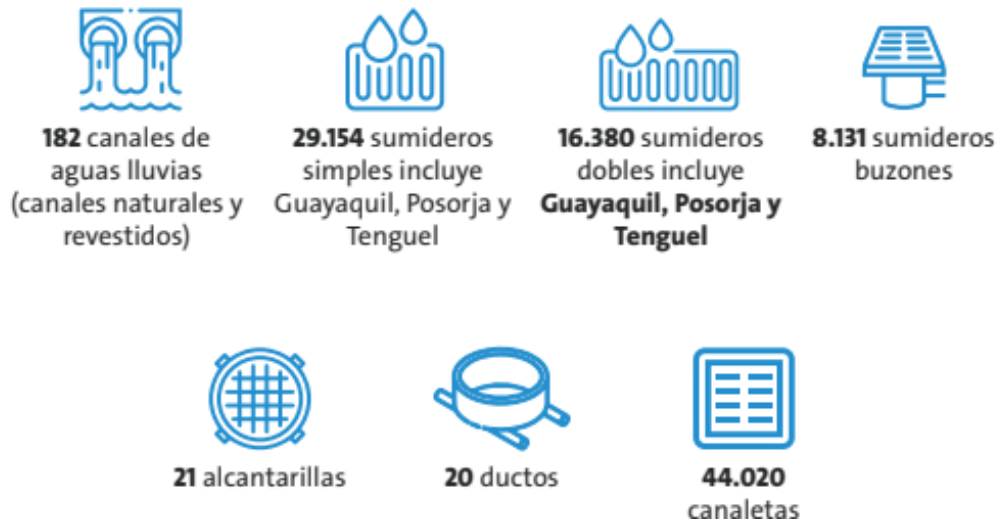


Ilustración 1. Sistema convencional de drenaje pluvial de la ciudad de Guayaquil. Obtenido de (Interagua. C. LTDA.)



Ilustración 2. Estructura de control de mareas e inundaciones para el Estero Salado. Válvulas instaladas en el puente que conduce hacia Urdesa. Obtenido de (El Comercio, 2021)

El sistema convencional de drenaje de aguas lluvia instalado aún no logra abastecer la demanda de captación y drenaje durante fuertes precipitaciones; por ello, muchas ciudades de países desarrollados, como Downtown Ennis y Pigeon Forge, en Estados Unidos, y otras ciudades de Australia y gran parte de la Unión Europea han implementado la solución de infraestructura verde. Dichas soluciones han logrado innovar la manera de gestionar los problemas de inundación, con notables mejoras económicas, ambientales y sociales, al ser una propuesta integral que incentiva el uso de áreas urbanas para actividades recreativas, turísticas y comerciales a la vez que cumple con la función de mejorar el sistema de drenaje en la ciudad.



*Ilustración 3. Adoquinado e instalación de celdas de bioretención laterales en Downtown Ennis, Texas. Obtenido de (Citygreen, 2019)*



*Ilustración 4. Parqueadero con pavimento permeable para centro de eventos, Pigeon Forge, Tennessee. Obtenido de (Gresham Smith, 2022)*

Es una prioridad para la ciudad de Guayaquil mitigar las inundaciones a través de un sistema de alcantarillado pluvial cada vez más eficiente que no reciba un gran caudal en corto tiempo, para así prevenir pérdidas económicas, evitar el tráfico vehicular y mejorar la habitabilidad del sector. La construcción de un sistema de bajo impacto, que permita disminuir la impermeabilización con el aumento de áreas verdes contribuirá a solucionar las inundaciones e impulsará al desarrollo económico, social y ambiental. Bajo estas premisas se promovió llevar a cabo el tema: **“Planificación y diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda que descarga en el Estero Salado, sector Urdesa Norte, de la ciudad de Guayaquil”**.

## 2. CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

### 2.1. Problemas

El sistema de drenaje en el sector del ramal A, que colinda con la ciudadela Urdesa Norte tiende a colapsar durante el período de invierno (desde enero hasta mediados de abril). La impermeabilización por pavimentación del 90% del espacio público de la calle Fernando Artieda no permite el uso de un sistema complementario al existente, por medio de drenaje por infiltración. Los niveles de agua estancada se presentan en zonas bajas; en cambio, las zonas altas sufren de erosión por la velocidad del flujo que se desciende sobre el asfalto, trayendo consigo desde piedras hasta desechos. (Peñailillo, Jeuken, Meijer, & Benitez, 2021) .

El plan maestro de la ciudad de Guayaquil, en el capítulo del drenaje pluvial (Interagua C.LTDA., 2017), menciona la tubería de hormigón de 36” de diámetro que funciona como colector, categorizado por la entidad como DM39, ubicado a lo largo de la calle Fernando Artieda. Para analizar su funcionamiento actual, la institución mencionada realizó un modelo matemático que simula un evento pluvial de período de retorno de 10 años y concluyeron que presenta dificultades de descarga debido al ingreso de agua del estero, produciendo el efecto de inundaciones aguas arriba, como se observa en el perfil hidráulico de la Ilustración 6.

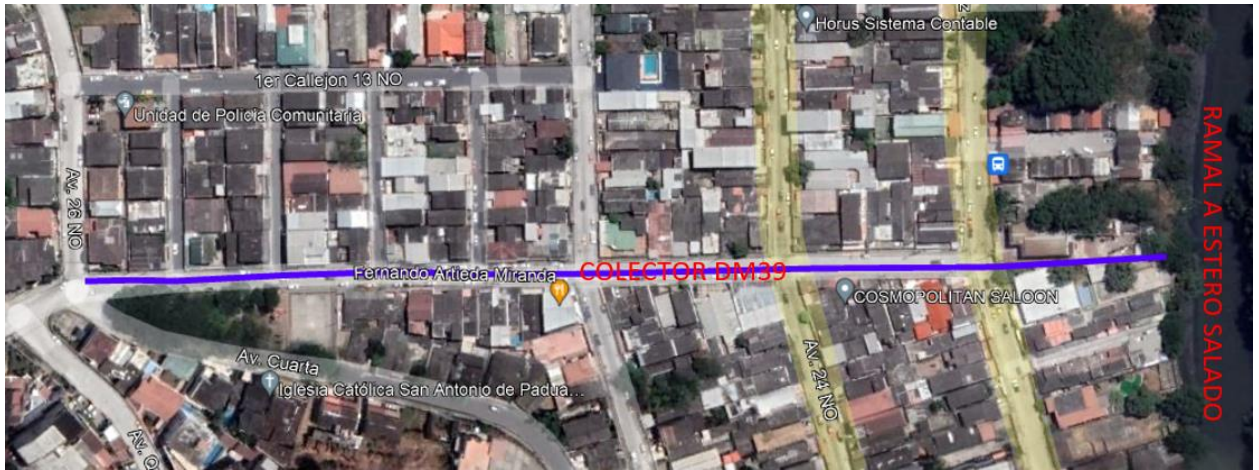


Ilustración 5. Vista satelital de la ubicación del Colector DM39 por medio de Google Earth. (Bernal, 2022)

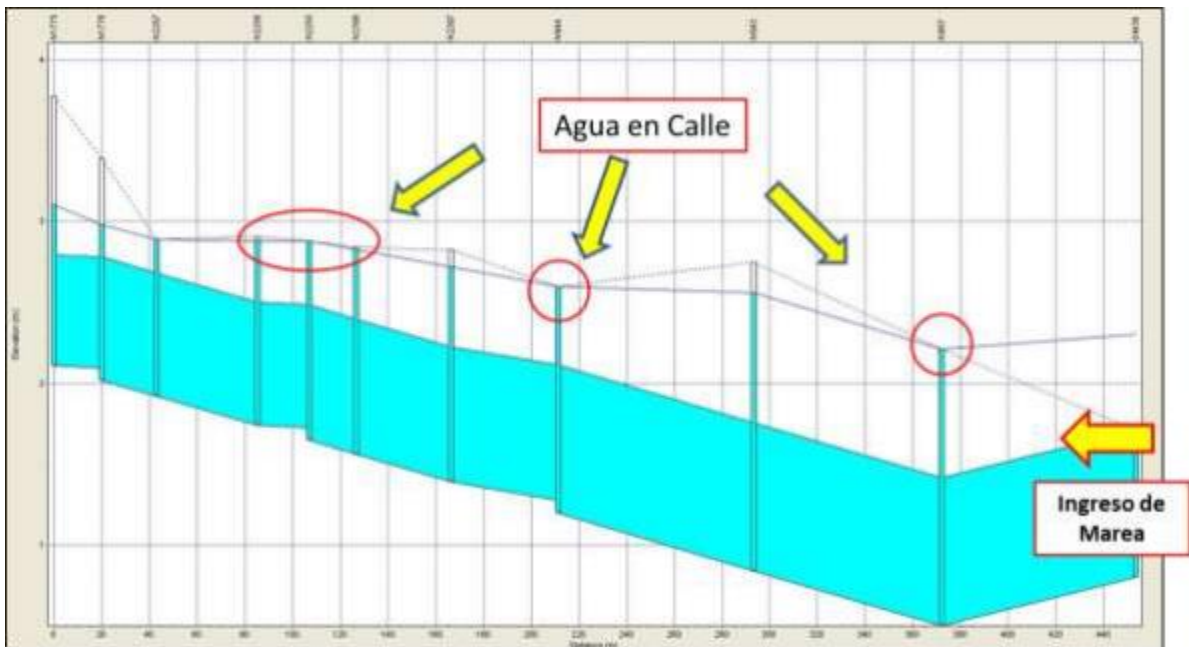


Ilustración 6. Perfil de elevación de agua del colector DM39. Se indica los nodos que registran inundación. Obtenido de (Interagua C.LTDA., 2017)

## 2.2. Causas

### Causas Climatológicas

- Precipitaciones de gran intensidad

El clima de Guayaquil está altamente influenciado por la cordillera de los Andes y las corrientes oceánicas de El Niño y Humboldt, lo cual lo categoriza

como tropical semihúmedo. Guayaquil tiene dos estaciones durante el año: La estación invernal, donde ocurren gran parte de los eventos pluviales, con registros de niveles de precipitación media de 280 milímetros por mes; y la estación de verano, donde permanece seca, casi sin precipitaciones. Los eventos pluviales de gran intensidad tienden a ser de corta duración de tiempo y en puntos específicos. El promedio de duración es de 2 a 4 horas y el nivel de precipitación medio de la ciudad es de 1068 milímetros. (Peñailillo, Jeuken, Meijer, & Benitez, 2021).

- Mareas altas

Las mareas altas acontecen en promedio dos veces por año y se registran niveles mayores de 4 metros sobre el nivel del mar. Su duración e intensidad están regido por efectos astronómicos, por su hidrología y meteorología. (Peñailillo, Jeuken, Meijer, & Benitez, 2021). Un registro de marea extremadamente alta se dio el 2 de marzo de 2013, cuando los niveles llegaron a los 6.25 metros. (Betancourt, Bertoni, & Cabezas, 2013). Los niveles de agua en el Estero Salado se ven afectados por un efecto de asimetría de mareas que tiene el estuario del Guayas. (Mosselman & Becker, 2016)

#### Causas sociales

- Residuos en calles

La ciudad cuenta en todas sus parroquias el servicio de recolección y eliminación de desechos, pero a pesar del sistema existente, gran cantidad de basura y desechos sólidos en las aceras y calzadas obstruye la captación de agua pluvial, proveniente de peatones y de los desechos de los moradores, que son colocadas fuera del tiempo establecido en las esquinas de las manzanas, cercano a

las rejillas de captación, a la espera de su recolección. Como medidas de prevención el municipio realiza trabajos de limpieza durante la etapa invernal. (Comunidad Andina de Fomento, 2016).

#### Causas naturales

- Baja permeabilidad del suelo cercano al Estero y alto nivel freático

La ciudad de Guayaquil cuenta con suelos finos en gran parte de su estratigrafía, con estratos de arcillas de alta plasticidad en profundidades de hasta 10 metros, según registros y tiene la característica de ser impermeable debido a la capilaridad del agua con las partículas finas de suelo y la acción del efecto de cohesión. La estratigrafía de la ciudad cuenta con la presencia de agua subterránea en las capas cercanas a la superficie, con profundidades de 2,6 metros a 1 metro y en sectores cercano a esteros, se encuentra en la superficie. (Betancourt, Bertoni, & Cabezas, 2013)

#### Causas de infraestructura

- Pavimentación de calles

En el centro y sur de la ciudad, en décadas pasadas, existía mayor área de manglar, que con el paso del tiempo fueron rodeadas por asentamientos humanos. Las viviendas del sector pasaron a ser reconocidas legalmente, y, por tanto, a ser una prioridad para sus moradores contar con un sistema de alcantarillado, de agua potable, energía eléctrica, y vías de acceso, con obras de relleno y pavimentación. Existen sectores en la ciudad donde la pavimentación está en el 90% del espacio urbano, siendo evidente la carencia de espacios verdes (Peñailillo, Jeuken, Meijer, & Benitez, 2021)



### 2.3. Impactos

#### Impactos ambientales y a la salud

En el Estero Salado se realiza un estudio de caracterización de su agua trimestralmente, en los siguientes puntos: Ramal A, Ramal B, Puerto Azul, Perimetral; y se ha llegado a la conclusión de que el estero sufre de altos grados de contaminación debido a que en sus aguas se aumenta la carga orgánica y los sedimentos, que se vuelven críticos en los ramales A y B. (Interagua C.LTDA., 2017). El estancamiento de agua y obstrucción de drenaje provoca que el agua contaminada permanezca más tiempo en las calles, con alta cantidad de bacterias y virus, con presencia de vectores y plagas, provocando varias enfermedades como dengue. (Peñailillo, Jeuken, Meijer, & Benitez, 2021)

Los ramales A y B del Estero Salado, que se encuentran en zonas urbanizadas, contienen contaminantes provenientes de las viviendas y de las industrias aledañas, con valores de DBO superiores a los 20 mg/l y concentraciones de oxígeno inferiores a 1 mg/l, provocando que en bajamar se presenten condiciones anóxicas. Los sedimentos lodosos presentan altas concentraciones de mercurio, plomo y sulfuros y elevadas demandas bioquímicas de oxígeno y a la vez existe contaminación visual y deterioro del agua, que lo produce los desechos sólidos, en especial en las zonas del estero ubicadas en el sur de la ciudad, donde se ha llegado a recolectar en promedio diario 3,5 toneladas de basura. (Ministerio del Ambiente - Subsecretaría de Gestión Marina y Costera, 2020)

En la Ilustración 7 se muestra un diagrama que resume los problemas, las causas, y los impactos en el sector de Urdesa Norte. Una vez analizado el problema generado por las inundaciones en la ciudad, se planteó la siguiente interrogante a resolver: ¿Cómo mitigar las inundaciones en el sector, de forma resiliente y maximizando los beneficios económicos, ambientales y sociales?

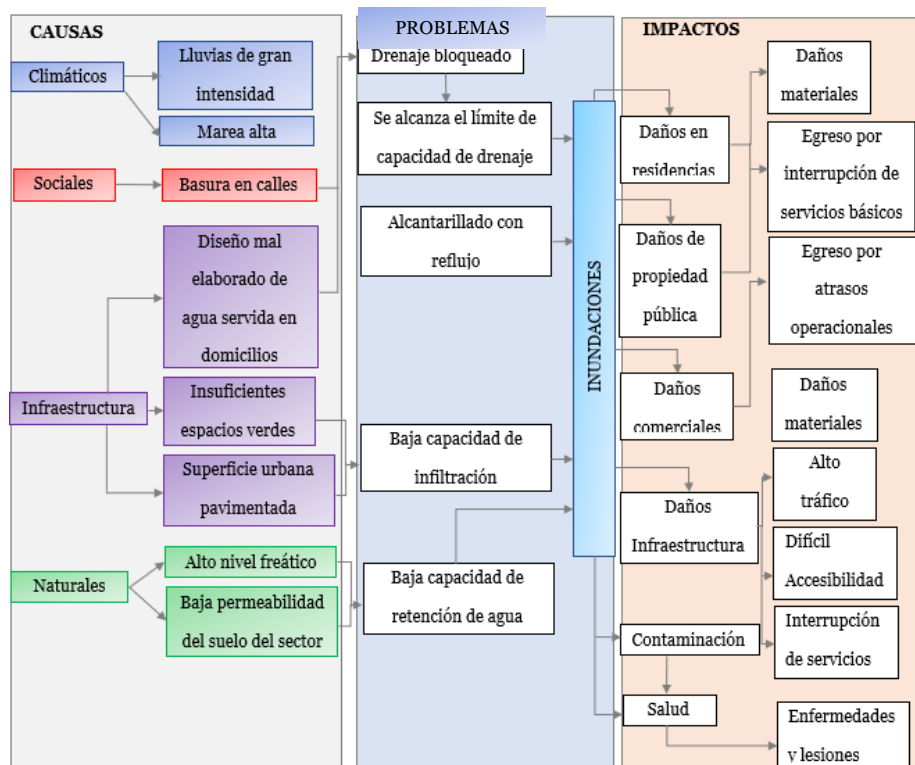


Ilustración 7. Diagrama de causas, problemas e impactos inundaciones del sector Urdesa Norte. (Bernal,2022)

## 2.4. Objetivos

### 2.4.1. Objetivo general

Promover una ocupación más sostenible del territorio y mejorar la resiliencia de la ciudad de Guayaquil ante el riesgo de inundación, mediante la elaboración del plan de diseño de la infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda (DM39) que descarga las escorrentías del sector Urdesa Norte en el Estero Salado; que integre el planteamiento urbano con la gestión, protección y preservación del ciclo urbano del agua.

### 2.4.2. Objetivos Específicos

- Reducir la exposición de la población y propiedades del sector de Urdesa Norte a peligros por inundaciones, mediante el diseño de un sistema de drenaje en el área de influencia

del colector de la calle Fernando Artieda Miranda, que retrase al máximo la permanencia del agua y evite la inundación del sector.

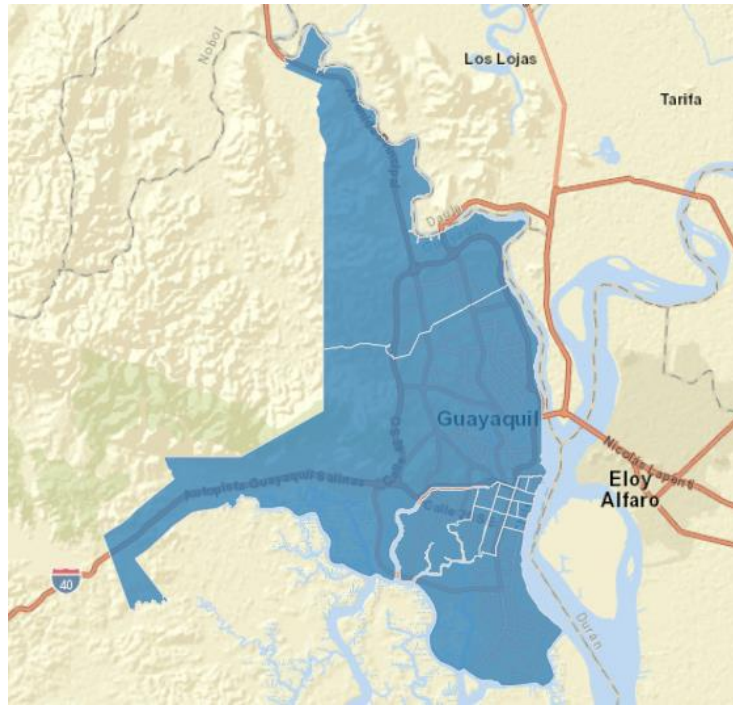
- Contar con nuevos espacios libres que favorezcan el desarrollo de las actividades en un ambiente más saludable; para lo cual se propone diseñar jardines de lluvia en calles, pavimentos permeables, celdas de bioretención, áreas de infiltración, drenes filtrantes, entre otros elementos.
- Poseer un sistema de drenaje integrado al planteamiento urbano que retenga las lluvias en el origen y restituya los procesos hidrológicos, mediante el diseño de una infraestructura verde que considere las características físicas, el sistema urbano (calles, edificios, espacios verdes e infraestructuras) y las características hidrológicas e hidráulicas.
- Disponer de un sistema de drenaje que reduzca la contaminación de las aguas lluvias debido a las conexiones ilícitas de las aguas residuales domésticas, a través del diseño de celdas de bioretención que minimicen la infiltración de elementos contaminantes al sistema de drenaje pluvial.
- Contar con espacios libres que favorezcan el distanciamiento social y contribuyan a una mejor respuesta ante siniestros, a través del rediseño de calles u otros espacios que favorezcan la circulación peatonal.
- Maximizar los beneficios para la ciudad, mediante el diseño de una infraestructura que evite las inundaciones en el sector y demande las menores inversiones en infraestructura.

### 3. CAPÍTULO III. INFORMACIÓN CARACTERÍSTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

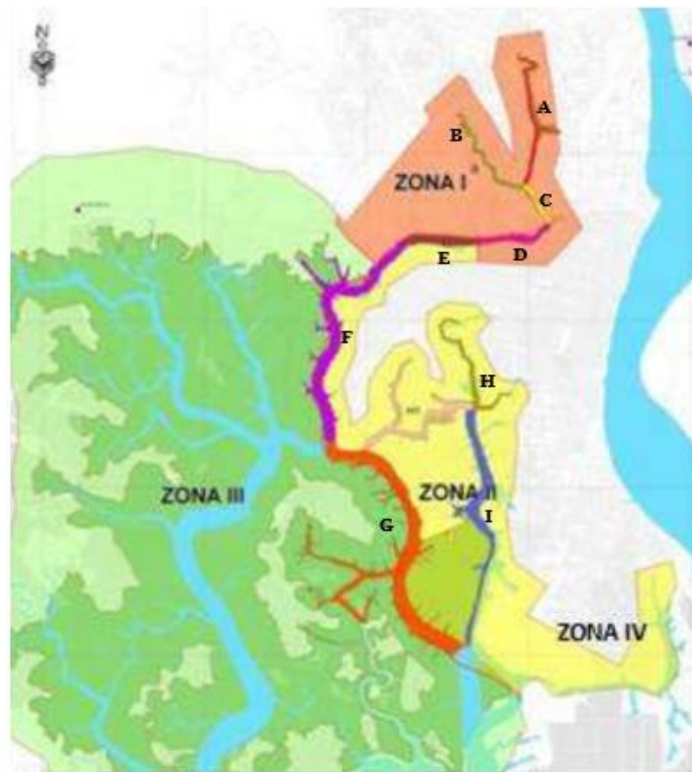
Guayaquil se encuentra en la región costera del Ecuador, que tiene salida hacia el Pacífico Sur. Administrativamente, se divide en 16 parroquias urbanas y 74 sectores. Demográficamente, es la ciudad con mayor número de habitantes y con un índice de crecimiento alto, alcanzando aproximadamente los 3 millones de habitantes. De los 344,5 kilómetros de área de la ciudad, el 91,9% pertenece a territorio urbano, mientras que el 8,1% restante lo ocupan las formaciones de agua como esteros y ríos. (Ministerio del Ambiente - Subsecretaría de Gestión Marina y Costera, 2020). Según Molenaar, Pak, de Pous y van der Werff (2018):

La entrada del estuario exterior tiene más de 200 km de ancho y converge aguas arriba. La amplitud de la marea aumenta a medida que la onda se propaga hacia tierra, porque la convergencia tiene un efecto mayor que la fricción (Barrera Crespo, 2016).

El Estero Salado de Guayaquil es la fuente natural de drenaje pluvial con la que cuenta la ciudad, la cual es encargada del 18% de la captación de agua de lluvia y también funciona en algunos puntos como fuente de descarga del sistema de colectores, y por ello puede recibir diferentes grados y tipos de contaminación. La consultora alemana Lahmeyer en 1997 y 1998, en coordinación con el municipio de Guayaquil, realizó análisis del nivel de contaminación en el Estero Salado, procediendo a clasificar todos sus ramales por zonas, numerándolas del 1 al 4, como se observa en la Ilustración 8.



*Ilustración 8. Área de ocupación de todas las parroquias de la ciudad de Guayaquil. Obtenido de (GAD Municipal de Guayaquil, 2022)*



*Ilustración 9. Mapa de zonificación de esteros. Obtenido de (LAHMEYER, 2000)*

Zona 1. Se encuentran los ramales A, B, C, D, como se muestra en la Ilustración 10.

- El Ramal A, colinda con las ciudadelas Urdesa y Kennedy, al norte de la ciudad. Las subcuencas que abarcan a la ciudadelada Urdesa Norte se encuentran adyacentes al ramal A del Estero Salado, como se observa en la Ilustración 11. Cuenta con niveles de terreno de poca elevación, pero que colinda con cerros que alcanzan los 60 metros sobre el nivel del mar. Cuenta también con vías de acceso peatonal y vehicular, marcadas en la ilustración con color naranja.
- El Ramal B, que termina en el sector de la ciudadelada Quisquís, en la vía a Daule, cerca del Teatro Centro de Arte León Febres Cordero y pasa por las ciudadelas Urdesa Central y Miraflores.
- El Ramal C, que empieza en el punto de confluencia entre los ramales A y B, hasta el puente 5 de junio, que une la calle Carlos Julio Arosemena con la calle 9 de octubre. Y el último tramo empieza desde el puente 5 de junio, hasta el puente de la calle 17. (LAHMEYER, 2000)

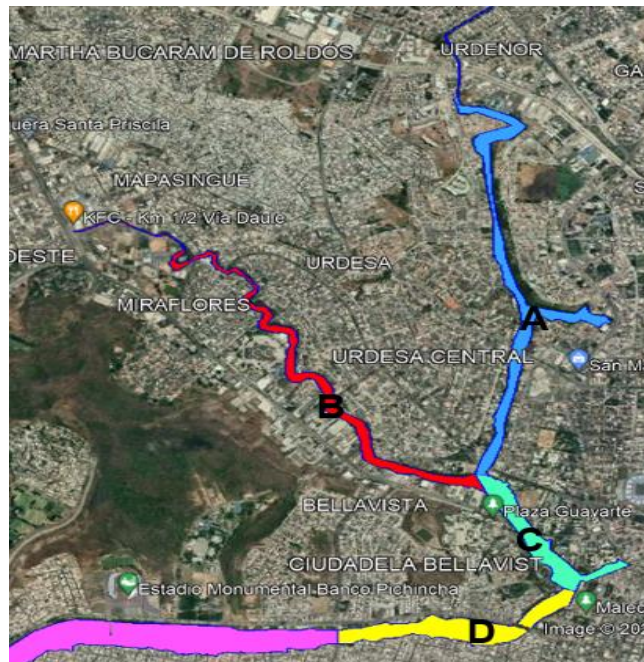


Ilustración 10. Mapa satelital de los ramales A, B, C y D obtenido de Google Maps. (Bernal, 2022)

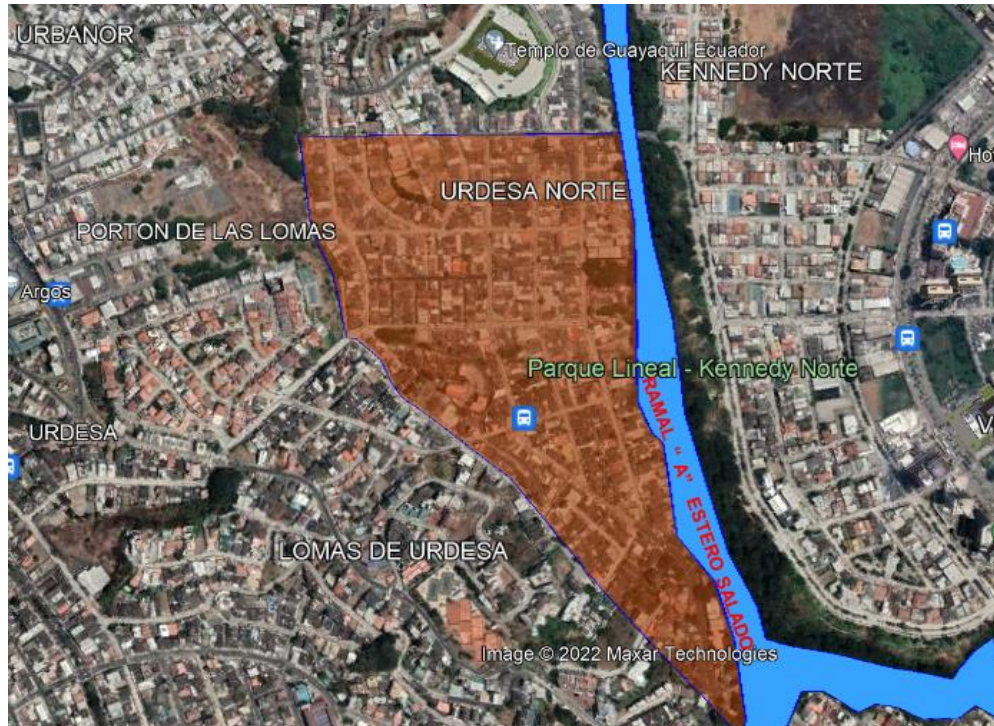
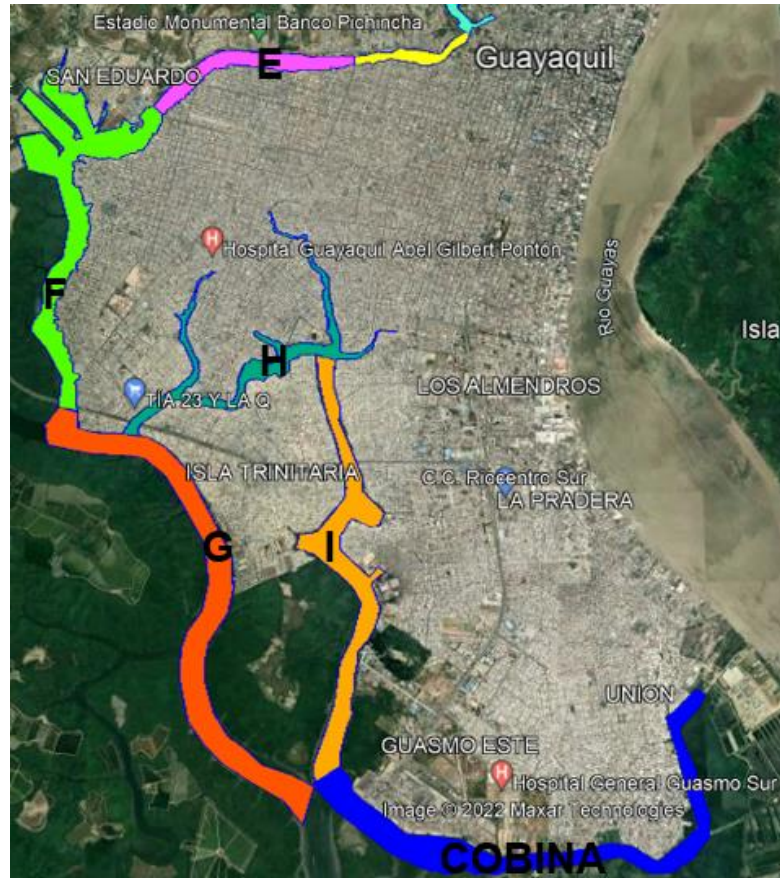


Ilustración 11. Área de la ciudadela Urdesa Norte, junto al ramal A del Estero Salado. (Bernal,2022)

La zona 2. Se encuentran los ramales E, G, H y el estero Cobina, como se muestra en la Ilustración 12.

- El ramal E comprende desde el puente de la calle 17 hasta el puente de la calle Portete.
- El tramo G va desde el Estero Santa Ana rodeando la Isla Trinitaria, hasta un poco antes de llegar al puerto marítimo.
- El tramo H va desde el sector Cuatro Bocas, hasta el sector del puerto marítimo.
- El ramal estero Cobina se encuentra entre la salida del estero hasta el río Guayas y el sur de la Isla trinitaria. El puerto marítimo ocupa este ramal. (LAHMEYER, 2000)



*Ilustración 12. Mapa satelital de los ramales E, F, G, I, H y Estero Cobina desde Google Maps. (Bernal, 2022)*

La zona 3 y 4 consisten en ramales que no tienen asentamiento poblacional en su cercanía, por lo tanto, mantienen un ecosistema de manglar en mejores condiciones.

El sistema de drenaje pluvial existente en la zona de estudio del presente trabajo consiste en un sistema de sumideros, nodos y tuberías colectoras, como el colector DM39 que se observa en la Ilustración 10, que recibe caudales provenientes de subcuencas ubicadas en la ciudadela Urdesa Norte y conduce sus aguas al punto de descarga en el Estero Salado, que, al ser un brazo de mar, sus caudales están gobernados por mareas fluctuantes. La pendiente de la zona es de 1.54% en promedio y existe gran demanda habitacional y comercial (Interagua C.LTDA., 2017). El entorno de las mareas es semidiurno, es decir, dos mareas altas al día. Existen momentos donde las cotas son tan bajas que apenas forman arroyos, y de mareas altas que alcanzan los bordes de las orillas del estero.





*Ilustración 13. Ubicación satelital con Google Earth del colector DM39 y sus nodos. (Bernal,2022)*

## 4. CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se analizan los conceptos y definiciones requeridos para el desarrollo de la investigación. Los sistemas de drenaje pluvial influyen en el ciclo urbano del agua y por ello, los diferentes tipos de ciclos del agua y sus procesos se describen a continuación, junto a la deducción teórica de las ecuaciones para los cálculos de precipitación, hietogramas, marea de diseño, infiltración y tránsito de caudales.

### 4.1. Ciclos de drenaje pluvial

#### 4.1.1. Ciclo natural de drenaje

Se considera un sistema natural si las plantas y el suelo logran interceptar, absorber o filtrar el agua de la lluvia. Cuando ocurre intercepción, se reduce la escorrentía, ayudando al sistema convencional de drenaje que ya estaba instalado en el lugar. El ciclo hidrológico se ve afectado por factores como el clima, la zona geográfica, el tipo de vegetación, la estratigrafía y tipo de suelos del lugar y las cotas de terreno que existan, siendo determinantes en el volumen, duración y frecuencia del flujo de agua de lluvia. Las orillas del estero son un área importante, donde se pueden desarrollar un ecosistema natural de manglar, con especies de animales endémicos, como cangrejos,

garzas y demás aves e insectos. Adoptando un diseño urbano sensible al agua, se logra una mejora en la calidad de agua por medio del filtrado, reteniendo contaminantes. (Wellington City Council, 2013).



Ilustración 14. Ciclo natural de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013)

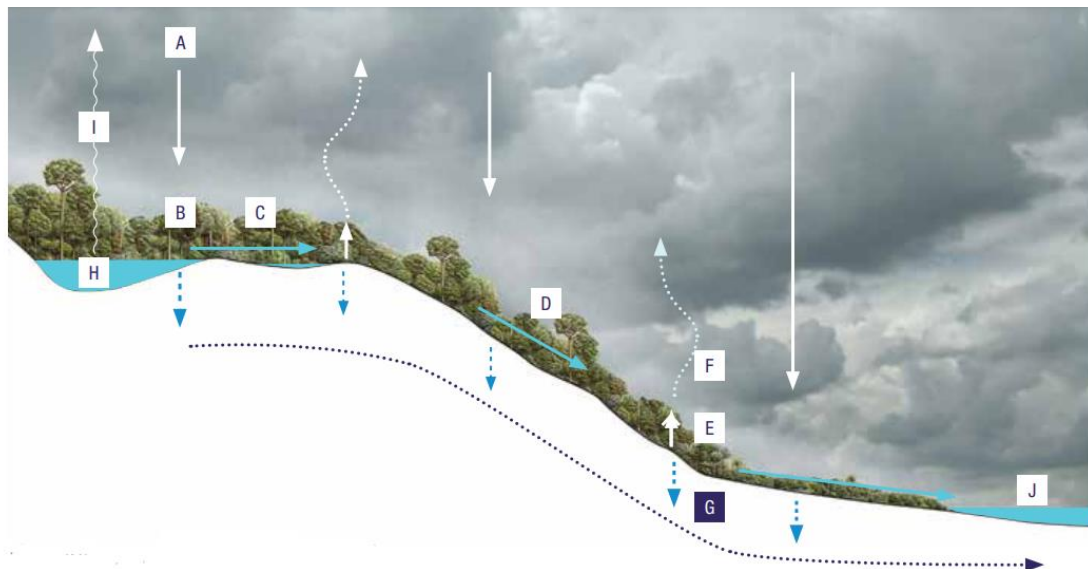


Ilustración 15. Perfil – diagrama del ciclo natural de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013)

#### 4.1.2. Ciclo convencional de drenaje

Los sistemas convencionales se encargan de gestionar rápidamente la captación y transporte de agua de lluvia en zonas impermeables hacia las descargas. Como sucede en gran parte del sector urbano de una ciudad, al no existir zonas de permeabilización, la escorrentía superficial tiende a aumentar de volumen. Por eso, es muy frecuente el evento de inundaciones, sobre todo en eventos pluviales de gran intensidad y duración (ver Ilustraciones 13 y 14). En esto se diferencia de los sistemas naturales, donde el aumento es gradual. Según el nivel freático del lugar, los suelos se pueden ver afectados por la presencia de obras que generan impermeabilidad. Para el caso de falta de agua subterránea, puede provocar desestabilización de estructuras. En caso de tener un elevado nivel freático, el suelo se encuentra saturado, lo que provoca una afección a la fuerza de cohesión (Wellington City Council, 2013).



Ilustración 16. Ciclo convencional de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013)

#### 4.1.3. Diseño Urbano Sensible al Agua

El diseño Urbano Sensible al Agua, en sus siglas en inglés WSUD (Water Sensitive Urban Design), es una visión para el manejo y control de agua en ciudades que tengan problemas frecuentes tanto en cantidad insuficiente como una calidad de agua potable de bajas condiciones y que se basa en la generación de procesos naturales dentro del área urbana, como se observa en la Ilustración 16. Se trata de diseños innovadores para agua potable, aguas servidas y aguas lluvia, que, al ser gestionada, genera un impacto positivo sobre las demás. Indiferente del tipo de diseño, si es un sistema de aguas pluviales, su objetivo central será el drenaje de agua durante un evento pluvial para evitar inundaciones y posibles daños a la propiedad pública y privada.

Otro de los objetivos del diseño urbano incluye generar cambios positivos sobre el medio ambiente con integración ciudadana en el ámbito técnico, social y económico y reducir la frecuencia, duración y volumen de saturación de un sistema convencional de aguas pluviales. Es preciso mencionar que, a través de un diseño de filtrado, el agua lluvia se volvería potencial para uso de tratamiento de agua potable, reduciendo así la demanda en el sistema principal y adicionalmente, genera paisajismo en el diseño urbano con potencial turístico. (Wellington City Council, 2013).

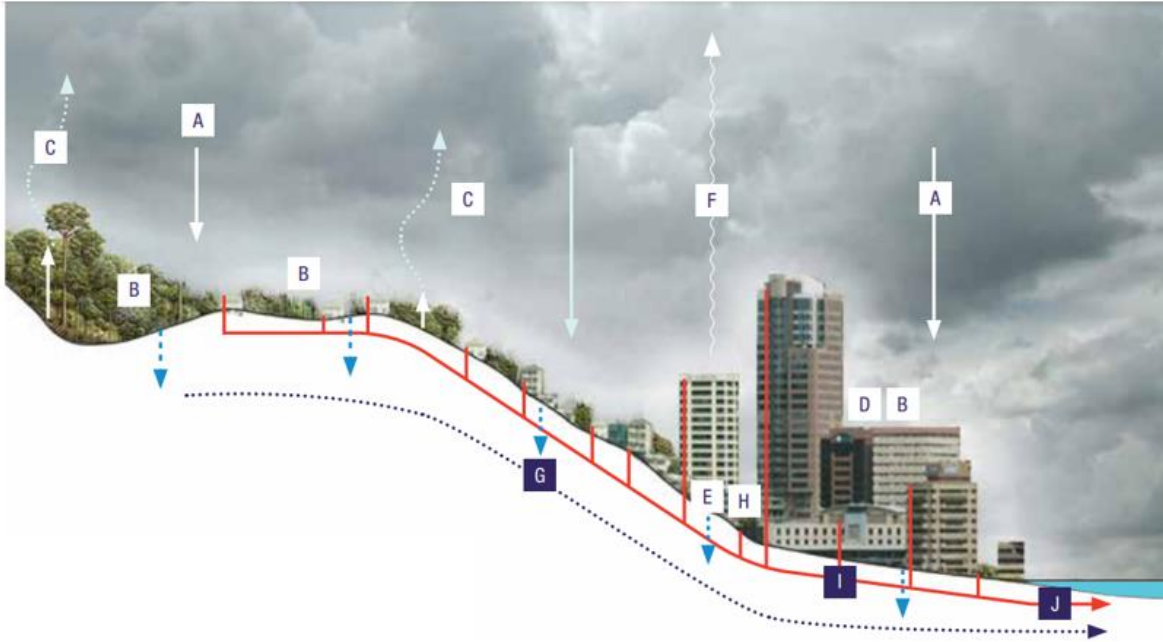


Ilustración 17. Perfil – diagrama del ciclo convencional de drenaje pluvial. Obtenido de (Wellington City Council, 2013)



Ilustración 18. Ciclo convencional de drenaje integrado con SWUDs. Obtenido de (Wellington City Council, 2013)

## 4.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) se emplean para representar la intensidad de la lluvia en función de la duración del evento y el período de retorno. La intensidad se representa en milímetros de precipitación, la duración en minutos y el período de retorno en años. La ecuación 1 es la utilizada para calcular la intensidad de lluvia, y los coeficientes de parametrización para diferentes períodos de retorno se indican en la tabla 1.

*Ecuación 1. Intensidad en función de coeficientes de parametrización.*

$$I = \frac{c}{t_d^e + f}$$

Donde:

- c, e, f son coeficientes de parametrización
- $t_d$  es la duración en minutos

*Tabla 1. Coeficientes de Parametrización usados en la fórmula de intensidad. Obtenido de (Interagua C.LTDA., 2017)*

Coeficientes	PERÍODO DE RETORNO					
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
curva I D F						
<b>c</b>	742,53	570,75	521	486,47	471,72	463,15
<b>f</b>	5,4707	2,3521	1,4944	0,877	0,5861	0,3789
<b>e</b>	0,6346	0,5022	0,4475	0,3979	0,3701	0,3477

## 4.3. Hietograma de Chicago

El método de la Tormenta de Chicago es el método de obtención de crecidas de diseño para dimensionamiento de sistemas de drenaje urbanos, asumiendo que la intensidad media en cualquier intervalo de tiempo menor al tiempo final tiene la misma recurrencia, coincidiendo con la intensidad que se obtiene a través de la curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF). (Macor & Pedraza, 1998). El método fue elaborado por Keifer y Chu en el año de 1957 determinando la tormenta de diseño para la ciudad de Chicago y debido a esto es conocido como

Chicago design storm. Es un método de mayor eficiencia que el de los bloques alternos, (método abreviado del hietograma de chicago), con la ventaja de definir una intensidad media en concordancia con la intensidad de lluvia obtenida por la curva de posibilidad climática. (Interagua C.LTDA., 2017)

#### 4.4. Marea típica de diseño para drenaje pluvial

El fenómeno natural de las mareas es una consecuencia de la ley de gravitación universal debido a que la superficie del planeta se encuentra en atracción constante con su núcleo y en atracción variable con los astros, dependiendo de su ubicación respecto a la tierra. El cálculo de mareas obedece a la siguiente ecuación sinusoidal partiendo de datos como la pleamar, bajamar y la amplitud durante un tiempo de registro determinado.

*Ecuación 2. Ecuación sinusoidal de marea de diseño.*

$$Z_{(t=horas)} = A \cdot \text{seno} \left( t - t_p + \frac{1}{4 \cdot f} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \right) + P - A$$

Donde:

A = Amplitud

P = Pleamar

$t_p$  = tiempo al pico

f = frecuencia

#### 4.5. Celdas de Bioretención

Las celdas de bioretención son un sistema de drenaje urbano que consiste en el uso de cobertura vegetal y de subcapas permeables para la retención de agua de lluvia. Este sistema realiza un trabajo combinado de filtrado de agua a través del suelo y absorción por medio de la

cobertura vegetal. Se requiere un espesor en función del volumen de precipitación de diseño para permitir el empozamiento temporal del agua hasta que lentamente se va infiltrando en el suelo. Las plantas juegan un papel importante absorbiendo por medio de sus raíces parte del depósito de agua retenido y como interceptoras de agua en la superficie por medio de sus hojas que favorecen al proceso de evapotranspiración, como se observa en la Ilustración 20. En las capas inferiores se coloca suelo tipo grava o arena, para que exista permeabilidad y el tiempo de evacuación de agua lluvia sea menor. (Capuccini, 2010)

El objetivo general del drenaje por medio de almacenamiento subterráneo de agua es permitir a la unidad de desarrollo de bajo impacto drenar en un tiempo estimado entre 24 y 72 horas al tener menor dificultad de infiltración (Mogenfelt, 2017). Este tipo de drenaje cuenta con un sistema de conducción del agua infiltrada por medio de una tubería perforada y según los requerimientos de diseño, podría ser recta o con una salida hacia la superficie para formar un almacenamiento interno de agua (Internal Water Storage, IWS). (Mogenfelt, 2017)



*Ilustración 19. Ejemplo de celda de bioretención. Obtenido de (Capuccini, 2010)*



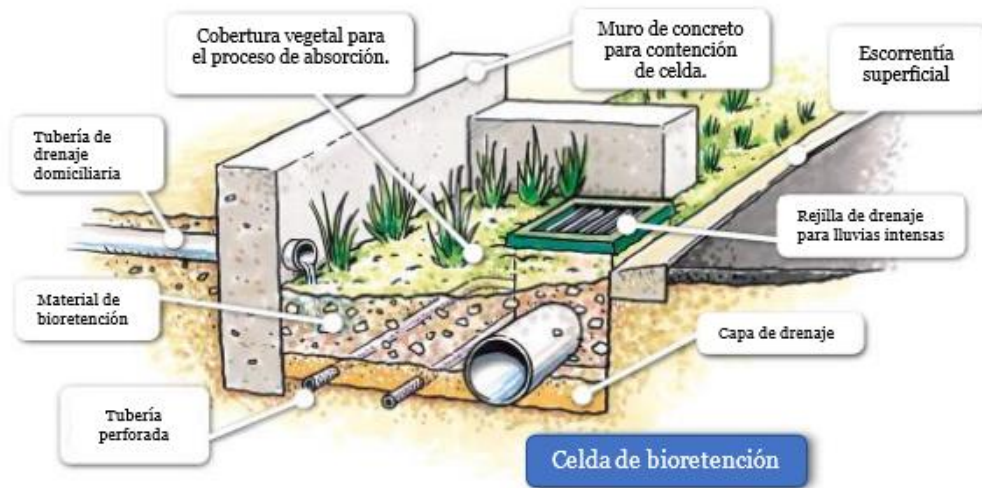


Ilustración 20. Modelo teórico de celda de bioretención. Obtenido de (Lochiel Park website, 2013)

#### 4.6. Pavimentos permeables

Los pavimentos permeables son sistemas de drenaje de agua, que través del proceso de infiltración, conduce el agua a capas inferiores del suelo, donde se puede quedar almacenada o se puede colocar tuberías perforadas que permitan la captación de agua y ser conducidos a un punto de descarga por medio de tuberías perforadas. Los sistemas de pavimento permeable proporcionan dos ventajas fundamentales con respecto a los pavimentos impermeables regulares: genera una mejora de la calidad del agua a través del filtrado, la interceptación y el suministro de tratamiento biológico; y reduce la escorrentía superficial de aguas pluviales a través de la infiltración y el almacenamiento. Los pavimentos permeables suelen incluir sistemas de adoquinados, que suelen ser de uso frecuente (Water Sensitive S.A., 2020).

Los pavimentos permeables están diseñados para funcionar a través del tiempo con carga mecánica y partículas erosionadas provenientes del pavimento entrando a las subcapas. Generalmente cuenta con arenas en lugar de suelo fino, como sucede en las células de bioretención, para evitar la compactación y la obstrucción. (Mogenfelt, 2017)

Como ejemplo de superficies permeables se encuentran los sistemas de grava, que son un método eficiente para reducir la escorrentía superficial en senderos de poco tráfico y caminos

de entradas a residencias. Las superficies permeables formadas de grava que reciben la escorrentía de aguas pluviales más allá de solo la lluvia que cae directamente sobre el propio pavimento, por ejemplo, las aguas pluviales redirigidas desde tuberías rebozadas, desbordamientos de puntos de almacenamiento de agua pluvial, etc., requieren de consideraciones de diseño adicionales para determinar su eficiencia y funcionalidad. (Water Sensitive S.A., 2020)

Los sistemas de pavimento permeable se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Superficies porosas: Se trata de una capa de material altamente poroso. Existen hormigones y asfaltos porosos especialmente diseñados para permitir el paso de agua debido a la alta porosidad que poseen. (Water Sensitive S.A., 2020). Están conformados con una alta cantidad de agregado grueso y una muy baja de agregado fino junto con aditivos y agua para el proceso de fraguado. Es de múltiples usos como, por ejemplo, para senderos o caminos peatonales y de bicicletas, plazas, parqueaderos y demás lugares que tengan susceptibilidad a inundaciones. (Spalvier, Díaz, & Marrero, 2021)
- Pavimentos permeables: Se trata de una capa de bloques interconectados (ya sean hechos de material poroso o con una geometría especial para permitir el ingreso de agua en forma de ranuras verticales, que permitan la escorrentía por debajo de la superficie. (Water Sensitive S.A., 2020). Para la funcionalidad de este tipo de sistemas, se requiere que exista una permeabilidad graduada desde la capa superficial y hacia el subsuelo. En el trayecto de infiltración se puede retener diversos residuos como grasas y aceites e hidrocarburos, volviendo factible la utilización de agua de lluvia por medio de un sistema de tratamiento.



*Ilustración 21. Instalación de bloques permeables. Obtenido de (SuD Sostenible, 2016)*



*Ilustración 22. Loseta de hormigón permeable mostrando su capacidad de infiltración de agua. Obtenido de (Spalvier, Díaz, & Marrero, 2021)*



*Ilustración 23. Contraste entre el asfalto regular y el asfalto poroso respecto al contenido de agua superficial en la vía. Obtenido de (Capuccini, 2010)*

#### 4.7. Deducción de ecuación de infiltración

La infiltración a través del suelo depende de la capacidad de succión de las capas superficiales y su grado de saturación, por tanto, existe facilidad de infiltración en suelos completamente secos y menor facilidad en suelos saturados, ya que en ese caso solo la gravedad impulsa el flujo. Se han desarrollado diversos métodos de cálculo de infiltración y percolación vertical, entre ellos, el más conocido y aceptado es el de la ley de Darcy para el caso de flujo saturado, asumiendo que el suelo es homogéneo, isótropo y que el tiempo de infiltración es tardado, lo suficiente como para mantener un flujo laminar. (Mogenfelt, 2017)

*Ecuación 3. Ley de Darcy para el caso de flujo saturado.*

$$q = -K \frac{\delta H}{\delta z}$$

Donde

K = Conductividad hidráulica del suelo. (m/s)

$\delta H/\delta z$  = Cambio de tirante por longitud en dirección del flujo.

Para el caso de suelos no saturados, se puede optar por cálculos físicos como la ecuación de Richards, la cual combina la ley de Darcy con la conservación de masa o se puede usar cálculos empíricos como son las ecuaciones de Green-Ampt y Horton. La ecuación de Green-Ampt idealiza la existencia primaria de humedad y saturación en la capa superior y luego se va expandiendo a capas inferiores y para ello calcula el espesor de la zona húmeda denominada como infiltración acumulada. (Mogenfelt, 2017)

*Ecuación 4. Ecuación de Green-Ampt para suelos no saturados.*

$$f = K \left[ 1 + \left( \frac{S_f(\phi - \theta_i)}{F} \right) \right]$$

Donde

$K$  = Conductividad hidráulica del suelo. (m/s)

$S_f$  = Succión efectiva (m)

$\phi$  = Porosidad del suelo (%)

$\theta_i$  = Contenido inicial de agua (%)

$F$  = Infiltración acumulada

La ecuación de Horton se basa en un rango de infiltración partiendo de un valor inicial  $f_0$  hacia un valor  $f_c$  conforme la humedad aumente y solo es aplicable cuando hay agua disponible para infiltrar por lo menos al valor  $f_c$ . (Mogenfelt, 2017) La ecuación se expresa de la siguiente manera:

*Ecuación 5. Ecuación de Horton.*

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) * e^{-\beta t}$$

Donde

$\beta$  = parámetro de forma de la curva de recesión ( $h^{-1}$ )

En el cálculo de drenaje inferior por medio de la tubería perforada se asume que el flujo se da con la sección transversal completamente llena. Sin embargo, durante un evento pluvial empieza trabajando la tubería parcialmente sumergida. Para el cálculo del flujo de la tubería, el modelo matemático adopta la ecuación de MacKenzie, pero alterando su exponente a 1,5, en vez de 1,8 como indica la ecuación original. (Mogenfelt, 2017)

*Ecuación 6. Ecuación de MacKenzie para flujo de tubería.*

$$Q = Q_{full} \left( \frac{y}{d} \right)^{1.5}$$

Donde

y = nivel de agua sobre el orificio

d = diámetro del orificio

#### 4.8. Cálculo de tránsito de caudales

Para el cálculo de tránsito de caudales existen tres métodos disponibles:

- Flujo constante (Steady Flow Routing): Se asume que las condiciones de flujo no varían con el tiempo, en otras palabras, se tiene un flujo permanente. Es el método más conservador, pero suele ser físicamente incongruente.
- Onda cinemática (Kinematic wave): Se considera la alteración a través del tiempo y para ello usa la ecuación de conservación de masa y de la conservación de cantidad de movimiento de forma aproximada.
- Onda dinámica (Dynamic wave): En este método se realiza de forma completa las ecuaciones de Saint Venant, lo cual lo convierte en el proceso matemático menos conservador y exige al software una mayor potencia para las iteraciones numéricas, por lo que demanda mayor tiempo para entrega de resultados. Para la aplicación del método se considera un flujo inestable, ya que las propiedades del flujo como el tirante de agua y la velocidad cambian respecto al tiempo, con una variación gradual. Las ecuaciones se basan en los principios de continuidad (conservación de masa), y de cantidad de movimiento (específicamente, de la segunda ley de movimiento de Newton). (Mujumdar, 2001) Las fórmulas se expresan de la siguiente manera:

*Ecuación 7. Ecuaciones de Saint Venant.*

- Continuidad:  $\frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta t} - q = 0$
- Cantidad de movimiento:  $\frac{1}{A} \frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{1}{A} \delta \left( \frac{Q^2}{A} \right) \delta x + g \frac{\delta y}{\delta x} - g(S_0 - S_f) = 0$

## CAPÍTULO V. METODOLOGÍA

Se describe a continuación la metodología empleada para seleccionar la alternativa que mitigue las inundaciones en el sector, que se dividió en varias fases: preliminar, análisis hidrográfico e hidrológico, análisis hidráulico y selección de la alternativa óptima.

### 5.1. Fase preliminar

Se recopiló información de la zona de estudio, como cartas topográficas digitales a escala 1:50000, por parte del Instituto Geográfico Militar del Ecuador y datos de los predios y uso de suelo del sector Urdesa Norte por parte del Geo portal de la municipalidad de Guayaquil. El sistema actual de drenaje de aguas pluviales, con sus diámetros y nodos se obtuvo de la empresa Interagua, encargada de las obras de redes de agua potable, aguas servidas y aguas lluvia, válvulas de retención y demás sistemas de agua para la ciudad. Las zonas inundables se determinaron por medio de consultas y entrevistas a moradores del sector Urdesa Norte. Para datos de inundaciones por impermeabilización se realizaron consultas bibliográficas de otros sectores críticos de la ciudad que cumplan con características similares a la zona de estudio, como la parroquia Febres Cordero. Los registros pluviométricos de dominio Nacional se obtuvieron por parte de la información de libre acceso del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología; y los de dominio municipal por parte de Interagua.

### 5.2. Fase de análisis y diagnóstico

Se llevó a cabo un análisis de las características físicas de la subcuenca de estudio en torno al agua, un análisis de medio urbano, y una evaluación hidrológica-hidráulica, con la finalidad de identificar limitaciones y fortalezas de la zona para implementar con eficacia las estrategias y soluciones de infraestructura convencional y de infraestructura verde.



### 5.2.1. Características físicas

El análisis de las características físicas abarcó el estudio de la topografía, para poder determinar las cotas de instalación de tuberías de hormigón en el caso de la solución convencional y también para las cotas de las capas de suelo y de las tuberías perforadas de la solución de infraestructura verde, analizando las limitaciones del terreno que se puedan presentar durante su fase constructiva y poder generar soluciones. El factor climático también se analizó para poder determinar el efecto ambiental de la inserción de cobertura vegetal y árboles en el medio urbano y para una mejor categorización de los períodos de eventos pluviales durante los meses críticos.

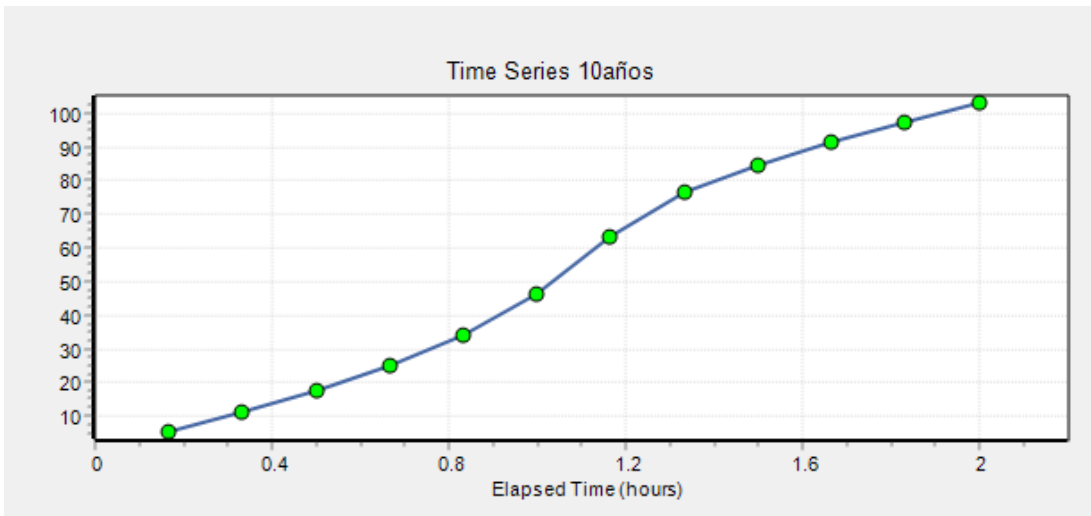
### 5.2.2. Análisis del medio urbano

Se evaluó las calles, superficies y espacios verdes existentes en el sector, que, con relación a la topografía, sirvieron para determinar las zonas a intervenir y los cambios requeridos, como la modificación de tamaño de tuberías, modificación de ubicación de sumideros de agua, según lo exigió el diseño. A su vez se estudió la permeabilidad del sector para ubicación de las zonas que faciliten la infiltración de la escorrentía y la optimización del tiempo de retención de agua y su posterior drenaje acabado el evento de lluvia.

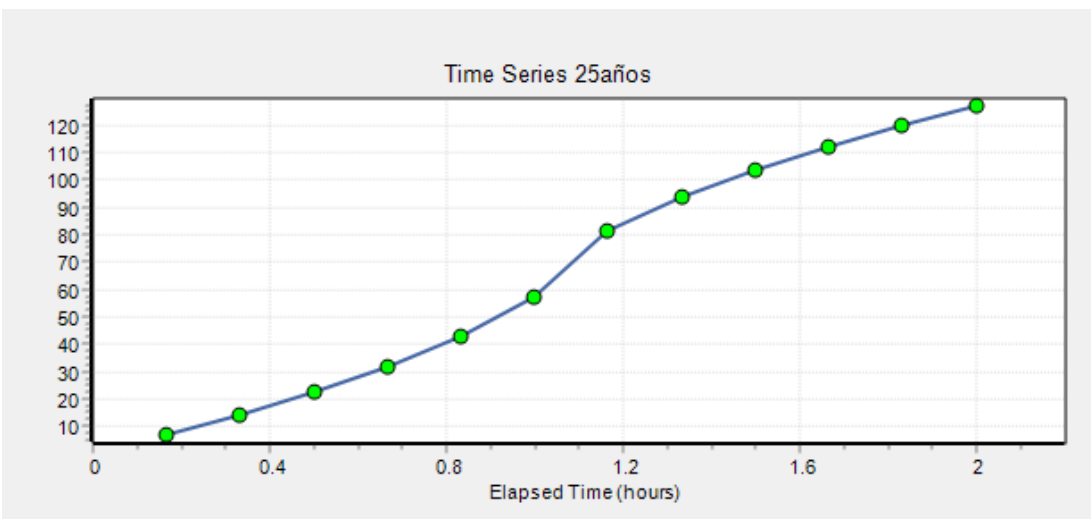
### 5.2.3. Análisis hidrológico

Este análisis permitió conocer el funcionamiento del sistema de drenaje superficial actual de la subcuenca, donde se empleó el modelo SWMM. Dentro del software se determinaron las áreas correspondientes a las subcuencas en función de las zonas de aportación de caudal de cada descarga existente. Para la simulación en el programa, se ha seleccionado una lluvia con un período de retorno de 10 años, para obtener un diseño menos conservador en comparación a una solución más costosa que funcione para una mayor intensidad de lluvia, las cuales ocurren con muy poca frecuencia. El diseño urbano suele exigir cambios en el tiempo debido al tráfico, a la necesidad de más espacios recreativos, comerciales, o de alguna obra en

beneficio general de la comunidad. Debido a ello, no es recomendable desarrollar una solución para un tiempo mayor de 10 años. Las ilustraciones 25 y 26 muestran valores de precipitaciones para períodos de retorno de 10 y 25 años respectivamente.



*Ilustración 24. Precipitación para período de retorno 10años (Bernal, 2022)*



*Ilustración 25. Precipitación para período de retorno 25 años (Bernal, 2022)*

Los datos de precipitación ingresados al modelo se basaron en registros históricos por medio de pluviómetros; y el más cercano y que hace referencia el presente trabajo se encuentra ubicado en la ciudadela Bellavista. En la Tabla 2 se detallan los valores máximos de precipitaciones del año 2012 al 2015 de la estación de Bellavista.

Tabla 2. Valores máximos de precipitaciones del año 2012 al 2015. Obtenido de (Interagua C.LTDA., 2017)

PLUVIÓMETRO BELLAVISTA				
AÑO	Fecha	60 min (mm)	120 min	
			mm	mm/hora
2012	25/2	50	91,7	45,8
2013	21/2	46,7	79,2	39,6
2014	21/3	61,5	96,5	48,3
2015	18/3	40,6	67,8	33,9

Con los datos de coeficientes de parametrización de la ciudad de Guayaquil que se muestra en la tabla 1, se calculó la intensidad para diferentes valores de tiempo, obteniéndose los valores de las curvas IDF para cada período de retorno, como se observa en la tabla 3, calculándose para un tiempo de duración de precipitación desde el minuto hasta las 2 horas. El eje de las abscisas representa el tiempo  $t_d$  en minutos, y el eje de las ordenadas representa el valor de la intensidad en milímetros por hora, como se observa en la Ilustración 26.

Tabla 3. Valores de intensidad duración y frecuencia. (Bernal,2022)

Duración (minutos)	1	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h
2 años	114,8	90	75,9	67,2	61	52,6	46,8	42,6	39,3	36,6	34,4	32,5	30,9	29,4	28,2
5 años	170,3	124,2	103,2	91,3	83,3	72,5	65,4	60,2	56,1	52,9	50,1	47,8	45,8	44,1	42,5
10 años	208,9	146,8	121,3	107,3	98	85,7	77,7	71,8	67,3	63,6	60,6	58	55,7	53,8	52
25 años	259,2	175,4	144,1	127,5	116,6	102,5	93,3	86,6	81,4	77,2	73,8	70,8	68,3	66	64
50 años	297,4	196,5	160,9	142,5	130,4	114,9	104,8	97,5	91,8	87,3	83,5	80,3	77,5	75,1	72,9
100 años	335,9	217,6	177,7	157,4	144,2	127,2	116,2	108,3	102,2	97,3	93,2	89,8	86,8	84,1	81,8

## Curvas I D F de la ciudad de Guayaquil

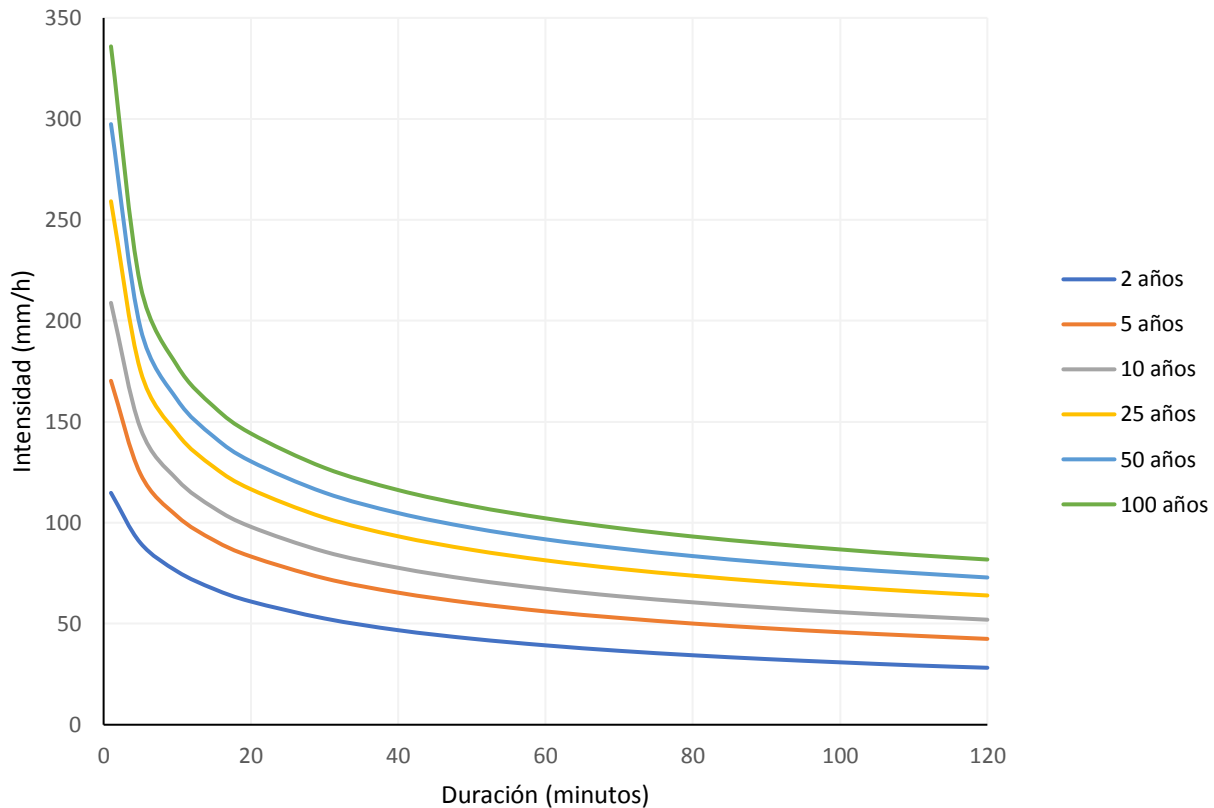


Ilustración 26. Curvas IDF de la ciudad de Guayaquil para distintos períodos de retorno. (Bernal,2022)

Con los datos de intensidad obtenidos de las curvas IDF se construyó el hietograma de Chicago, tanto para su rama ascendente como descendente y para el período de retorno de 10 años, obteniéndose un valor pico a partir de 60 minutos de haber empezado el evento pluvial, como indican los valores de la tabla 4. La ilustración 27 indica gráficamente los valores obtenidos en forma de bloques para un intervalo de tiempo de 10 minutos. El hietograma es el dato de precipitación de diseño que se ingresa en el modelo matemático; sin embargo, en el simulador se ingresó el registro del evento pluvial durante 12 horas, lo cual incluye los valores de precipitación pico que indica el hietograma de diseño y también valores despreciables y nulos fuera del tiempo crítico de 2 horas de duración.

Tabla 4. Precipitación de diseño de la ciudad de Guayaquil para  $T = 10$  años (Bernal, 2022)

Duración [ min]	Hietograma (Chicago)
0:00	
0:10	32,34
0:20	35,04
0:30	38,76
0:40	44,04
0:50	52,98
1:00	74,22
1:10	102,9
1:20	78,66
1:30	47,82
1:40	41,16
1:50	36,72
2:00	33,6

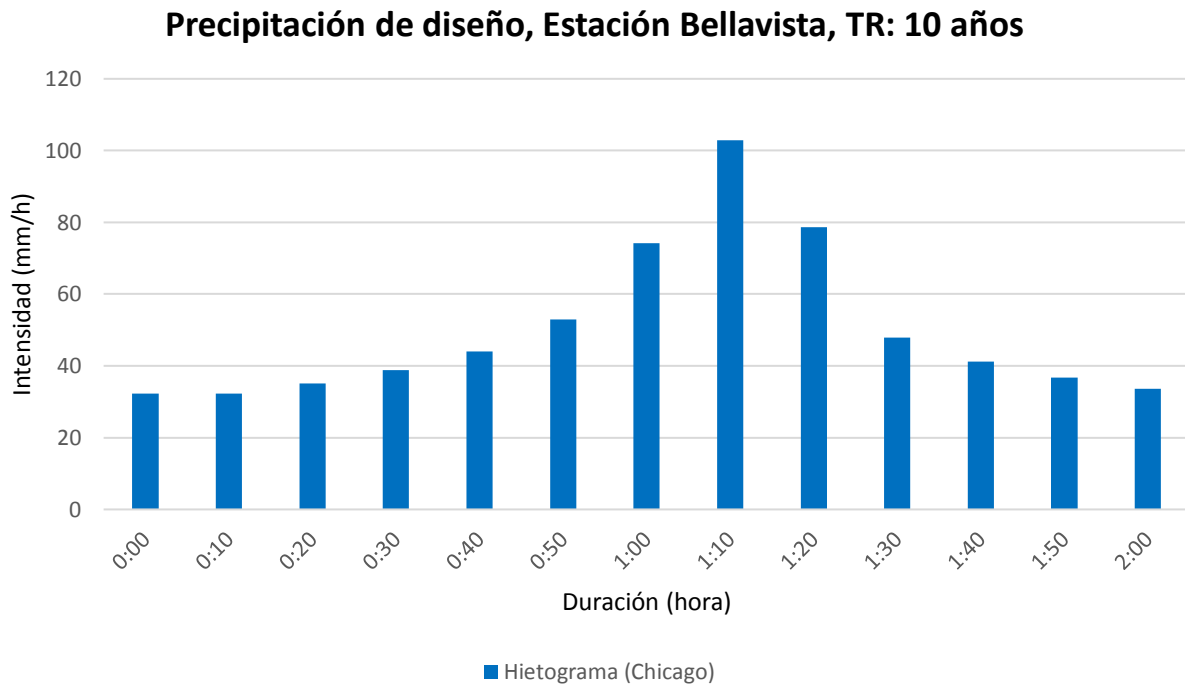
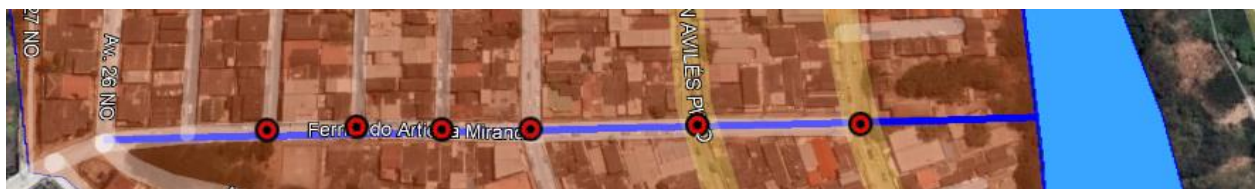


Ilustración 27. Hietograma de precipitación de tiempo de retorno  $T = 10$  años (Bernal, 2022)

#### 5.2.4. Análisis hidráulico

La calidad y capacidad de un sistema urbano de escorrentía de agua pluvial están influidos en el método de captación. Se utilizaron modelos que simularon el drenaje bajo datos pluviales típicos registrados con anterioridad. La obtención de resultados con un porcentaje mínimo de error dependerá en la manera de subdivisión de áreas de captación y su forma de exportación como elementos espaciales dentro del modelo matemático. Para la modelación de infraestructura verde se utilizó un modelo de discretización que diferencie el área impermeabilizada que se encuentra directamente conectada del área impermeabilizada total.

Se empezó identificando espacios permeables los cuales captan la escorrentía de áreas impermeables que se encuentran aguas arriba de ellas, diferenciándose del resto de área permeable total. Realizar estas determinaciones injiere en una representación optima del modelo de drenaje (Gwang Lee, Nietch, & Panguluri, 2017). Al tener conocimiento de la capacidad de permeabilización de la zona, se determinó que las zonas propensas a inundaciones están en los nodos que se ubican en las intersecciones de la calle Fernando Artieda con otras calles, como se observa en la Ilustración 28. También se determinó el flujo de agua existente en la ciudad, que va desde la captación hasta el estero, y que está directamente relacionado al sistema actual de drenaje, tal como se muestra en la Ilustración 29; y siendo el factor principal para la delimitación de las subcuencas según el área de aportación que pueda receptor cada línea de tubería instalada, por donde fluye hasta su descarga.



*Ilustración 28. Captura satelital de las zonas de Inundación de la calle Fernando Artieda desde Google Maps. (Bernal, 2022)*



*Ilustración 29. Captura satelital del flujo de agua de la ciudadela Urdesa Norte desde Google Maps. (Bernal, 2022)*

Se considera como marea para el diseño para el ingreso al modelo matemático, un evento de marea alta que sobrepase un 85% a los registros anuales de pleamar. Estos datos fueron registrados entre el 1 de agosto de 2009 al 31 de julio de 2010. (Interagua C.LTDA., 2017). La Ilustración 30 muestra los datos de ingreso para aplicar la fórmula sinusoidal de marea de diseño durante las 12 horas de precipitación, para el posterior ingreso de los resultados al modelo matemático, determinándose la gráfica de marea en función de los datos obtenidos como se muestra en la Ilustración 31.

Pleamar = 2.36 m  
Bajamar = -0.98 m  
Amplitud = 3.76 m  
Tregistro = 24.84 hrs

Ilustración 30. Datos de ingreso para el cálculo de marea (Bernal, 2022)

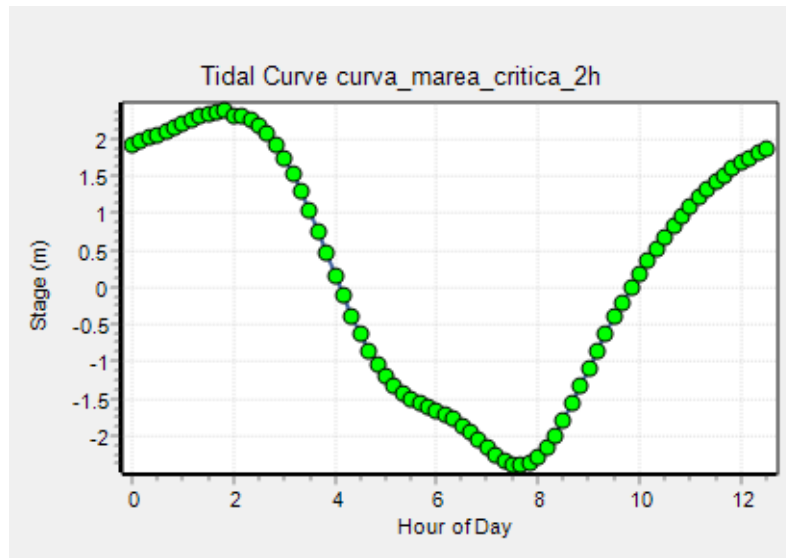


Ilustración 31. Precipitación para período de retorno 10años (Bernal, 2022)

### 5.2.5. Pérdidas Económicas

El propósito central del factor de impacto económico fue demostrar las afectaciones que deja las inundaciones en el sector de Urdesa Norte. A partir de estas, se realiza un análisis comparativo con los beneficios que trae el diseño de infraestructura verde. Entre los daños considerados están los ocurridos en lotes residenciales, institucionales, y comerciales. Se presenta con frecuencia el daño físico, requiriendo invertir en reparaciones, limpieza o sustituciones completas, como, por ejemplo, los sistemas de techado y drenaje doméstico. En contraste, un ejemplo de daño no físico es la demora que genera un evento pluvial en las actividades de una comunidad, tanto en



los negocios como en los servicios públicos, por ejemplo, el área la salud. Por medio del análisis económico se puede determinar la factibilidad de una obra de infraestructura verde, con instituciones públicas interesadas en implementarlas, que cuentan con disponibilidad de inversión. Para determinar una categorización de los daños en la comunidad, se realizó la siguiente clasificación:

- Daños a residencias, afecciones de salud o habitabilidad de sus propietarios, su costo de reparación.
- Daño a negocios y empresas, los egresos que genera las reparaciones, la reducción de calidad de atención o interrupción de actividades, y la disminución de capacidad de empleo.

Los datos se basan en testimonios de los moradores del sector acerca de los daños a las viviendas o locales comerciales, daños que están cuantificados en dólares estadounidenses. Los egresos económicos de los hogares se generan por las siguientes actividades:

- Costos de trabajos prevención en temporadas secas.
- Egreso promedio por daños materiales (motores de automóviles, electrodomésticos, muebles varios) por cada hogar encuestado.
- Capacidad familiar de inversión en salud.
- Costos de reparaciones y limpieza.

Para los datos de egresos basados en el tiempo se tomó en cuenta los siguientes factores:

- Tiempo promedio de retraso en viajes de actividades varias (trabajo, escuela, centros comerciales, restaurantes, etc.)
- Tiempo promedio sin servicio de energía eléctrica.

- Tiempo promedio sin servicio de telefonía e internet.
- Tiempo promedio en trabajos de limpieza después de un evento pluvial.

Para calcular los egresos a nivel comercial y/o empresarial, se realizaron encuestas tomando en cuenta los siguientes factores:

- Costos de reparaciones de daños del inmueble.
- Costo promedio de labores de limpieza.
- Pérdidas por evento pluvial para el negocio/empresa.

Se ha categorizado 3 tipos de retrasos distintos dentro del área comercial y son los siguientes:

- Tiempo promedio de espera para restitución del servicio de energía eléctrica.
- Tiempo promedio de retrasos operacionales.
- Tiempo promedio de atrasos de entregas, o demora de arribo de trabajadores.

#### 5.2.6. Simulación del evento pluvial

Las actividades para la simulación de los eventos pluviales del sector y el prediseño de infraestructura verde fueron realizadas en el siguiente orden:

- Se realizó un modelo matemático del sistema de drenaje actual y se simuló su probable comportamiento durante un evento pluvial con un período de retorno de 10 años, junto a efecto de marea alta.
- Se realizó una propuesta de diseño convencional, donde se ejecutaron modificaciones en los diámetros de los colectores.
- Se ejecutó una propuesta de diseño sensible al agua, donde se establecieron sus capas y demás parámetros requeridos, según el tipo de solución.

- Se añadió al modelo creado previamente la solución sensible al agua, denominada en el software como LID (desarrollo de bajo impacto) y se corrió nuevamente los cálculos bajo el mismo evento pluvial y comportamiento de marea.
- Se compararon los escenarios con LID y sin LID, y se contrastó numéricamente las diferencias respecto a parámetros hidráulicos.

Se corrió el modelo matemático con la red de alcantarillado actual del sector, con la categorización de subcuencas, nodos y tuberías con los siguientes parámetros de análisis:

- Volumen en los nodos durante el tiempo crítico de precipitación.
- Caudal en las tuberías del colector DM39 durante el tiempo crítico de precipitación.

Se efectuaron tres simulaciones del programa: la primera con el sistema de drenaje actual; la segunda corrida, consistió en aplicar una solución convencional para mitigar las inundaciones, que consistió en el aumento del diámetro de tuberías; y en la tercera simulación planteó el diseño de cada subcuenca con asignaciones de porcentajes de aportación de infraestructura verde, y posteriormente se realizó una comparación de ambas soluciones. Se determinaron los modelos matemáticos con datos de precipitaciones característicos de la ciudad

Para probar la eficiencia de las soluciones propuestas se empleó el software US EPA SWMM, en su versión 5,2, que según Rossman (2015) define el software de la siguiente manera:

El stormwater management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (SWMM) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. El módulo de escorrentía o hidrológico de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de

lluvia y se genera escorrentía. El módulo de transporte o hidráulico de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. Asimismo, SWMM es capaz de seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la calidad del agua en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

El software posee la capacidad de crear infraestructura verde, a través de controladores de desarrollo de bajo impacto, conocido por sus siglas en inglés LID (Low Impact Development Control), el cual permite simular soluciones amigables al medio ambiente. Se realizó una simulación dentro del software SWMM 5,2, para el sector de Urdesa Norte, con datos topográficos y de obra actual de recepción de agua lluvia. Rossman (2015) define a los controladores LID de la siguiente manera:

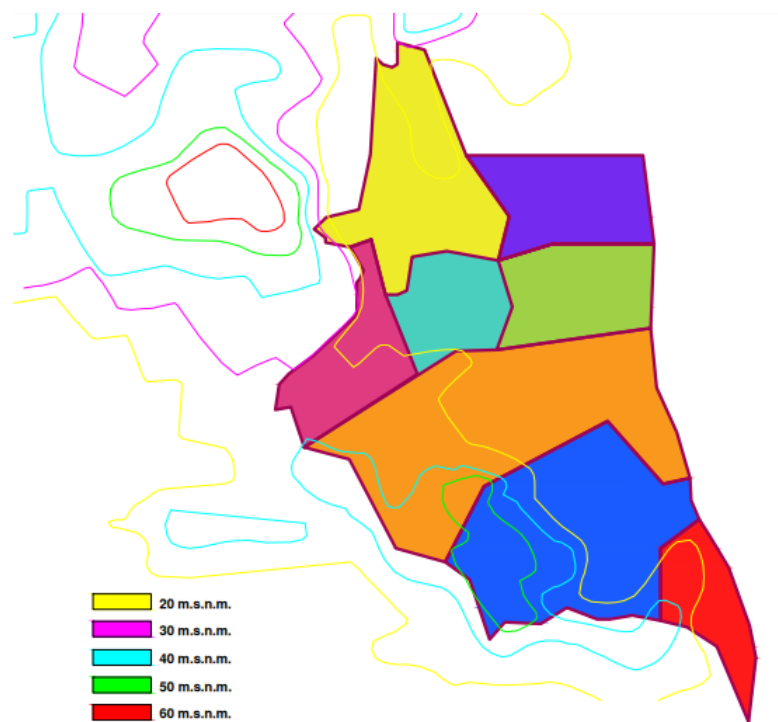
El editor LID tiene la capacidad de caracterización de un sistema de desarrollo de bajo impacto. Al modelarlo se busca obtener en una subcuenca una mayor capacidad de almacenamiento, infiltración y evaporación para mitigar los efectos de una gran escorrentía superficial. Tiene valores unitarios, para así poder ser asignado a todas las subcuencas según la demanda o exigencia del diseño.

## 6. CAPÍTULO VI: RESULTADOS

### 6.1. Diagnóstico

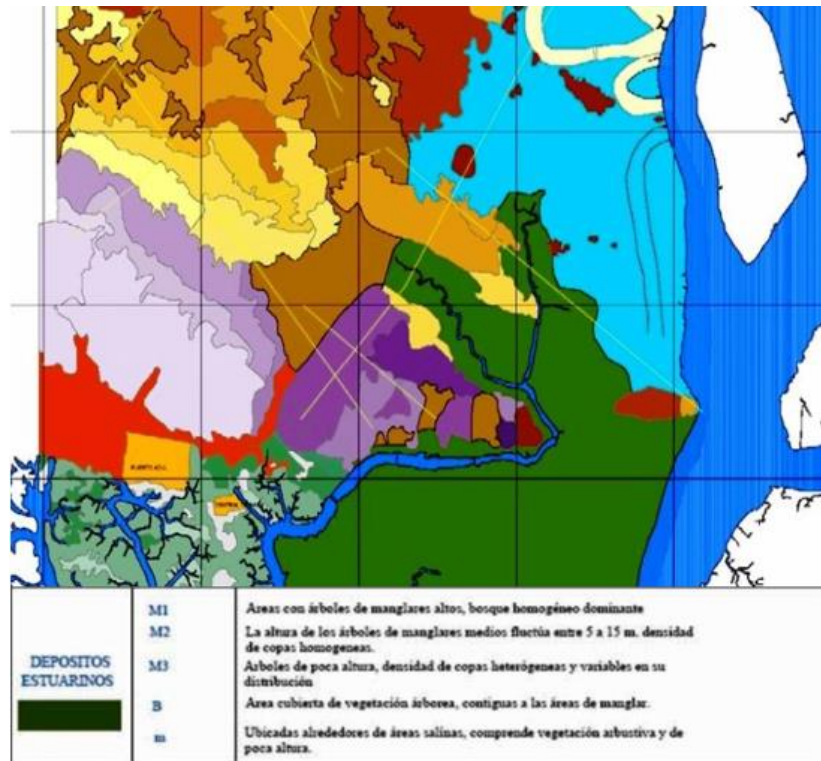
#### 6.1.1. Descripción Topográfica

La zona de Urdesa Norte colinda con los cerros que conforman la urbanización Lomas de Urdesa, con altas pendientes, donde el mayor nivel de terreno registrado cerca de la zona de estudio es de 60 metros sobre el nivel del mar. Por lo tanto, existe escurrimiento de agua superficial hacia aguas abajo, donde se acumula cuando el sistema se satura. Con las curvas de nivel que se observan en la Ilustración 32, se puede determinar las pendientes en la zona de estudio y analizar el escurrimiento superficial.



*Ilustración 32. Curvas de nivel de la zona de estudio. (Bernal, 2022)*

## Tipo de suelo



*Ilustración 33. Mapa geomorfológico de la ciudad de Guayaquil y la descripción de la zona de depósitos estuarinos. Obtenido de (GEOESTUDIOS S.A., 2011)*

El Estero Salado es un sistema de sedimentación activo conformado por aguas salobres de poca profundidad con fondo arcillo-limoso. Realizándose perforaciones geotécnicas se ha determinado espesores de sedimentos de 50 a 60 metros antes de alcanzar estratos rocosos. Los sedimentos encontrados son arcillolitas y areniscas tobáceas. En las subcapas cercanas a la superficie se encuentra material coluvial rojizo con chert provenientes de la cordillera Chongón Colonche. Estos suelos se clasifican como arcillas limosas gris verdosas con capas de arena limosa y con presencia tenue de bancos de arena con restos de conchas. (GEOESTUDIOS S.A., 2011)

## Clima

La región costa del Ecuador registra dos períodos climáticos definidos que influyen directamente en los niveles de precipitación y se encuentran en función de factores

meteorológicos como la Zona de Convergencia Intertropical, que es un cinturón activo de baja presión que destaca su presencia en temporada húmeda, el Alta Semipermanente del Pacífico Sur, condicionando el clima en la zona tropical y el Alta de Bolivia que adhiere masa de aire con carga de humedad en la región amazónica y por factores geográficos como la Cordillera de los Andes, que genera desplazamiento de masa de aire local o regional, factores oceanográficos como la corriente fría de Humboldt y la corriente cálida del Niño además de factores astronómicos como la incidencia de la radiación solar. (Reyes Alava, 2019)

Por la variación del nivel de incidencia de los fenómenos naturales, en los últimos 4 años, contando desde la fecha del presente trabajo, se ha registrado acumulados de precipitación variables en las estaciones de la red costera INOCAR, con un incremento de temperatura máxima de aproximadamente +0,33 grados Celsius por década. En la estación Guayaquil se encuentra 8 meses con acumulación por debajo del valor promedio, y 3 meses que sobrepasan el promedio, con un mes sin registro de lluvias; siendo febrero el mes con mayor precipitación, según se observa en la Ilustración 34. (Reyes Alava, 2019)

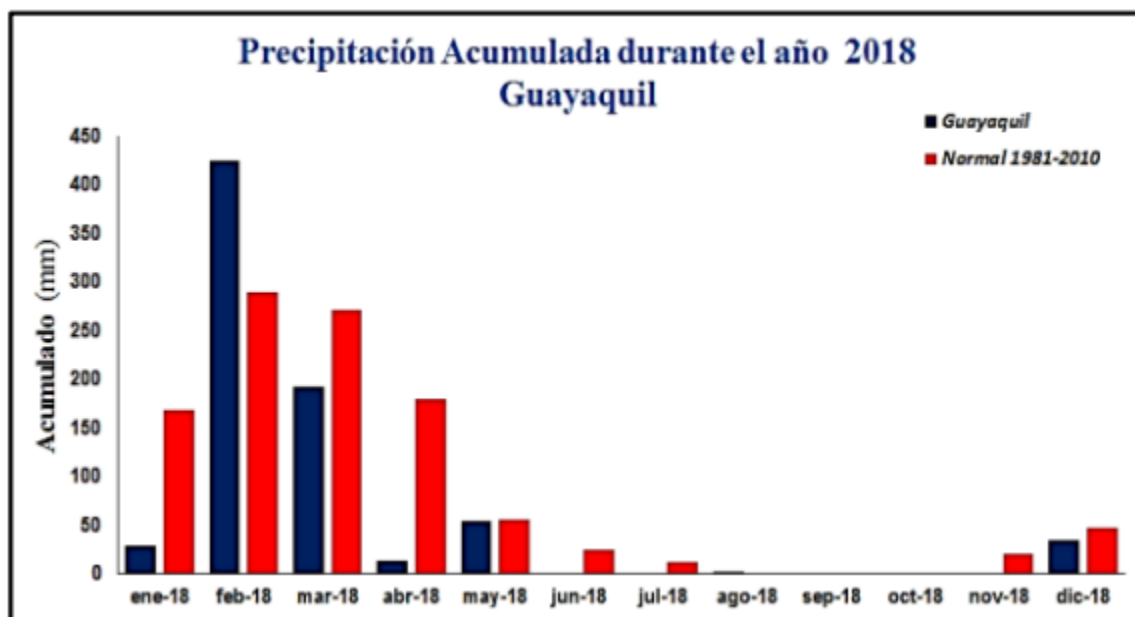


Ilustración 34. Precipitación del año 2018 de la estación costera INOCAR Guayaquil. Obtenido de (Reyes Alava, 2019)

### 6.1.2. Medio Urbano

Las subcuencas ocupan una determinada área de influencia que ocupa zonas permeables como patios, parques; y las zonas impermeables, como las calles, avenidas, residencias, locales comerciales. En la tabla 6 se especifica cada subcuenca con la información de utilidad para su incorporación en el modelo matemático.

Tabla 5. Subcuencas de drenaje de la ciudadela Urdesa Norte (Bernal, 2022)

Nombre No.	Coord. x WGS84 17 S	Coord. Y WGS84 17 S	Área ha	Área m <sup>2</sup>	Ancho m	%Pendiente %	n-Manning Impermeable -	n-Manning Permeable -
A-KF-4	497.455,415	2'003.010,86	2,57	25.700	195	0,5	0,01	0,1
A-KF-3	497.213,761	2'003.087,67	10,78	107.800	305	0,5	0,01	0,1
A-KF-2	497.076,358	2'003.323,79	12,25	122.500	200	0,5	0,01	0,1
CC.540	496.795,417	2'003.484,51	3,58	35.800	129,2	1,44	0,01	0,1
CC.539	496.977,765	2'003.534,67	3,65	36.500	157,3	1,72	0,01	0,1
CC.538	497.216,044	2'003.567,06	4,19	41.900	152,4	1,45	0,01	0,1
CC.497	497.203,413	2'003.710,41	4,65	46.500	135,2	1,16	0,01	0,1
CC.496	496.894,174	2'003.766,61	7,2	72.000	194,6	1,08	0,01	0,1

Tabla 6. Áreas permeable e impermeable con su porcentaje de ocupación (Bernal, 2022)

Nombre No.	Área permeable m <sup>2</sup>	Área permeable %	Área impermeable m <sup>2</sup>	Área impermeable %
A-KF-4	13.936,523	54,23	11.763	45,77
A-KF-3	31.694,758	29,4	76.105	70,6
A-KF-2	32.722,443	26,71	89.778	73,29
CC.540	13.836,616	38,65	21.963	61,35
CC.539	8.329,6085	22,82	28.170	77,18
CC.538	13.808,803	32,96	28.091	67,04
CC.497	9.341,038	20,09	37.159	79,91
CC.496	23.239,137	32,28	48.761	67,72
Σ Total	146.909		341.791	

Se detalla el área verde actual dentro de cada subcuenca, así como el flujo de agua que drena en cada una, tal como se aprecia en la Ilustración 35. Fueron consideradas todas las zonas



permeables disponibles, incluyendo el espacio público y privado, para tener un alto grado de fiabilidad con respecto a las capacidad de infiltración y se determinó un porcentaje de área de permeabilización del 10% respecto a la sumatoria de áreas de todas las subcuencas.



*Ilustración 35. Zonas permeables y línea de flujo de agua de la ciudadela Urdesa Norte. (Bernal, 2022)*

### 6.1.3. Análisis Hidrológico - Hidráulico

En la Ilustración 36 se aprecian los nudos S22 S2257, S2256, S2255, S2398, S2397, S944, S943 y S957, que corresponden a la calle Fernando Artieda, en el orden desde aguas arriba hacia la descarga; y en las Ilustraciones 38 a 45 los hidrogramas de volumen correspondiente a cada nudo. El volumen de inundación en todos los nodos sobrepasa los 200 metros cúbicos a las 2 horas con 10 minutos de haber iniciado el evento pluvial; y el máximo volumen y caudal es de 1.234,08 metros cúbicos y 0,79 metros cúbicos sobre segundos respectivamente, según se aprecia en las ilustraciones 46 y 47.

La Ilustración 46 muestra que existen valores críticos para los nodos en la zona aguas arriba, donde se produce acumulación de agua superficial consecuencia de la saturación del sistema. En la Ilustración 47 se indica que ocurren caudales críticos para las tuberías cercanas al punto de descarga en el estero. En la sección de anexos se señalan los resultados de la corrida del programa, en donde se detallan los valores críticos para todos los nodos del sector Urdesa Norte.

En las Ilustraciones 38 a 45, una vez que se ha ejecutado el modelo SWMM, se muestran los hidrogramas de volumen de los nudos S2257, S2256, S2255, S2398, S2397, S944, S943 y S957, que corresponden a la calle Fernando Artieda, en el orden desde aguas arriba hacia la descarga, tal como se observa en la Ilustración 37.



Ilustración 36. Ubicación de los nodos dentro de la calle Fernando Artieda a través de vista satelital de Google Maps. (Bernal,2022)

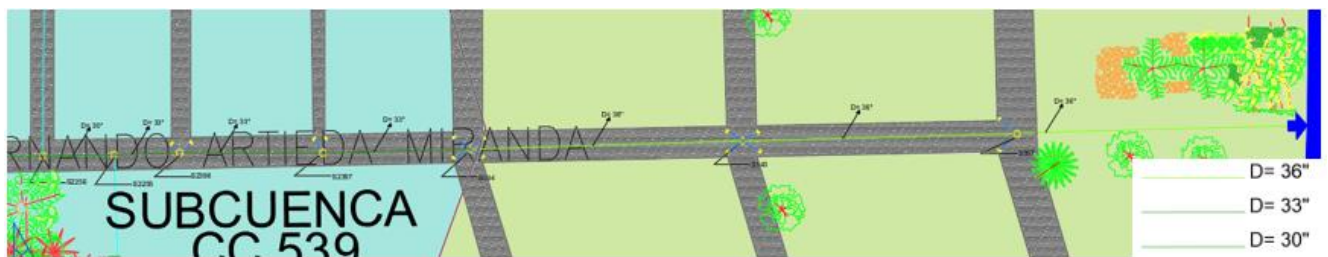


Ilustración 37. Línea de tuberías del colector DM39 ubicado en la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022)



Ilustración 38. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2257, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 39. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2256, del escenario actual. (Bernal, 2022)

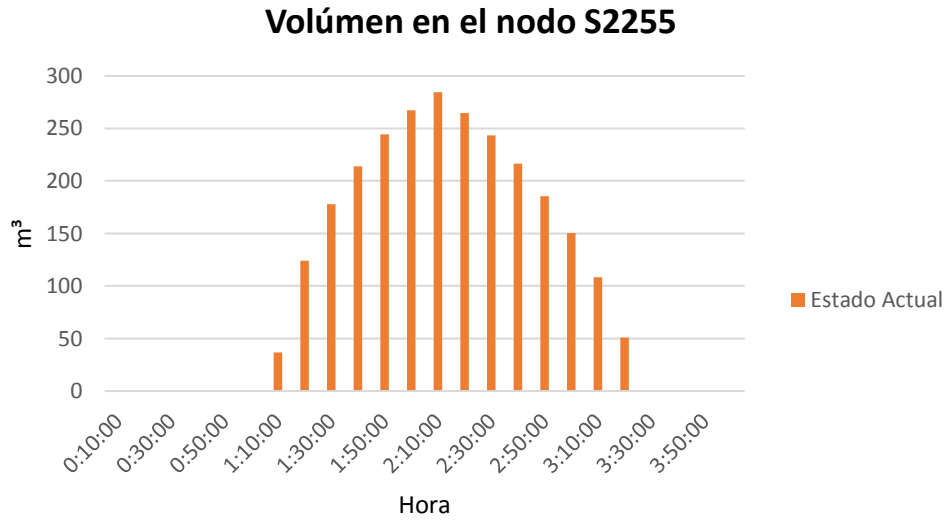


Ilustración 40. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2255, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 41. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2398, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 42. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2397, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 43. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S944, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 44. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S943, del escenario actual. (Bernal, 2022)

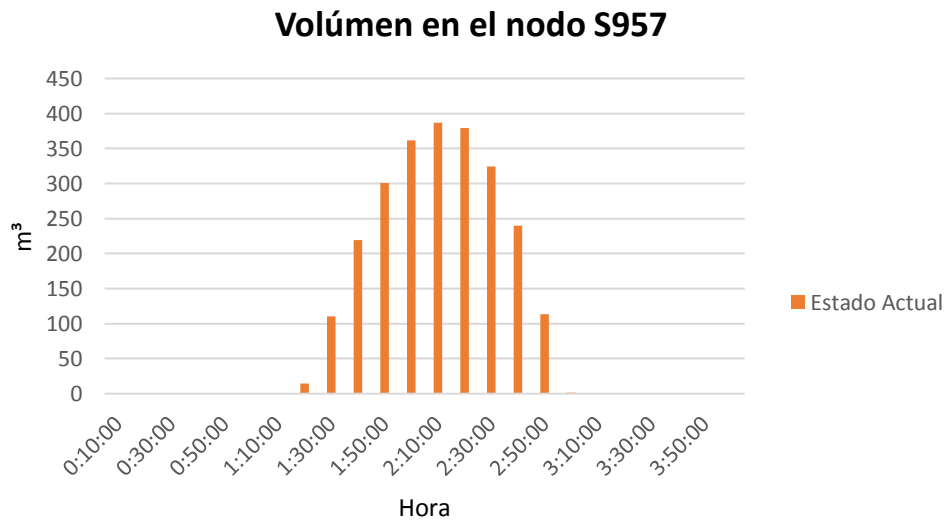


Ilustración 45. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S957, del escenario actual. (Bernal, 2022)

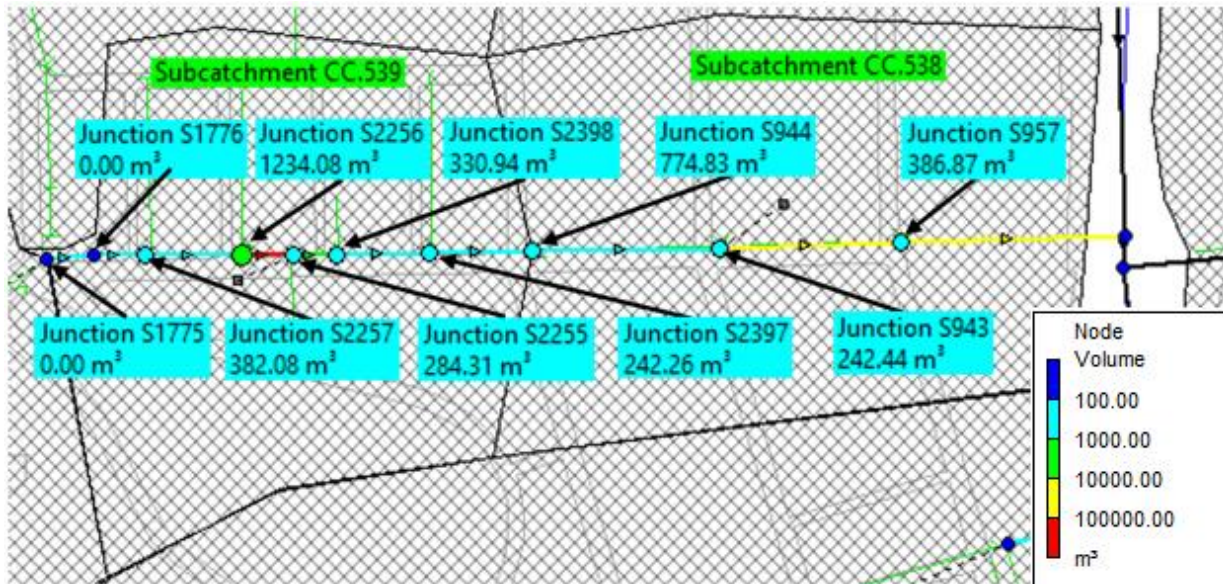


Ilustración 46. Volumen de agua en nodos pertenecientes a la calle Fernando Artieda, del escenario actual, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022)

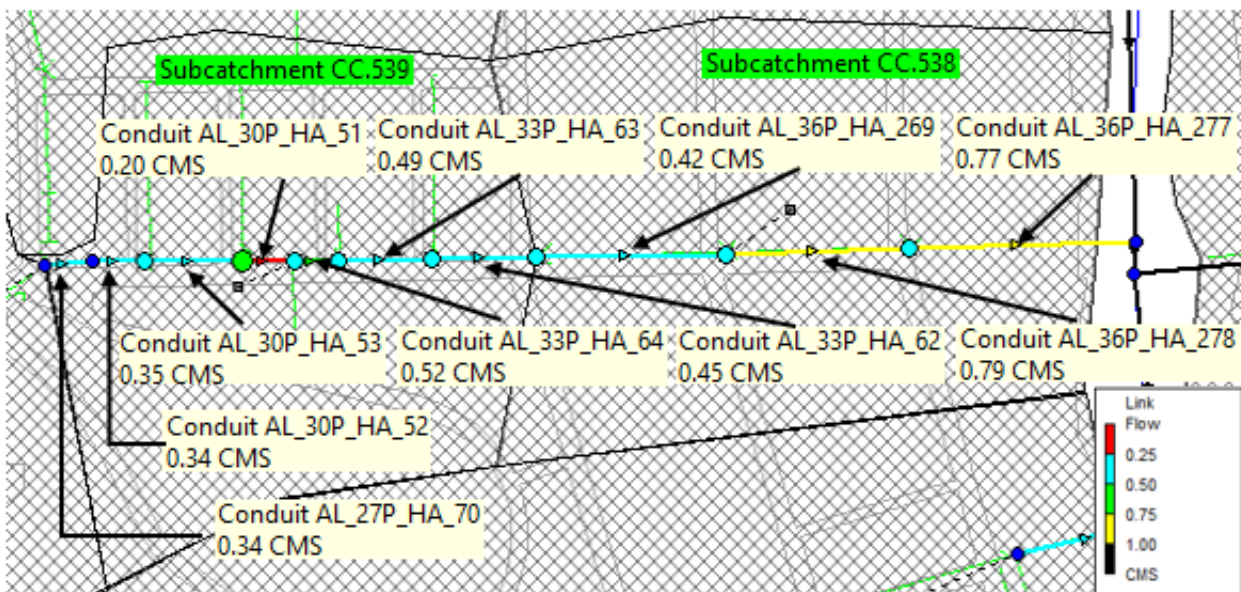


Ilustración 47. Mapa de caudal en tuberías pertenecientes a la calle Fernando Artieda, del escenario actual, durante el tiempo crítico de precipitación (Bernal, 2022).

Se observa en las Ilustraciones 48 a 55 los desbordes de agua a través de los hidrogramas de inundación, y se puede apreciar que el mayor nivel se alcanza a partir de 1 hora con 10 minutos empezado el evento pluvial; lo que indica que se producen las inundaciones una hora

antes de haber registrado el mayor volumen. El mayor nivel de inundación se concentra en la zona del nodo S2256 a la 1 hora con 30 minutos, alcanzando un valor de 0.62 metros cúbicos sobre segundos.



Ilustración 48. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2257, del escenario actual. (Bernal, 2022)





Ilustración 49. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2256, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 50. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2255, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 51. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2398, del escenario actual. (Bernal, 2022)

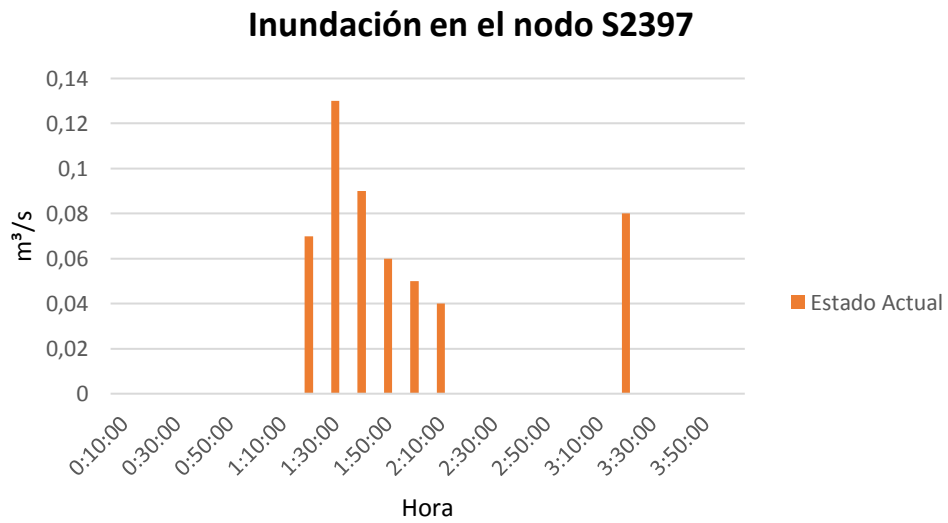


Ilustración 52. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2397, del escenario actual. (Bernal, 2022)



Ilustración 53. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S944, del escenario actual. (Bernal, 2022)

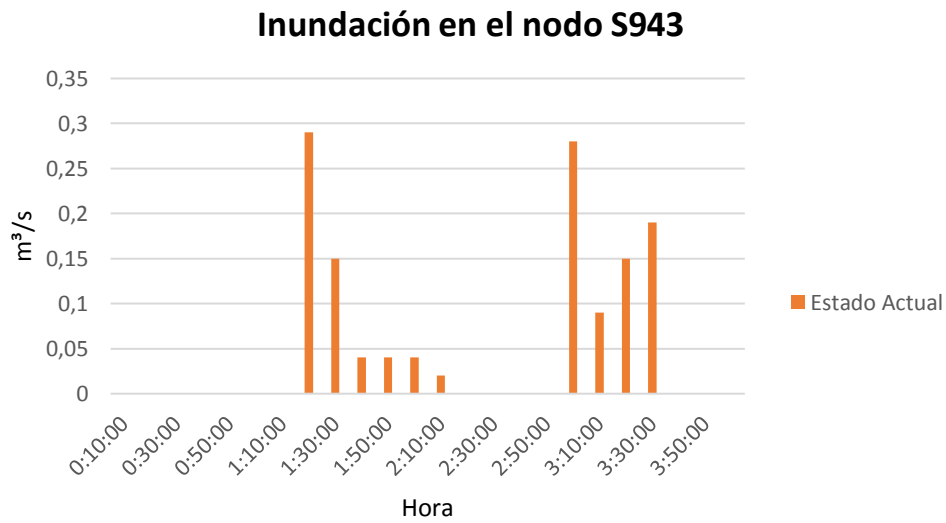


Ilustración 54. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S943, del escenario actual. (Bernal, 2022)

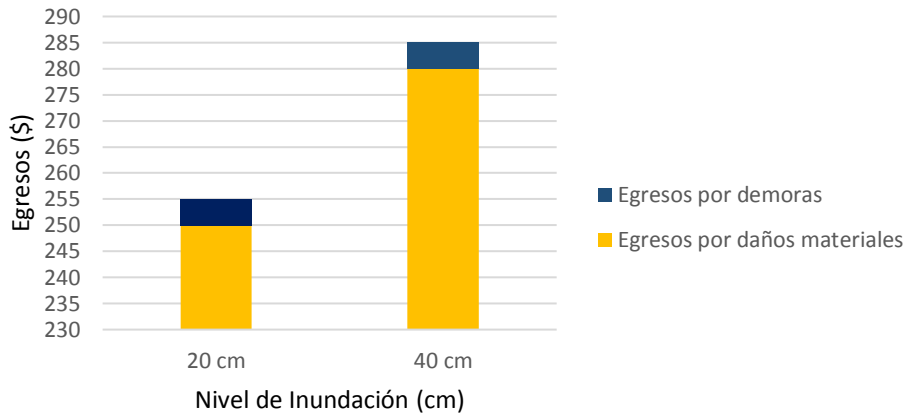


Ilustración 55. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S957, del escenario actual. (Bernal, 2022)

#### 6.1.4. Pérdidas económicas del sector afectado

Se desarrollaron curvas de daños para el sector de Urdesa Norte para 2 situaciones críticas, considerando tirantes promedio de 20 y de 40 centímetros. La cota inferior de la vivienda se encuentra por encima del nivel del bordillo. Para un nivel de inundación de 20 centímetros, se producen daños por vivienda evaluados en 250 dólares americanos. Cuando la cota es de 40 centímetros, incrementa a 280 dólares americanos. Se concluye que existe un retraso promedio de 1 hora y 30 minutos respecto al tiempo de traslado habitual. La falta de energía eléctrica, telefonía e internet, durante o después de un evento pluvial, se extiende por 1 hora y 10 minutos como promedio. Estos daños se monetizan y se combinan con los daños materiales presentados anteriormente, y se obtiene un aumento de egresos de 5 dólares norteamericanos.

### Pérdidas económicas totales de una vivienda debido a inundaciones



*Ilustración 56. Pérdidas económicas totales de una vivienda debido a inundaciones para distintos valores de inundación. (Bernal, 2022)*

Se puede notar en la ilustración 57 que el tiempo de tardanzas es directamente proporcional al aumento del nivel de inundación. Los retrasos operacionales llegan a ser en promedio de 5 horas para un nivel de inundación de 40 centímetros. Estos daños se monetizan, y se obtiene un egreso promedio de 60 dólares americanos. Para un nivel de inundación de 20 centímetros, las pérdidas promedio son de 40 dólares americanos.

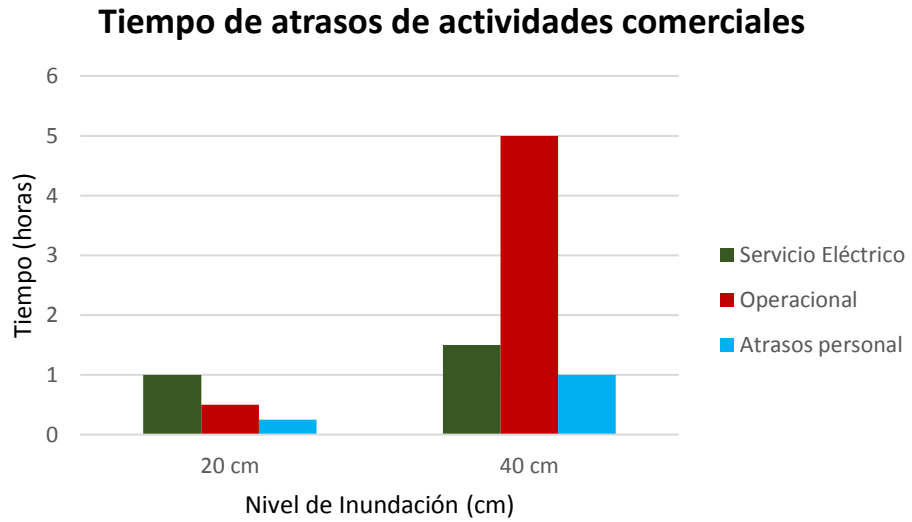


Ilustración 57. Tiempo de atrasos de actividades comerciales para distintos niveles de inundación. (Bernal,2022)

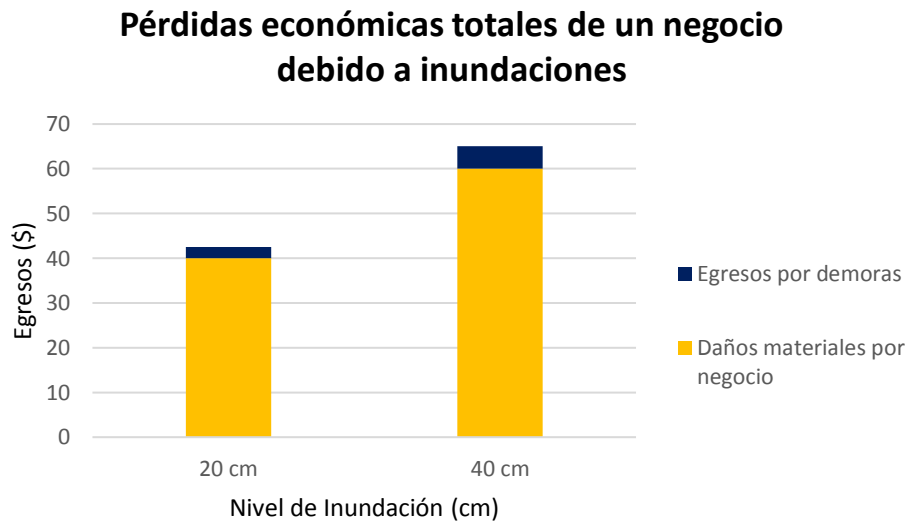


Ilustración 58. Pérdidas económicas totales de un negocio debido a inundaciones para distintos niveles de inundación. (Bernal,2022)

## 6.2. Alternativas de solución

### 6.2.1. Alternativa 1. Diseño de Infraestructura Verde

En el siguiente subcapítulo se busca determinar una solución al problema a las inundaciones y, que al analizar su impacto cuantitativamente, genere beneficios económicos, ambientales y sociales dentro de la comunidad del sector de Urdesa Norte, Guayaquil. Debido al cambio climático, se requiere un área urbana que considere una mejor distribución del espacio público, que genere un efecto resiliente y de desarrollo social para sus habitantes. En la actualidad, aplicación de soluciones LID (Desarrollo de bajo impacto) se encuentra como una tendencia va aumentando año a año. (Rossman & Huber, 2016) y está ligada a la implementación de infraestructura verde, que se presenta como una alternativa de solución ideal, ya que, aparte de solucionar las inundaciones, impulsa al dinamismo económico del sector e incentiva el uso peatonal de la calle, generando beneficios en el área ambiental y de la salud.

Las soluciones con infraestructura verde se realizarán de acuerdo con el espacio disponible para ser implementadas. Como se puede apreciar en la Ilustración 59, el sector de la ciudadela a gestionarse tiene poco espacio de veredas. La calle Fernando Artieda es amplia al ser un punto de conexión entre la ciudadela Lomas de Urdesa. Los moradores indicaron que las viviendas tienen como mínimo un pequeño patio de entrada a sus domicilios con sembríos ornamentales en las afueras de cada vivienda, sembradas en maceteros de mediano tamaño, que logran retener volumen de agua durante un evento pluvial y que evitan que dicho caudal se escurra hacia el sistema de drenaje por los sumideros.



*Ilustración 59. Vista tipo Street View a través de Google Earth de la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022)*

En la Ilustración 59 se puede apreciar que las casas cuentan con un patio/garaje en la parte delantera como un posible espacio de área verde a diseñarse. El parque de la ciudadela también puede ser usado como un espacio importante de aprovechamiento de drenaje de agua lluvia. Se propone que estas áreas funcionen como jardines de lluvia, dándole capacidad de infiltración y almacenamiento de agua durante un evento pluvial.

La calle tiene dos carriles en un solo sentido con dirección hacia el estero, que sigue la ruta de la tubería de drenaje de 36” de hormigón que se encuentra debajo de ella. Se propone el adoquinado de toda la calle y el paso peatonal, con un área para una celda de bioretención en cada vereda; que en la parte inferior cuente con una tubería perforada para recolección de agua y una capa que permita el almacenamiento temporal hasta que el evento pluvial acabe y termine de drenar todo el caudal que se encuentra en las capas. En la Ilustración 60 se aprecia la sección transversal de la propuesta de diseño para la calle Fernando Artieda. En la Ilustración 61 y 62 se



detalla gráficamente las secciones transversales de diseño junto con sus materiales y espesores y en las Ilustraciones 63 y 64 se observan las vistas frontales de la calle Fernando Artieda y la y las subcuencas de diseño con la implementación de infraestructura verde propuesta, donde se aprecia el aumento de área verde en la ciudadela.

En la tabla 8 se detallan las áreas de infraestructura verde que ocupa dentro de cada subcuenca, con el fin de modelarlo con el software. La tabla 9 muestra los parámetros de las soluciones de infraestructura verde tales como las celdas de bioretención, los jardines de lluvia y el adoquín como pavimento permeable.

*Tabla 7. Valores de área de cada subcuenca y de sus soluciones con infraestructura verde. (Bernal, 2022)*

Nombre No.	Subcuenca m <sup>2</sup>	Adoquín m <sup>2</sup>	Adoquín %	Área verde m <sup>2</sup>	Área verde %
A-KF-4	25.700	4.913,154	19,12	9.023,369	35,11
A-KF-3	107.800	14.162,182	13,14	17.532,576	16,26
A-KF-2	122.500	18.722	15,28	14.000,443	11,43
CC.540	35.800	8.297,399	23,18	5.539,217	15,47
CC.539	36.500	5.365,6	14,7	2.964,0085	8,12
CC.538	41.900	5.687,779	13,57	8.121,024	19,38
CC.497	46.500	6.411,693	13,79	2.929,345	6,3
CC.496	72.000	9.749,016	13,54	13.490,121	18,74
Σ Total	488.700	73.308,82		73.600,1	

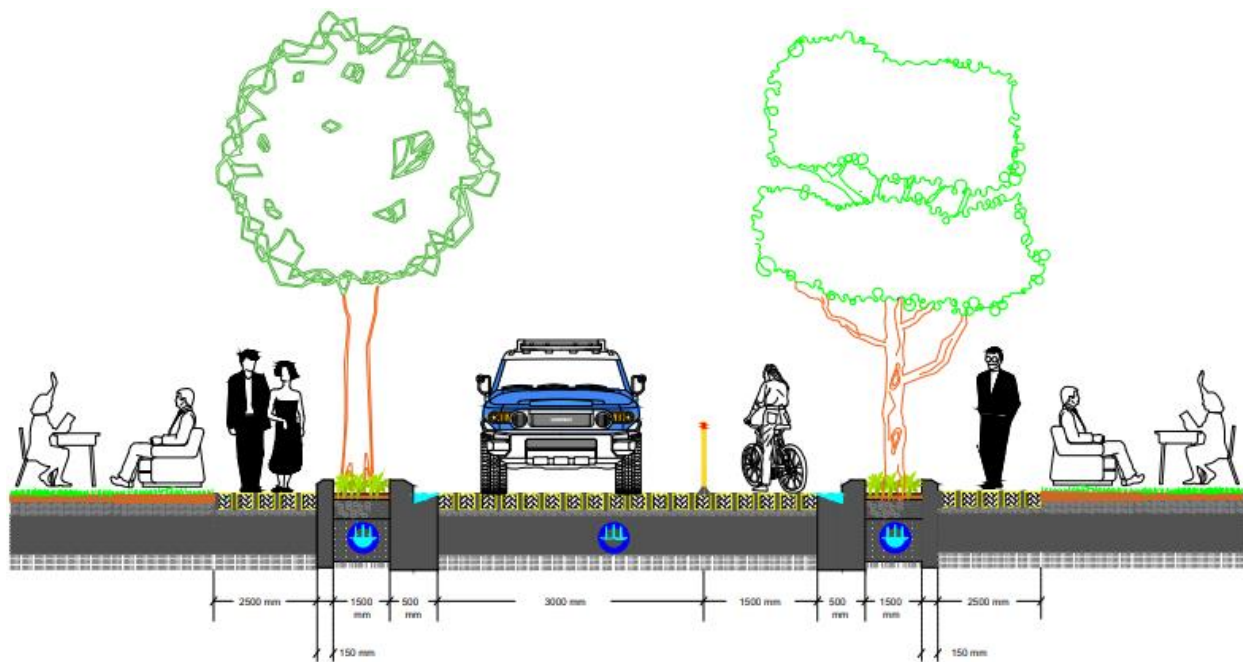


Ilustración 60. Sección transversal de la calle Fernando Artieda con la solución de Infraestructura verde. (Bernal, 2022)

Tabla 8. Datos de ingreso de infraestructura verdes aplicadas al proyecto. (Bernal, 2022)

Celda de bioretención	Jardín de lluvia	Pavimento Permeable
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Área total: 588,66 m<sup>2</sup></li> <li>•Superficie relación volumen de cobertura vegetal vs volumen total: 0,8</li> <li>Rugosidad de superficie: 0 %</li> <li>Pendiente superficial: 0 %</li> <li>•Espesor capa suelo: 600 mm</li> <li>500 mm de mezcla de arcilla con grava</li> <li>100 mm de grava</li> <li>•Espesor de almacenamiento: 350 mm</li> <li>Tipo de suelo: Grava</li> <li>Relación de vacíos: 0,75</li> <li>Tasa de infiltración: 0,5 mm/hora</li> <li>Factor de obstrucciones: 0</li> <li>Relación del volumen de vacíos vs volumen total: 0,4</li> <li>Relación volumen de agua almacenada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Área total: 73011,44 m<sup>2</sup></li> <li>•Superficie relación volumen de cobertura vegetal vs volumen total: 0,8</li> <li>Rugosidad de superficie: 0 %</li> <li>Pendiente superficial: 0 %</li> <li>•Espesor capa suelo: 600 mm</li> <li>500 mm de mezcla de arcilla con grava</li> <li>100 mm de grava</li> <li>Relación del volumen de vacíos vs volumen total: 0,4</li> <li>Relación volumen de agua almacenada vs volumen total: 0,2</li> <li>•Coeficiente de flujo: 2,93</li> <li>Exponente de flujo: 0,5</li> <li>Altura de compensación: 0 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Área total: 73308,82 m<sup>2</sup></li> <li>•Superficie relación volumen de cobertura vegetal vs volumen total: 0,8</li> <li>Rugosidad de superficie: 0 %</li> <li>Pendiente superficial: 0 %</li> <li>•Adoquines</li> <li>Espesor de los adoquines: 100 mm</li> <li>Relación de vacíos: 0,14</li> <li>Fracción de superficie impermeable: 0</li> <li>Permeabilidad: 100 mm/hr</li> <li>Factor de obstrucción: 35%</li> <li>•Espesor de almacenamiento: 350 mm</li> <li>Cama granular: 50 mm</li> <li>Base granular: 150 mm</li> <li>Sub-base granular: 150 mm</li> <li>Relación de vacíos: 0,50</li> <li>Tasa de infiltración: 0,5 mm/hora</li> </ul>

<p>vs volumen total:0,3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficiente de flujo: 3,10</li> <li>Exponente de flujo: 0,5</li> <li>Altura de compensación: 0 mm</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaje subterráneo</li> <li>Diámetro interior de tubería de drenaje: 150 mm</li> </ul>	<p>Tasa de infiltración: 0,5 mm/hora</p>	<p>Factor de obstrucciones: 0</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficiente de flujo: 4,75</li> </ul> <p>Exponente de flujo: 0,5</p> <p>Altura de compensación: 0 mm</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaje subterráneo</li> </ul> <p>Diámetro interior de tubería de drenaje: 150 mm</p>
--	--	--

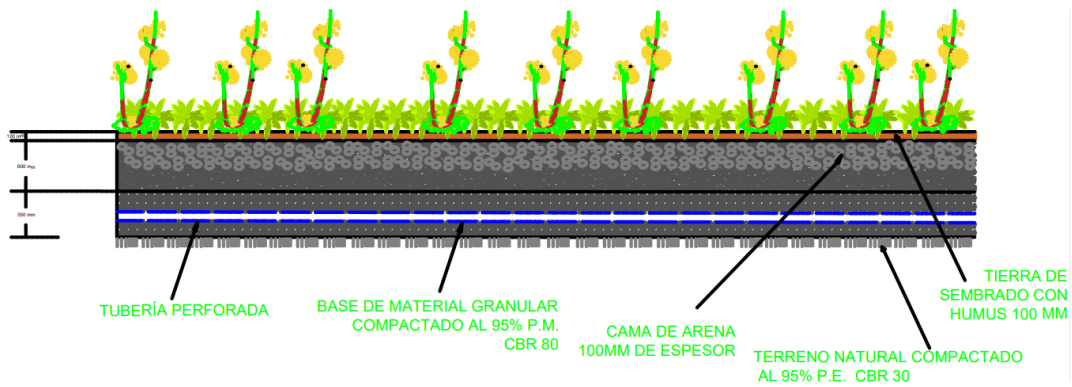


Ilustración 61. Sección transversal de celda de bioretención y jardín de lluvia. (Bernal, 2022)

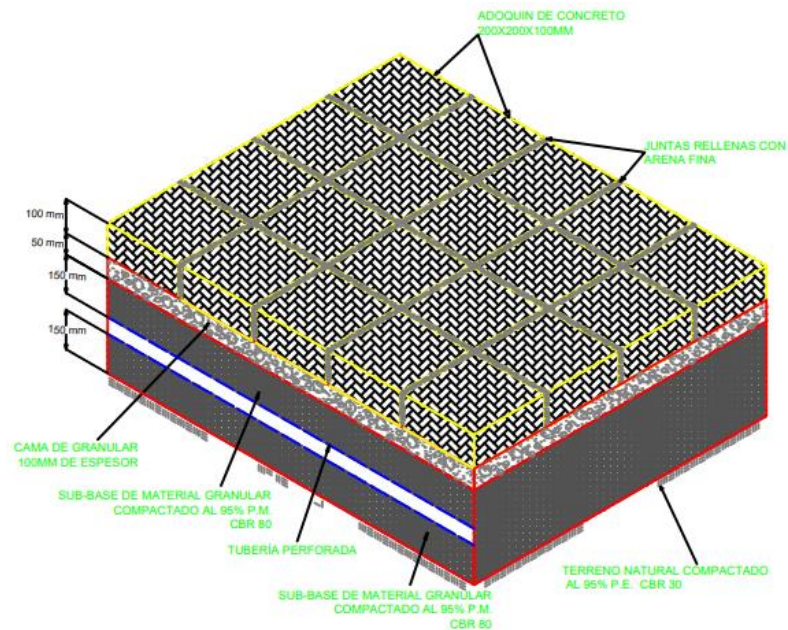


Ilustración 62. Sección Transversal del Adoquín Permeable. (Bernal, 2022)

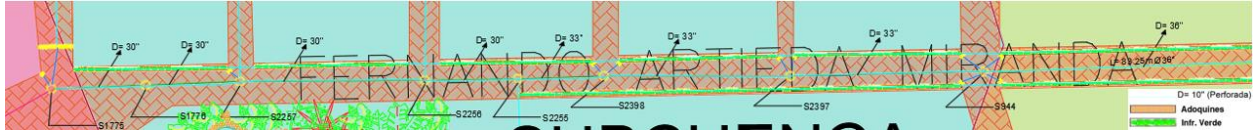


Ilustración 63. Vista frontal de la Calle Fernando Artieda con Infraestructura Verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 64. Mapa de la ciudadela Urdesa Norte con la solución de Infraestructura verde. (Bernal, 2022)

Las ilustraciones 65 y 66 indican por medio de la escala de colores una mejoría completa en el sistema, generando caudales de 0,7 y 0,71 metros cúbicos sobre segundo para los conductos cercanos al estero, y con volúmenes menores a aquellos registrados en el escenario base o situación actual. solucionando notablemente el conflicto de inundaciones generado en la zona de estudio por medio de soluciones de infraestructura verde, al reducirse en aproximadamente entre 20 y 40% los volúmenes de agua, de los caudales y de los desbordes, con variaciones según cada nodo y cada tubería, disminuyendo la escorrentía en la calle.

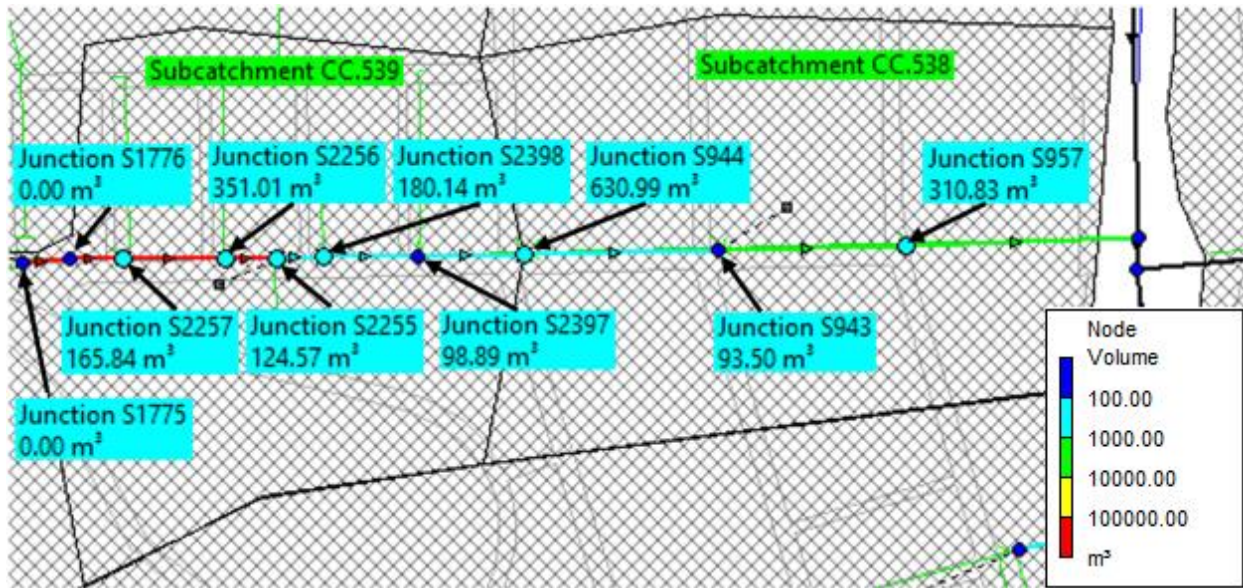


Ilustración 65. Volumen de agua en nodos pertenecientes a la calle Fernando Artieda, con infraestructura verde, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022)

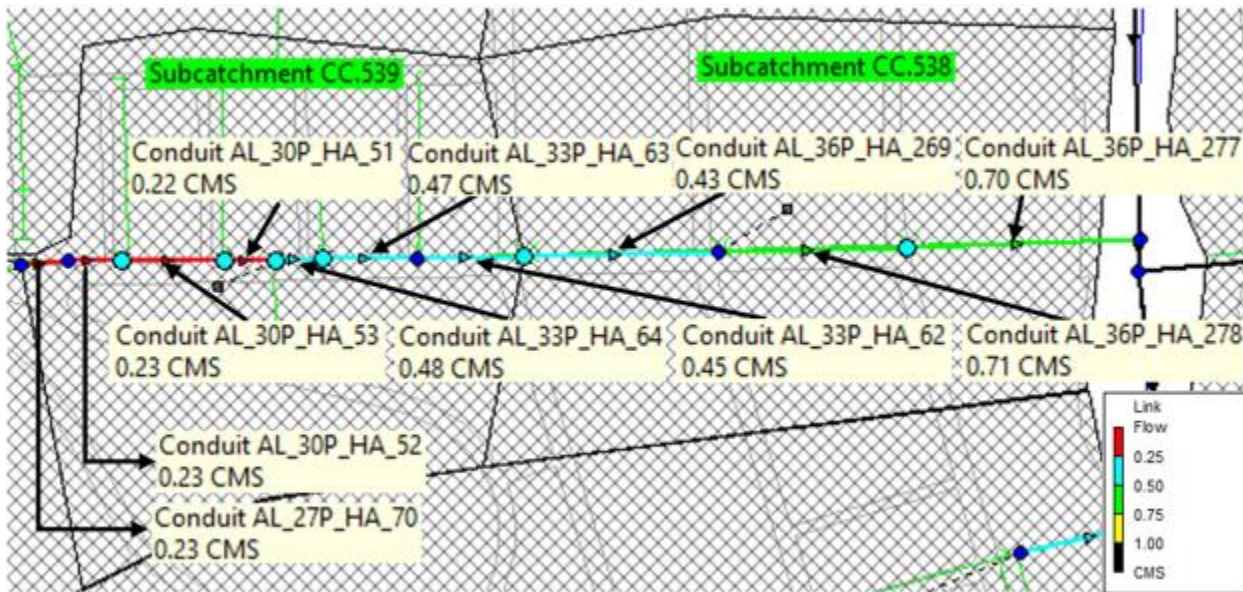


Ilustración 66. Caudal en colector DM39 perteneciente a la calle Fernando Artieda, con infraestructura verde, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022)



Ilustración 67. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2257, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 68. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2256, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 69. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2255, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)

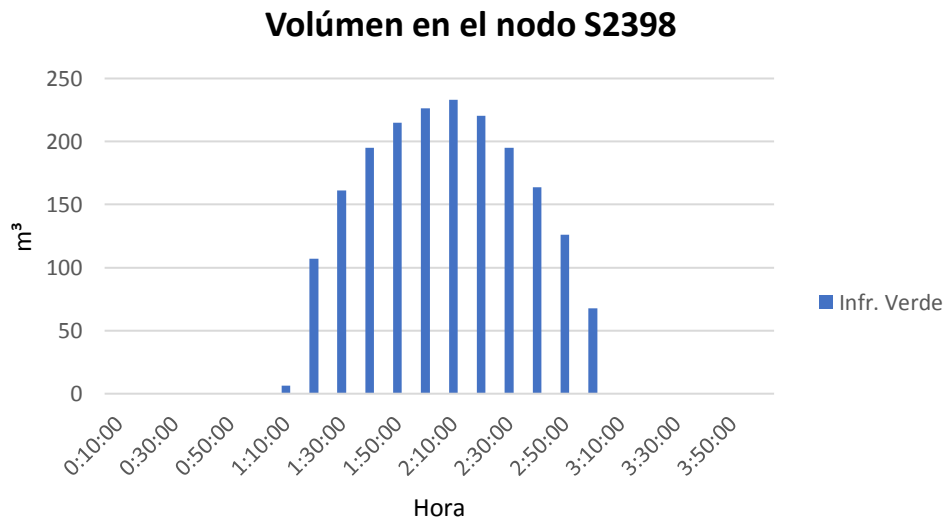


Ilustración 70. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2398, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 71. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2397, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 72. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S944, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)





Ilustración 73. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S943, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 74. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2257, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 75. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2256, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 76. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2255, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 77. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2255, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 78. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S2397, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)



Ilustración 79. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S944, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)

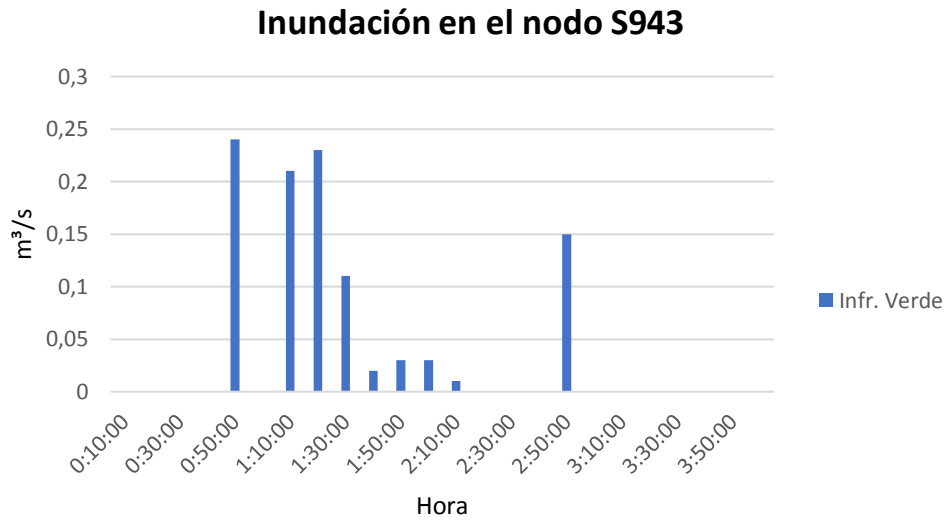


Ilustración 80. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S943, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)

### Inundación en el nodo S957

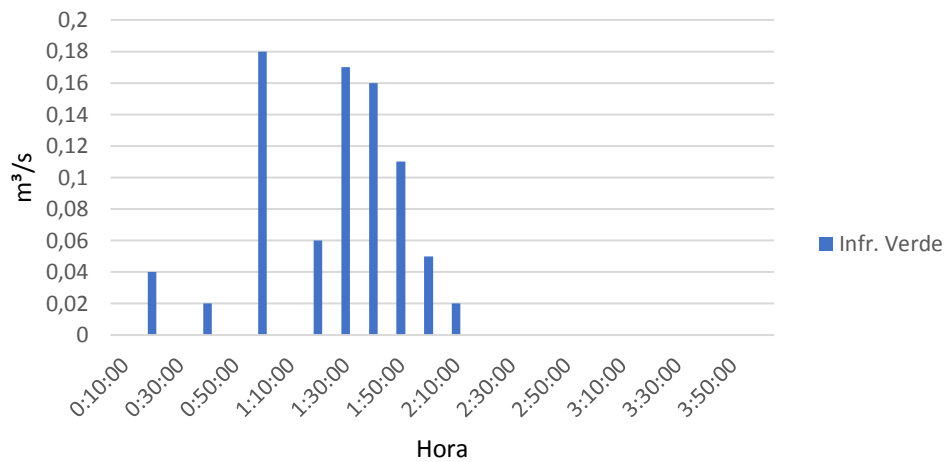


Ilustración 81. Gráfica inundación vs tiempo para el nodo S957, con infraestructura verde. (Bernal, 2022)

#### 6.2.1.1. Evaluación Económica de Infraestructura verde

A continuación, se detalla el presupuesto de la implementación de la alternativa de construcción de infraestructura verde, donde el costo de la intervención asciende a US\$ 2'807.153,05

Tabla 9. Costos de la solución celda de bioretención. (Bernal, 2022)

Actividades	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Obras previas				
Trabajos de limpieza	m <sup>2</sup>	588,66	1,06	623,98
Trazados y replanteos	m <sup>2</sup>	588,66	1,25	735,83
Movimiento de tierra				
Excavación con retroexcavadora	m <sup>3</sup>	547,45	5,13	2.808,42
Desalojo con volquetas	m <sup>3</sup>	350,37	10,14	3.552,75
Relleno de grava	m <sup>3</sup>	58,866	15,8	930,08
Relleno arcilla/grava	m <sup>3</sup>	294,33	20,41	6.007,28
Relleno de material para sembrar	m <sup>3</sup>	58,866	15,45	909,48
Hormigón				
Hormigón armado f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	8,45	150,93	1.275,36
Encofrado y desencofrado	m <sup>2</sup>	28,34	35,61	1.009,19
Instalación de tuberías	m/l	545	15,35	
Desalojo de pavimento anterior	m <sup>3</sup>	129,51	30,64	3.968,19
Instalación de geomembrana	m <sup>2</sup>	588,66	10,62	6.251,57
Limpieza final de obra	m <sup>2</sup>	588,66	1,56	918,31
				\$
			TOTAL	28.990,44

Tabla 10. Costos de la solución jardín de lluvia. (Bernal,2022)

Actividades	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Obras previas				
Trabajos de limpieza	m <sup>2</sup>	73.600,1	1,06	78.016,11
Trazados y replanteos	m <sup>2</sup>	73.600,1	1,25	92.000,13
Movimiento de tierra				
Excavación con minitractor	m <sup>3</sup>	44.160,06	5,27	232.723,52
Desalojo con volquetas	m <sup>3</sup>	28.262,44	10,14	286.581,14
Relleno de grava	m <sup>3</sup>	7.360,01	15,8	116.288,16
Relleno arcilla/grava	m <sup>3</sup>	36.800,05	20,41	751.089,02
Relleno de material para sembrar	m <sup>3</sup>	7.360,01	15,45	113.712,15
Limpieza final de obra	m <sup>2</sup>	73.600,1	1,56	114.816,16
				\$
			TOTAL	1'785.226,39

Tabla 11. Costos de la solución adoquinado. (Bernal,2022)

Actividades	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Obras previas				
Trabajos de limpieza	m <sup>2</sup>	73308.82	1.06	77707.35
Trazados y replanteos	m <sup>2</sup>	73308.82	1.25	91636.03
Movimiento de tierra				
Excavación con retroexcavadora	m <sup>3</sup>	25658.09	5.13	131626
Excavación con minitractor	m <sup>3</sup>	25658.09	5.27	135218.13
Desalojo con volquetas	m <sup>3</sup>	16421.18	10.14	166510.77
Relleno de cama de grava	m <sup>3</sup>	3665.441	15.8	57913.97
Relleno de base granular	m <sup>3</sup>	10996.32	15.8	173741.86
Relleno granular de sub-base	m <sup>3</sup>	10996.32	15.8	173741.86
Desalojo de pavimento anterior	m <sup>3</sup>	16127.94	30.64	494160.08
Instalación de adoquines	m <sup>2</sup>	73308.82	16.24	1190535.24
Limpieza final de obra	m <sup>2</sup>	73308.82	1.56	114361.7592
			TOTAL	\$ 2,807,153.05

### 6.2.2. Alternativa 2. Cambio de diámetro de colectores.

#### (Solución convencional).

Se plantea la solución convencional de drenaje, donde se reemplaza los colectores por otros de mayor diámetro. En el sector se encuentran las tuberías de descarga aguas abajo de 36 pulgadas de diámetro interior. Se plantea entonces el reemplazo por tuberías de 48 pulgadas de diámetro, del mismo material de los colectores presentes, de hormigón armado con junta de neopreno y los colectores aguas arriba con reducciones progresivas de diámetros desde 36, 33, 30 y 27 pulgadas. El cambio en los últimos colectores a 48 pulgadas se debe a razones hidráulicas, ya que, si se usara un diámetro mayor, necesita ser instalada a una cota batea de mayor profundidad, al mismo nivel o pasando el fondo del estero, lo cual implicaría la entrada de agua permanente hacia la descarga indiferentemente del nivel de marea. Otra de las razones se debe al funcionamiento de descargas del mismo diámetro en el borde opuesto del estero que colinda con el parque lineal Kennedy. Se realizó la gráfica de volumen vs tiempo e inundación vs tiempo durante el tiempo de precipitación máxima, para un caso extremo, de una precipitación de 10 años de período de retorno. Según las ilustraciones 82 y 83, se puede apreciar un cambio de valores respecto a la situación actual, pudiéndose notar que el flujo se ha incrementado dentro de las últimas tuberías cercanas a la conexión.

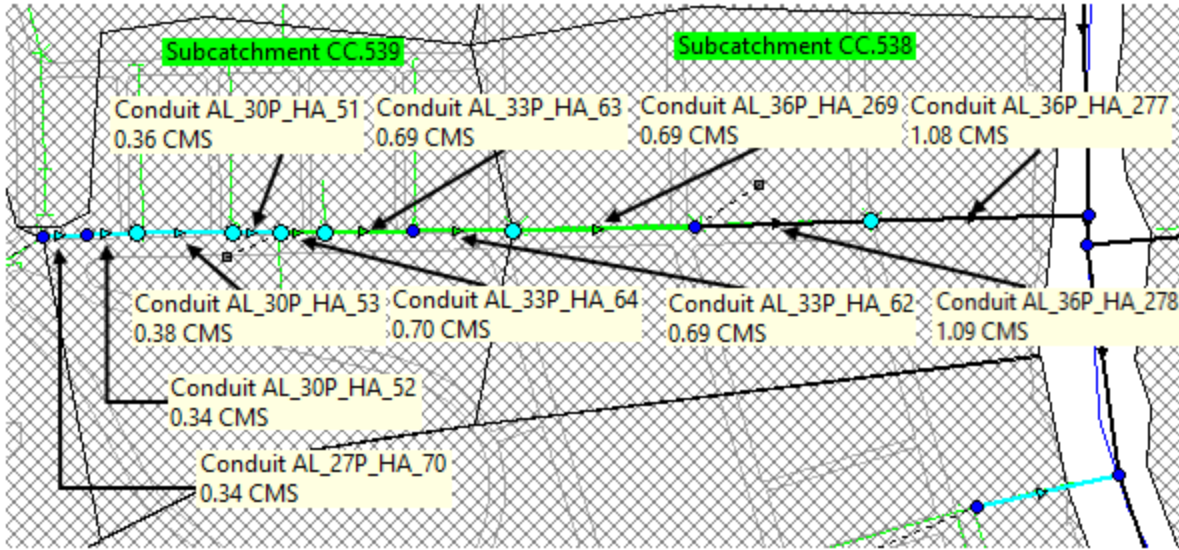


Ilustración 82. Volumen de agua en nodos pertenecientes a la calle Fernando Artieda, con solución convencional, durante el tiempo crítico de precipitación. (Bernal,2022)

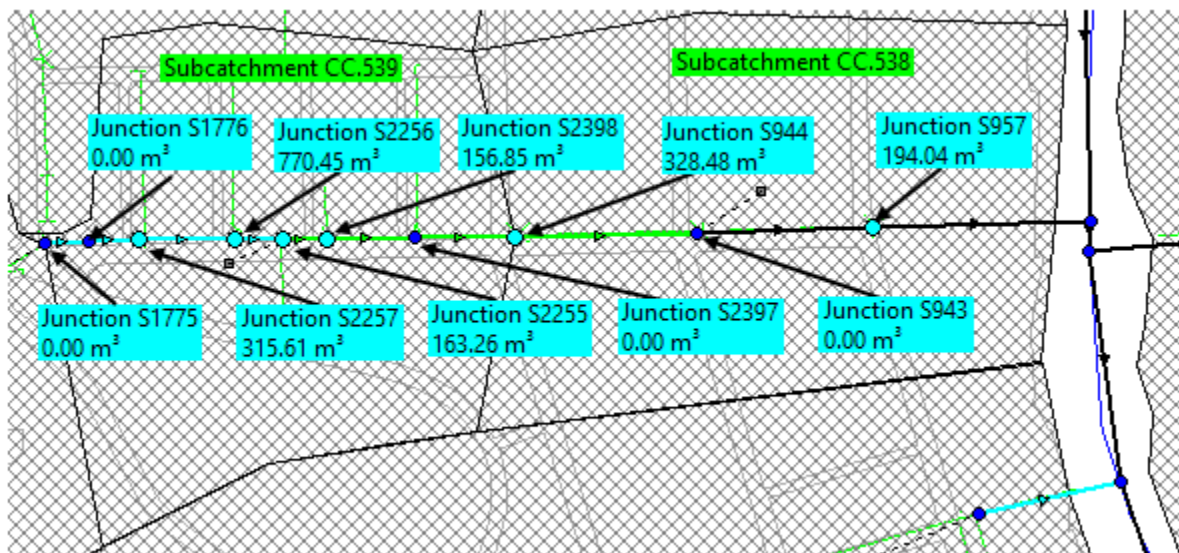


Ilustración 83. Mapa de caudal en tuberías pertenecientes a la calle Fernando Artieda, con solución convencional, durante el tiempo crítico de precipitación (Bernal, 2022)

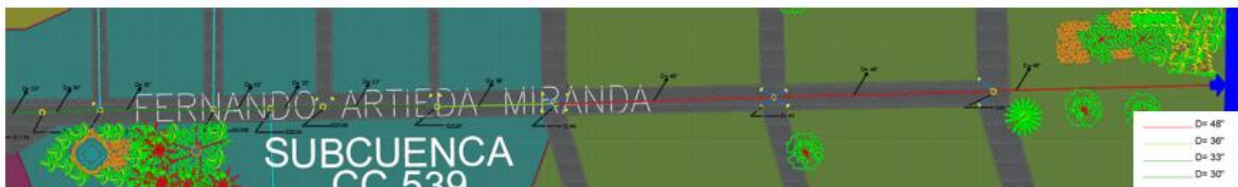


Ilustración 84. Línea de tuberías de la Alternativa 2 en la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022)





Ilustración 85. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2256, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 86. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2257, con solución convencional. (Bernal, 2022)



*Ilustración 87. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2255, con solución convencional. (Bernal, 2022)*



*Ilustración 88. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2398, con solución convencional. (Bernal, 2022)*



*Ilustración 89. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S2397, con solución convencional. (Bernal, 2022)*

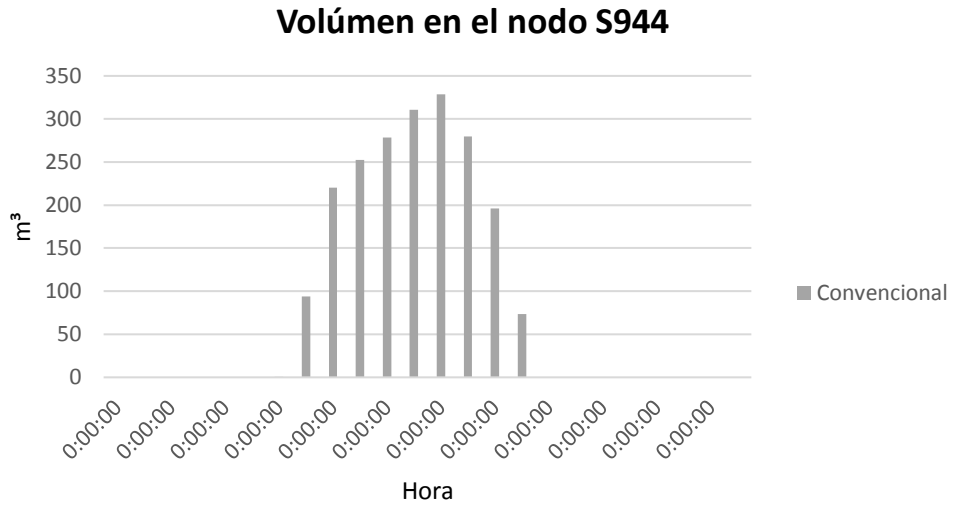


Ilustración 90. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S944, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 91. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S943, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 92. Gráfica volumen vs tiempo para el nodo S957, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 93. Inundación vs tiempo del nodo S2257, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 94. Inundación vs tiempo del nodo S2256, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 95. Inundación vs tiempo del nodo S2255, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 96. Inundación vs tiempo del nodo S2398, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 97. Inundación vs tiempo del nodo S2397, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 98. Inundación vs tiempo del nodo S944, con solución convencional. (Bernal, 2022)



Ilustración 99. Inundación vs tiempo del nodo S943, con solución convencional. (Bernal, 2022)



### Inundación en el nodo S957

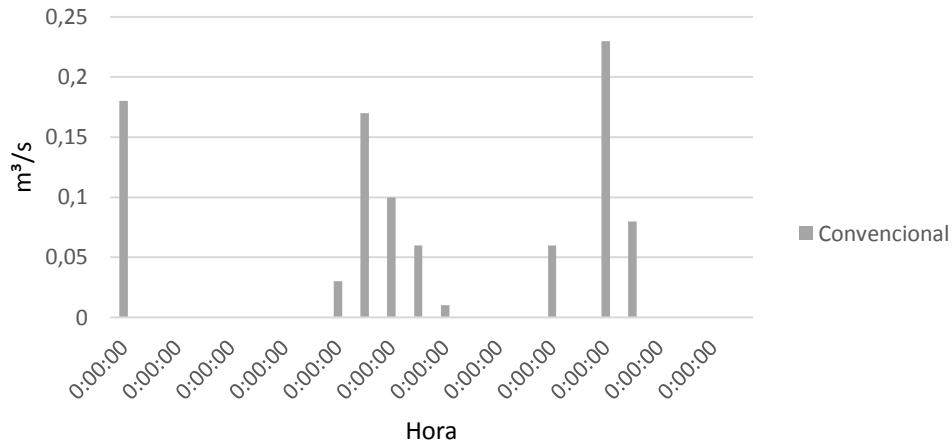


Ilustración 100. Inundación vs tiempo del nodo S957, con solución convencional. (Bernal, 2022)

### 6.2.2.1. Evaluación económica de solución convencional.

Tabla 12. Presupuestos de Solución convencional. (Bernal, 2022)

Presupuesto de cambio de tubería de colector y pavimentación (Solución convencional)				
Actividades	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Obras previas				
Trazados y replanteos	m <sup>2</sup>	73.308,82	1,25	91.636,03
Movimiento de tierra				
Excavación con retroexcavadora	m <sup>3</sup>	128.290,44	5,13	658.129,96
Desalojo con volquetas	m <sup>3</sup>	82.105,88	10,14	832.553,62
Relleno de cama de grava	m <sup>3</sup>	7.330,88	15,8	115.827,9
Relleno de base granular	m <sup>3</sup>	18.327,21	15,8	289.569,92
Relleno granular de sub-base	m <sup>3</sup>	102.632,35	15,8	1'621.591,13
Desalojo de pavimento anterior	m <sup>3</sup>	16.127,94	30,64	494.160,08
Desalojo de tubería anterior	ml	5.375,98	87,93	472.709,92
Instalación de tubería nueva	ml	1.791,993333	251,66	450.973,0423
Asfaltado de calles	m <sup>3</sup>	16.127,94	112,63	1'816.489,882
Limpieza final de obra	m <sup>2</sup>	73.308,82	1,56	114.361,7592
			<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$6'958.003,24</b>

### 6.3. Resultado del análisis ambiental

Según la Ilustración 101 puede determinar que la importancia mayor registrada es de 81, debido a la erosión del suelo, que resulta de diversas actividades iniciales e intermedias de construcción, pero que son mitigables por la presencia inmediata de cobertura vegetal al final de la etapa constructiva de la infraestructura verde, a diferencia de una obra gris, que tiene actividades similares de excavaciones, desalojo de materiales, rellenos, etc., pero que al final no mitiga la contaminación hecha y se expone a los trabajadores a riesgos de salud dentro del proceso constructivo.

FASES DEL PROYECTO	ACTIVIDADES	FACTORES AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES	Severidad	Prob. Ocurre	Extensión	Intensidad	Duración	Desarrollo	Recupera	Interacción	MAGNITUD DE IMPACTO	IMPORTANCIA DE IMPACTO						
				1)POSITIVO 2)MEDIO 3)NEGATIVO	1)MUY POCO PROBABLE 2)POCO PROBABLE 3)CIERTO	RELEVANCIA (0) PUNTUAL (1) PARCIAL (2) ALTA (0) BAJA (1) MODERADA (2) ALTA	(0) CORTO PLAZO (1) MEDIANO PLAZO (2) PERMANENTE	(0) LARGO PLAZO (1) MEDIO PLAZO (2) INMEDIATO	(0) REVERSIBLE (1) MITIGABLE (2) IRREVERSIBLE	(0) SIMPLE (1) ACUMULATIVO (2) SINÉRGICO	3	4	5	6	7	8	9		
CONSTRUCCIÓN	Trabajos de limpieza	Flora, Fauna	Alteración del paisaje	2									3	18					
			Retiro de plantas endémicas		3									6	54				
			Alteración de hábitad de fauna silvestre		3			2		2				1	0	7	63		
	Trazados y replanteos	Suelo, humano	Contaminación con cal	2	2	4	0				2	0		2	8				
			Problemas respiratorios		3	2	6		1		1	0		1	4	24			
	Transporte de materiales	Aire	Emisiones de gases		3	3	9		2	1	0		2	1	0	6	54		
			Emisiones de ruido	2		2	4		2	1	0		2	0		5	20		
	Movimiento de maquinarias	Suelo, aire, humano	Emisiones de gases		3	3	9		2	1	0		2	1	0	6	54		
			Emisiones de ruido	2		3	6	0		1	0		2	1	0	4	24		
			Problemas respiratorios		3	1		3	1		1	0		1		4	12		
	Excavaciones	Suelo, aire, humano	Alteración de estratigrafía	2		3	6	0		0		2	0		2	6	36		
			Problemas respiratorios		3	1		3	1		1	0		1		4	12		
			Emisiones de ruido	2		3	6	0		1	0		2	1	0	4	24		
			Partículas de suelo suspendidas	2		3	6		2		2	0		1	0	5	30		
	Rellenos	Aire, suelo, humano	Emisiones de ruido	2		3	6	0		1	0		2	1	0	4	24		
			Partículas de suelo suspendidas		3		3	9	1		2	0		1		5	45		
			Erosión de suelo		3		3	9		2	1			1		2	8	72	
	Hormigón	Aire, suelo, flora	Emisión de gases por fraguado	2		3	6	0		0		0		2	0	4	24		
			Erosión de suelo		3	2		6	0	2	1					2	8	48	
			Retiro de flora		3	2		6	0	1		2		2	0	1	7	42	
	Instalación de tuberías	Suelo, agua, flora	Alteración de estratigrafía	2		3	6	1	0			2	0		5	30			
			Contaminación con agua residual		3	2		6	0	1		2	1	0		6	36		
	Desalojo de pavimento	Suelo, humano	Erosión de suelo		3		3	9		2		2	0		2	9	81		
			Problemas respiratorios		3	2		6	0		1	0		0		2	12		
	Instalación de geomembrana	Suelo, flora	Retiro de plantas endémicas	2		3	6	1		2		2	0		1	0	6	36	
			Alteración de filtración de suelo	2		3	6		2		2		2	0		1	1	8	48
	Instalación de adoquines	Suelo, flora	Retiro de plantas endémicas		3		3	9	1		2		2	0		1	0	6	54
			Alteración de filtración de suelo	2		3	6		2		2		2	0		1	1	8	48

Ilustración 101. Determinación de Importancia de impacto para obras de infraestructura verde en el sector de Urdesa Norte. (Bernal,2022)

## 7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

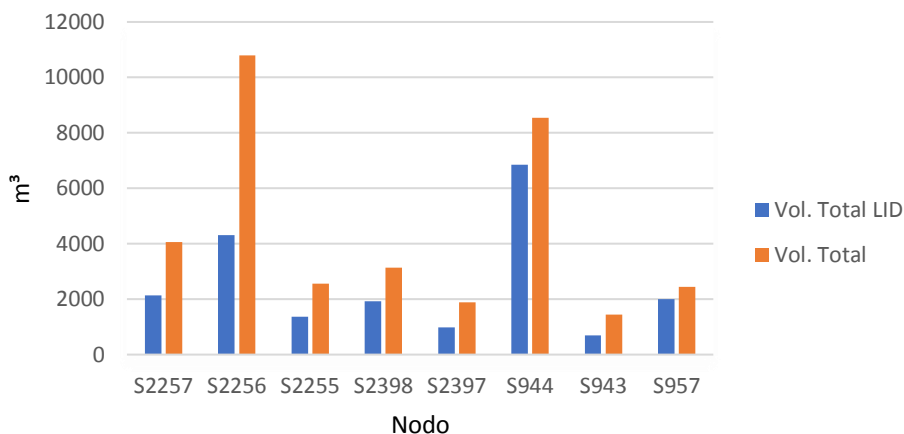
Con los resultados obtenidos del software, se puede concluir que al existir una reducción de volumen de escorrentía, se logra mitigar el riesgo por inundaciones en el sector con ambas soluciones, pero la solución de infraestructura verde logra a la vez un diseño de drenaje integrado al planteamiento urbano que retiene las lluvias en el origen, ya que almacena gran parte del caudal y restituye los procesos hidrológicos, evitando que el agua salga directamente a la descarga y se infiltre en el suelo.

A nivel hidráulico, el drenaje tiene un nivel de eficiencia similar en ambas soluciones. Según el parámetro de nivel de inundaciones, es mejor la solución verde ya que los nodos registraron una minoría de volumen respecto a la solución convencional. La tabla 13 muestra los valores y su porcentaje de reducción respecto al escenario actual del lugar. Según el parámetro de caudales en las tuberías, con la solución convencional se registraron valores que pasaron el metro cúbico por segundo, en especial en las tuberías cercanas al estero, generando contraflujos en el sistema.

Tabla 13. Comparación de volúmenes totales en los nodos de la calle Fernando Artieda con y sin infraestructura verde y porcentaje de reducción de volumen. (Bernal, 2022)

Nodo #	Vol. Total Estado Actual m <sup>3</sup>	Vol. Total Infr. verde m <sup>3</sup>	Reducción %
S2257	4.068,22	2.134,66	47,53
S2256	10.798,14	4.312,6	60,06
S2255	2.568,17	1.356,29	47,19
S2398	3.144,35	1.916,61	39,05
S2397	1.888,18	971,55	48,55
S944	8.549,38	6.852,45	19,85
S943	1.452,11	693,24	52,26
S957	2.451,82	2.003	18,31

**Gráfica comparativa de volumen total en nodos de calle Fernando Artieda, con y sin Infraestructura verde**

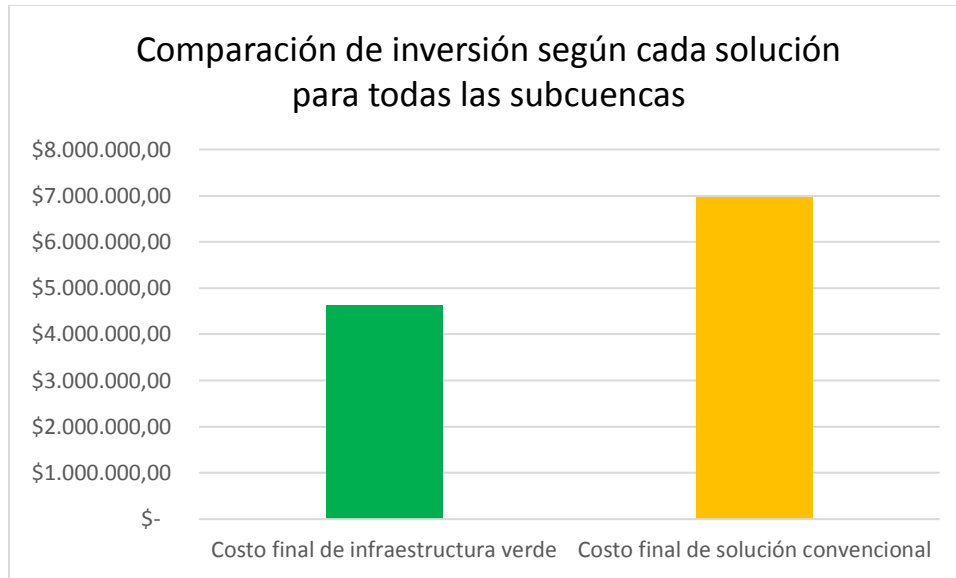


*Ilustración 102. Comparación de volúmenes totales en los nodos con y sin infraestructura verde y porcentaje de reducción de volumen. (Bernal, 2022)*

Según el análisis de precios unitarios, se puede concluir que el costo de la infraestructura verde es menor que de la infraestructura convencional, existiendo una diferencia del 50,29% entre ambas soluciones, generando un ahorro de 2'328.267,61 dólares americanos al GAD municipal, debido a los altos costos que demanda las instalaciones de tuberías de hormigón. La Ilustración 103 indica gráficamente la escala de diferencias en costos entre ambas soluciones.

*Tabla 14. Costo total de inversión para el rediseño con infraestructura verde y con solución convencional para la calle Fernando Artieda. (Bernal, 2022)*

Costos de inversión	Precio Total (\$)	Porcentaje de inversión
Costo final celdas de bioretención	37.356,19	1%
Costo final jardines de lluvia	1'785.226,39	39%
Costo final adoquín permeable	2'807.153,05	61%
Costo final de infraestructura verde	4'629.735,63	
Costo final de solución convencional	\$6'958.003,24	Incremento 50,29%



*Ilustración 103. Comparación de inversión según cada solución de infraestructura verde para el sector de Urdesa Norte. (Bernal,2022)*

Bajo aspectos ambientales se puede concluir que al contar con nuevos espacios verdes se favorece al desarrollo de las actividades en el espacio público en un ambiente con mejor calidad de agua y con un ciclo del agua donde intervienen medios naturales. El diseño, al permitir infiltraciones y contar con presencia de geomembranas, logra reducir la cantidad de agentes contaminantes en el agua de escorrentía y se aísla el caudal del resto del sistema, por lo que se evita el ingreso de aguas residuales provenientes de conexiones domésticas ilícitas.

En aspecto social, se puede determinar que, al contar con mayor área verde, se incrementa el uso más el espacio público por parte de sus moradores, el incentivo por crear nuevos negocios en la zona crece, y se fomenta los lugares abiertos que evitan el aglomeramiento.

## 7.2. Recomendaciones

El desarrollo de soluciones de bajo impacto, como jardines de lluvia, pavimentos permeables y celdas de bioretención, son muy importantes para reducir la escorrentía superficial y disminuir la alta impermeabilización de las zonas urbanas, genera un ciclo de

drenaje de aguas amigable y abre la oportunidad de utilización de agua de lluvia al generarse filtraciones dentro del suelo. Como indica los resultados, no se erradica las inundaciones en su totalidad, pero existe una significativa reducción de estas, que, El Ramal A, al ser un brazo represado del estero, puede contar con un control de caudales durante todo el año, para mantener un nivel homogéneo de agua, tanto en épocas de alta como baja marea, evitando así que las tuberías trabajen a contraflujo cuando el evento pluvial y la marea alta coincidan. En épocas secas, en cambio, dejar entrar mayor caudal para no afectar el ecosistema de manglar, combinado con el efecto que puede producir la estructura de control que existe en la zona de convergencia de los ramales A y B, con el cierre de paso de agua al ramal del estero, se puede evitar que las tuberías trabajen a contraflujo. Se trabajó con el área verde existente, ya que existe muy poco espacio, debido a una gran demanda habitacional y comercial del lugar. Si se diseña dicho espacio existente con estándares de drenaje de agua, produciría los efectos que han sido contemplados en los resultados.

Un gran reto que vencer es el problema que cuenta la ciudad con su estratigrafía, por lo general compuesta de arcillas impermeables con un nivel freático que suele alcanzar la superficie, por lo tanto, para poder desarrollar una solución tanto para jardín de lluvia como celdas de bioretención, se debe realizar primero trabajos en las subcapas, para reemplazar con un material permeable y permitir a la vez la conducción de agua subterránea a través de tuberías perforadas. El área verde considerada en el presente trabajo es la existente en el lugar, que muchas veces se encuentra en propiedad privada, a excepción de los parques. Por lo tanto, se necesitan políticas que demanden área verde en zonas sensibles, como es en los bordes del estero. Una gran ventaja es que gran parte de las residencias cuentan con espacios de áreas verdes, en algunos casos de mediana magnitud, y en la mayoría, tienen macetas con plantas con fines ornamentales en el patio de entrada de las residencias, que se encuentran en un piso impermeable, lo cual evita que dicha agua que se retiene en las plantas vaya hacia el sistema convencional de drenaje, logrando así una disminución de esorrentía.

Guayaquil es una ciudad que va creciendo demográficamente y se van generando nuevos proyectos urbanos, por lo tanto, es necesario que sean considerados los aspectos ambientales y de drenaje de aguas pluviales con espacios verdes para así evitar tener la dificultad de generarlos una vez esté construido la obra gris, como sucede con las zonas urbanas que tienen muchos años, donde es muy complejo generar planes de mitigación de escorrentía superficial con diseños sensibles al agua, y en cambio, se aumenta la capacidad del drenaje convencional, con costos elevados para su construcción.

Se sugiere realizar estudios de movilidad y de tráfico para la calle diseñada, debido a la reducción de área de ocupación de la calle. Se recomienda redistribuir el tráfico hacia calles aledañas donde tenga menor impacto posible, como, por ejemplo, donde no pase ninguna línea de transporte público, para evitar aglomeraciones. La movilidad es un medio requerido dentro del rediseño urbano que debe ser considerado, incluso para análisis de tráfico durante una precipitación y así poder medir los valores de demoras debido a las lluvias con la implementación de la infraestructura verde y así maximizar los beneficios a la ciudad.

Se recomienda desarrollar programas sociales donde se incentive el uso de área verde dentro de un diseño habitacional o comercial, no solo para fines ornamentales. La creación de ordenanzas municipales para zonas críticas donde se vuelva una exigencia contar con espacios verdes, ya que la población se ha acostumbrado a no contar con áreas verdes en grandes extensiones. Para ello, se deben realizar actividades comunitarias para una remodelación de sus calles, así obtendrán beneficios durante la época invernal y aumenta el atractivo turístico y comercial de un lugar y a la vez logrando una completa accesibilidad al lugar incluso durante una tormenta de gran intensidad.

Se sugiere la creación dentro de instituciones académicas de tercer nivel como de los gobiernos autónomos descentralizados, a crear un espacio destinado a la investigación de infraestructura verde y soluciones amigables al ambiente, debido a su alta demanda en la

actualidad. Con investigaciones constantes se puede determinar cuál es el medio más factible a nivel constructivo y a nivel económico, generando ahorros y resiliencia para la ciudad que se desee planificar. Así se crean incentivos de investigación alrededor de todas las urbes de la ciudad y del país.



## BIBLIOGRAFÍA

- Barrera Crespo, P. (2016). *Delft3D Flexible Mesh modelling of the Guayas River and estuary system in Ecuador*. Singapur: Delft University of Technology and National University of Singapore.
- Betancourt, A., Bertoni, J., & Cabezas, G. (2013). *La inundación de Guayaquil en Marzo 2013. Comunidad Andina de Fomento*. Retrieved from [https://issuu.com/marcelaguinaga/docs/la\\_inundacion\\_de\\_guayaquil\\_en\\_mar](https://issuu.com/marcelaguinaga/docs/la_inundacion_de_guayaquil_en_mar)
- Capuccini, E. (2010). *Aplicación de tecnología BMP al sistema de drenaje urbano*. Bolonia.
- Citygreen. (2019, 01 17). *Citygreen*. Retrieved from Six international cities with outstanding green infrastructure: <https://citygreen.com/six-international-cities-with-outstanding-green-infrastructure/>
- Comunidad Andina de Fomento. (2016). *Diagnóstico y proyección de vulnerabilidades frente a la variabilidad y cambio climático en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil.
- El Comercio. (2021, 07 1). *Con válvulas se busca mitigar las inundaciones en Guayaquil*. Retrieved from El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/guayaquil-inundaciones-valvulas-ductos-puente.html>
- GAD Municipal de Guayaquil. (2022, 05 25). *Geoportal del GAD Municipal de Guayaquil*. Retrieved from Geoportal del GAD Municipal de Guayaquil: [https://geoportal-guayaquil.opendata.arcgis.com/datasets/91c3a260949a48fa8ede07dfde9ed69c\\_o/explore?location=-2.125055%2C-79.979029%2C11.40](https://geoportal-guayaquil.opendata.arcgis.com/datasets/91c3a260949a48fa8ede07dfde9ed69c_o/explore?location=-2.125055%2C-79.979029%2C11.40)
- GEOESTUDIOS S.A. (2011). *ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL*

- SEGÚN LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2011*. Retrieved from Secretaría de Gestión de Riesgos: <https://docplayer.es/79454413-Tomo-1-0-actualizacion-del-mapa-geologico-de-la-ciudad-de-guayaquil.html>
- Gresham Smith. (2022). *Gresham Smith*. Retrieved from Leconte Center at Piigeon Forge parking lot drainage design: <https://www.greshamsmith.com/project/leconte-center-at-pigeon-forge-parking-lot-drainage-design/>
- Guevara, J. (2021, 09 27). *Análisis y diseño de sistema de alcantarillado de aguas lluvias para el área de Ingenierías del Campus Gustavo Galindo*. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52196>
- Gwang Lee, J., Nietch, C. T., & Panguluri, S. (2017). *SWMM Modeling Methods for Simulating Green Infraestructure at a Suburban Headwatershed: User's Guide*. Cincinnati: Office of Research and Development Water Systems Division.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R., & Corfee-Morlot, J. (2013). *Future floods losses in major coastal cities. Nature Climate Change 3, 802-806*.
- Interagua C.LTDA. (2017). Retrieved from Ajuste y revisión del Plan Maestro Agua Potable; Alcantarillado Sanitario y Alcantarillado Pluvial: [www.interagua.com.ec/sites/default/files/portal-de-transparencia/planes-programas/tomo\\_i.pdf](http://www.interagua.com.ec/sites/default/files/portal-de-transparencia/planes-programas/tomo_i.pdf)
- Interagua. C. LTDA. (n.d.). *Interagua*. Retrieved from Folleto Alcantarillado Pluvial: [https://www.interagua.com.ec/sites/default/files/folleto\\_alcantarillado\\_pluvial\\_1.pdf](https://www.interagua.com.ec/sites/default/files/folleto_alcantarillado_pluvial_1.pdf)
- LAHMEYER. (2000). *Informe final I*. Guayaquil.
- Lochiel Park website. (2013). *Water Sensitive Urban Design*. Retrieved from Lochiel Park website: <http://www.lochielpark.com.au/lochielpark/water.htm>

- Macor, J., & Pedraza, R. (1998). *Discretización temporal de la tormenta sintética de Chicago*. Santa Fe.
- Matto, M., Jainer, S., & Sharda, C. (2017). *Water-Sensitive Urban Design and Planning: A Practitioner's Guide*. New Delhi: Centre for Science and Environment.
- Mestanza, J. (2013, marzo). Guayaquil, propensa a inundaciones.
- Ministerio del Ambiente - Subsecretaría de Gestión Marina y Costera. (2020, 07 02). *Proyecto de recuperación de las áreas protegidas de la ciudad de Guayaquil: Estero Salado e Isla Santay*. Retrieved from <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/2.ESTERO-SALADO.pdf>
- Mogentfelt, P. (2017). *Modeling LID-units in SWMM - A review of the current approach with suggestions for improvement*.
- Molennar, F., Pak, T., de Pous, H., & van der Werff, B.-J. (2018, 04 06). *Flood Prevention Guayaquil: A feasibility study on local stormwater storage and the effect of sea branch closure to prevent pluvial and coastal flooding*. Retrieved from TUDelft: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A80554ccf-45ae-4782-860a-6b4ae54518b1>
- Mosselman, E., & Becker, A. (2016). *Modelación hidrodinámica y morfológica de los ríos Daule, Babahoyo y Guayas*.
- Mujumdar, P. (2001, Mayo). *Flood Wave Propagation. The Saint Venant Equations*. Retrieved from Indian Institute of Science, Bangalore: <http://civil.iisc.ac.in/~pradeep/wp-content/uploads/2020/10/resonance.pdf>

- Peñailillo, R., Jeuken, A., Meijer, D., & Benitez, C. (2021). *Mejorando la resiliencia a las inundaciones en la ciudad de Guayaquil, Implementación de herramientas innovadoras para el desarrollo urbano y la gestión de inundaciones*. Guayaquil.
- Reyes Alava, J. (2019). *Comportamiento de la temperatura y la precipitación del perfil costero ecuatoriano en el año 2018*. Retrieved from Instituto Oceanográfico de la Armada, División de Meteorología: [https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas\\_oceanograficas/acta23/OCE23\\_1.pdf](https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta23/OCE23_1.pdf)
- Rossmann, L. (2015, Septiembre). *Environmental Protection Agency*. Retrieved from Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5\\_1\\_manual\\_master\\_8-2-15.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf)
- Rossmann, L., & Huber, W. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume I*. [Online]. Retrieved from <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100NYRA.txt>
- Spalvier, A., Díaz, A., & Marrero, I. (2021, 06). *Recomendaciones sobre Pavimentos de Hormigón Permeable*. Retrieved from Grupo de Hormigón Estructural, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.: [https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Pavimentos%20de%20hormig%C3%B3n%20opermeable\\_FING.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Pavimentos%20de%20hormig%C3%B3n%20opermeable_FING.pdf)
- SuD Sostenible. (2016). *Pavimentos Permeables*. Retrieved from SuD Sostenible: <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/pavimentos-permeables/>

Water Sensitive S.A. (2020). *A guide for water sensitive urban design*.

Wellington City Council. (2013). *A guide for WSUD stormwater management in Wellington*.

Wellington: Wellington City Council.

## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis de impactos ambientales

Con la lista de actividades creada para el cálculo de inversión, se determinó en cada actividad que tipo de impacto genera, a través de factores ambientales, y luego se procede a detallar los impactos para cada factor en particular. Para poder realizar una medición se determina niveles para cada tipo de impacto. La relevancia se obtiene de la multiplicación del nivel de severidad y la probabilidad de ocurrencia (Guevara, 2021)

#### Niveles de severidad

- 1) Positivo
- 2) Medio
- 3) Negativo

#### Niveles de probabilidad de ocurrencia

- 1) Muy poco probable
- 2) Poco probable
- 3) Cierto

La magnitud del proyecto está influenciada por los siguientes factores, que todos deben ser sumado para cada impacto. Finalmente, para obtener la importancia, se debe realizar la multiplicación de la relevancia y la magnitud del impacto (Guevara, 2021):

- Extensión: Determina la incidencia en superficie de la actividad.
  - 0) Puntual
  - 1) Parcial
  - 2) Alta

- Duración: Determina el tiempo en el que se puede percibir la incidencia de la actividad a nivel ambiental.
  - o) Corto plazo
  - 1) Mediano plazo
  - 2) Permanente
- Intensidad: Nivel de agresividad de la actividad.
  - o) Baja
  - 1) Moderada
  - 2) Alta
- Desarrollo: Determina el avance de la actividad respecto al tiempo.
  - o) Largo plazo
  - 1) Mediano plazo
  - 2) Inmediato
- Recuperación: La capacidad que existe para regenerarse ambientalmente.
  - o) Reversible
  - 1) Mitigable
  - 2) Irreversible
- Interacción: Relación entre el factor y el impacto en particular.
  - o) Simple
  - 1) Acumulativo
  - 2) Sinérgico

ACTIVIDADES	FACTORES AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES
Trabajos de limpieza	Flora, Fauna	Alteración del paisaje Retiro de plantas endémicas Alteración de hábitad de fauna silvestre
Trazados y replanteos	Suelo, humano	Contaminación con cal Problemas respiratorios
Transporte de materiales	Aire	Emisiones de gases Emisiones de ruido
Movimiento de maquinarias	Suelo, aire, humano	Emisiones de gases Emisiones de ruido Problemas respiratorios
Excavaciones	Suelo, aire, humano	Alteración de estratigrafía Problemas respiratorios Emisiones de ruido Partículas de suelo suspendidas
Rellenos	Aire, suelo, humano	Emisiones de ruido Partículas de suelo suspendidas Erosión de suelo
Hormigón	Aire, suelo, flora	Emisión de gases por fraguado Erosión de suelo Retiro de flora
Instalación de tuberías	Suelo, agua, flora	Alteración de estratigrafía Contaminación con agua residual



Desalojo de pavimento	Suelo, humano	Erosión de suelo Problemas respiratorios
Instalación de geomembrana	Suelo, flora	Retiro de plantas endémicas Alteración de filtración de suelo
Instalación de adoquines	Suelo, flora	Retiro de plantas endémicas Alteración de filtración de suelo

Tabla A1. Actividades, factores e impactos ambientales para implementación de área verde para el sector Urdesa Norte

## Anexo 2. Detallamiento de Líneas – tuberías de conducción

Las tuberías que pasan por cada uno de los nodos fue caracterizado, incluyendo sus cotas y longitudes y rugosidad. Así mismo, se ha clasificado a las tuberías por cada subcuenca y se muestra las tuberías que se encuentran localizadas en la calle Fernando Artieda. El material con el que está fabricada las tuberías es de hormigón armado, en especial, el colector DM39 mencionado en el plan maestro de Interagua.

Nombre	AL_27P_HA_70
Nodo in	S1775
Nodo out	S1776
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,6858
Longitud	20,04
Rugosidad	0,013
inlet offset	0
outlet offset	0.0762

Tabla A2. Datos de la tubería AL\_27P\_HA\_70 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_30P_HA_52
Nodo in	S1776
Nodo out	S2257
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,762
Longitud	22,81
Rugosidad	0,013
inlet offset	0
outlet offset	0

Tabla A3. Datos de la tubería AL\_30P\_HA\_70 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_30P_HA_53
Nodo in	S2257
Nodo out	S2256
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,762
Longitud	42,36
Rugosidad	0,013
inlet offset	0
outlet offset	0

Tabla A4. Datos de la tubería AL\_30P\_HA\_70 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_30P_HA_51
Nodo in	S2256
Nodo out	S2255
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,762
Longitud	21,77
Rugosidad	0,013
inlet offset	0,0762
outlet offset	0

Tabla A5. Datos de la tubería AL\_30P\_HA\_51 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_33P_HA_64
Nodo in	S2255
Nodo out	S2398
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,8382
Longitud	19,63
Rugosidad	0.013
inlet offset	0
outlet offset	0

Tabla A6. Datos de la tubería AL\_33P\_HA\_64 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_33P_HA_63
Nodo in	S2398
Nodo out	S2397
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,8382
Longitud	39,84
Rugosidad	0,013
inlet offset	0
outlet offset	0

Tabla A7. Datos de la tubería AL\_33P\_HA\_63 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_33P_HA_62
Nodo in	S2397
Nodo out	S944
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,8382
Longitud	44,81
Rugosidad	0.013
inlet offset	0.0762
outlet offset	0

Tabla A8. Datos de la tubería AL\_33P\_HA\_62 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_36P_HA_269
Nodo in	S944
Nodo out	S943
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,9144
Longitud	81,93
Rugosidad	0,013
inlet offset	0
outlet offset	0

Tabla A9. Datos de la tubería AL\_36P\_HA\_269 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_36P_HA_278
Nodo in	S943
Nodo out	S957
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,9144
Longitud	78,83
Rugosidad	0,013
inlet offset	0
outlet offset	0

Tabla A10. Datos de la tubería AL\_36P\_HA\_278 (Bernal, 2022)

Nombre	AL_36P_HA_277
Nodo in	S957
Nodo out	18
forma	CIRCULAR
Max. Prof	0,9744
Longitud	81,36
Rugosidad	0,013
inlet offset	0
outlet offset	0,35

Tabla A11. Datos de la tubería AL\_36P\_HA\_277 (Bernal, 2022)

### Anexo 3. Detallamiento de Nodos

Los nodos de cada subcuenca fueron categorizados, asignandose nombres y demás atributos requeridos para el modelo matemático. A continuación se presentan los nodos que se ubican a lo largo de la calle Fernando Artieda, con sus características principales:

Nombre	S1775
Coordnada X	496.894,642
Coordenada Y	2'003.543,632
Invert El.	2,11
Max prof	1,67
prof. Inicial	0

Tabla A12. Datos del nodo S1775 (Bernal, 2022)

Nombre	S1776
Coordnada X	496.914,621
Coordenada Y	2'003.545,236
Invert El.	2,02
Max prof	1,37
prof. Inicial	0

Tabla A13. Datos del nodo S1776 (Bernal, 2022)

Nombre	S2257
Coordnada X	496.937,424
Coordenada Y	2'003.545,741
Invert El.	1,92
Max prof	0,97
prof. Inicial	0

Tabla A14. Datos del nodo S2257 (Bernal, 2022)

Nombre	S2256
Coordnada X	496.979,781
Coordenada Y	2'003.545,427
Invert El.	1.74
Max prof	1.17
prof. Inicial	0

Tabla A15. Datos del nodo S2256 (Bernal, 2022)

Nombre	S2255
Coordnada X	497.001,547
Coordenada Y	2'003.545,564
Invert El.	1.65
Max prof	1.23
prof. Inicial	0

Tabla A16. Datos del nodo S2255 (Bernal, 2022)

Nombre	S2398
Coordnada X	497.021,175
Coordenada Y	2'003.545,764
Invert El.	1.56
Max prof	1.28
prof. Inicial	0

Tabla A17. Datos del nodo S2398 (Bernal, 2022)

Nombre	S2397
Coordnada X	497.061,007
Coordenada Y	2'003.546,649
Invert El.	1.39
Max prof	1.44
prof. Inicial	0

Tabla A18. Datos del nodo S2397 (Bernal, 2022)

Nombre	S944
Coordnada X	497.105,813
Coordenada Y	2'003.546,942
Invert El.	1.2
Max prof	1.4
prof. Inicial	0

Tabla A19. Datos del nodo S944 (Bernal, 2022)

Nombre	S943
Coordnada X	497.187,725
Coordenada Y	2'003.548,484
Invert El.	0.84
Max prof	1.91
prof. Inicial	0

Tabla A20. Datos del nodo S943 (Bernal, 2022)

Nombre	S957
Coordnada X	497.266.516
Coordenada Y	2'003.550.849
Invert El.	0.5
Max prof	2.06
prof. Inicial	0

Tabla A21. Datos del nodo S957 (Bernal, 2022)

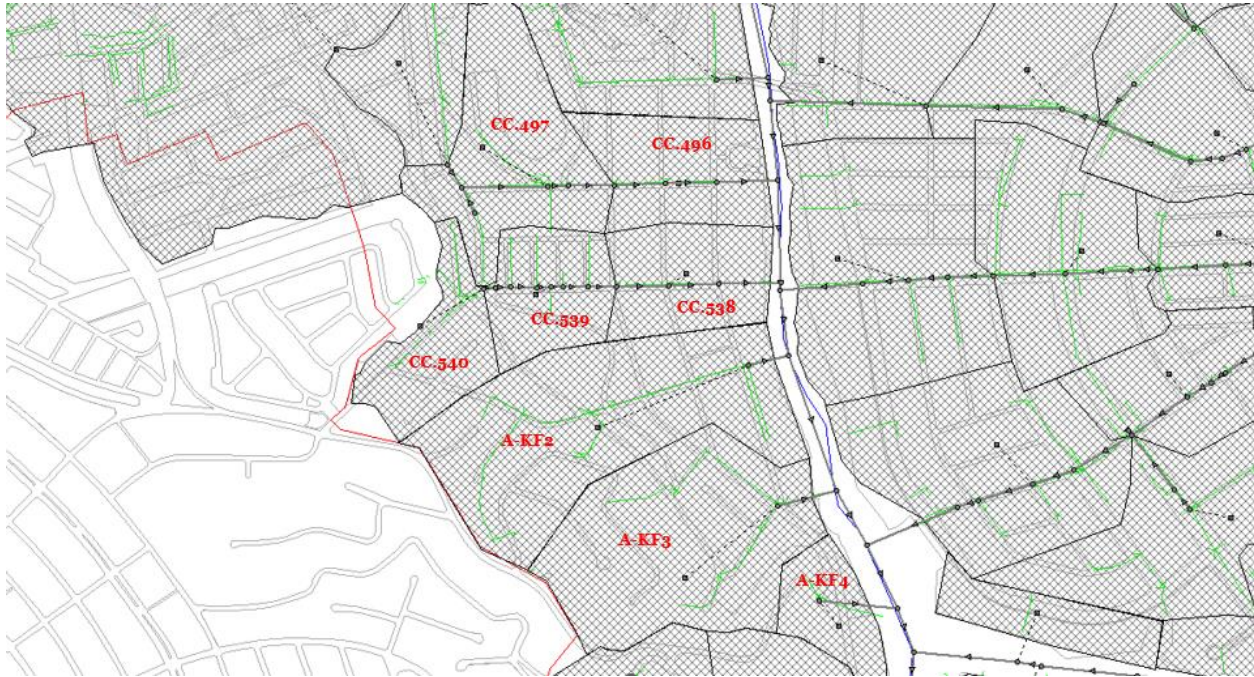


Ilustración A1. Categorización de las subcuencas del sector Urdesa Norte respecto de las subcuencas colindantes al ramal A del Estero Salado en el software SWMM; incluye el diagrama de nodos y tuberías de conducción (Bernal, 2022).

#### Anexo 4. Valores críticos de nodos obtenidos en SWMM.

Se ingresó al software las soluciones de desarrollo de bajo impacto para cada subcuenca con su respectivo porcentaje de permeabilización. Se desarrollo una propuesta de infraestructura verde compuesta de adoquinado como pavimento permeable, celdas de bioretención y jardines de lluvia permeables y al correr el modelo en el software se obtuvieron los siguientes valores de parámetros como permanencia de tiempo del evento pluvial junto con la hora de flujo máximo, el caudal máximo, el volúmen saliente y el máximo nivel de inundación para los nodos críticos.



Estado Actual						
prueba						
Node Flooding						
Nombre de Nudo #	Permanencia de flujo horas	Caudal Máximo m <sup>3</sup> /s	Hora del flujo máximo hh:mm	Volúmen Saliente Ltrs x10 <sup>6</sup>	Volúmen Saliente m <sup>3</sup>	Máx. nivel inundación m
N1116	2,35	0,90	0,06	1,19	1.192,00	0,40
N1119	0,01	0,07	0,09	0,00	0,00	0,00
N1120	0,01	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00
N1121	2,43	0,89	0,05	1,41	1.411,00	0,49
N1122	0,01	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00
N1123	2,45	0,70	0,06	1,71	1.706,00	0,60
N1124	2,16	0,63	0,14	1,09	1.085,00	0,37
N1125	0,68	0,16	0,11	0,14	143,00	0,01
N1139	2,08	1,50	0,06	1,42	1.421,00	0,36
N1140	2,38	1,68	0,05	1,87	1.867,00	0,66
N1141	0,57	0,39	0,12	0,02	16,00	0,01
N1142	1,10	0,59	0,14	0,17	173,00	0,06
N1143	1,49	0,45	0,13	0,87	873,00	0,05
N115	0,01	0,23	0,13	0,00	0,00	0,00
N1154	1,66	0,44	0,06	0,96	959,00	0,17
N1155	0,01	0,07	0,11	0,00	0,00	0,00
N1156	0,01	0,31	0,12	0,00	0,00	0,00
N1157	0,01	0,74	0,12	0,00	1,00	0,00
N1170	2,16	0,64	0,14	0,76	764,00	0,25
N1171	2,56	0,59	0,05	0,82	824,00	0,40
N1172	2,55	0,55	0,14	0,99	986,00	0,35
N1173	2,50	0,33	0,05	0,91	908,00	0,32
N1174	1,41	1,43	0,12	0,51	506,00	0,03
N1176	3,24	0,48	0,06	2,75	2.745,00	0,14
N1177	3,34	0,15	0,17	0,91	911,00	0,02
N1185	0,01	0,29	0,13	0,00	0,00	0,00
N1186	1,92	0,19	0,06	0,40	403,00	0,14
N1193	0,19	0,25	0,08	0,01	8,00	0,00
N1194	0,03	0,23	0,08	0,00	1,00	0,00
N1206	0,01	0,09	0,13	0,00	2,00	0,00
N1218	0,96	0,76	0,14	0,04	43,00	0,01
N1219	2,44	1,05	0,06	2,75	2.745,00	0,17
N1295	1,40	0,45	0,11	0,89	892,00	0,05
N1321	0,01	0,77	0,03	0,00	1,00	0,00

N1364	0,08	0,17	0,08	0,01	11,00	0,00
N1365	0,66	0,62	0,06	0,38	375,00	0,02
N1366	0,32	0,56	0,08	0,03	32,00	0,01
N1367	0,02	0,11	0,08	0,01	8,00	0,00
N1391	0,01	0,32	0,14	0,00	1,00	0,00
N1392	0,01	0,31	0,15	0,00	0,00	0,00
N1393	0,01	0,22	0,14	0,00	0,00	0,00
N1546	0,01	0,04	0,08	0,00	1,00	0,00
N1547	0,01	0,33	0,08	0,00	0,00	0,00
N1564	0,01	0,07	0,14	0,00	1,00	0,00
N1565	0,01	0,49	0,14	0,00	0,00	0,00
N1566	0,01	0,17	0,13	0,00	1,00	0,00
N1567	0,01	0,10	0,14	0,00	1,00	0,00
N1697	0,01	0,89	0,11	0,00	1,00	0,00
N1698	1,63	0,80	0,06	0,95	953,00	0,34
N1699	0,07	0,41	0,05	0,02	19,00	0,00
N1700	0,33	0,19	0,06	0,06	59,00	0,00
N1701	0,13	0,28	0,05	0,01	11,00	0,00
N1712	1,66	0,33	0,15	0,52	520,00	0,03
N1713	2,17	0,21	0,03	0,37	367,00	0,00
N1717	3,38	0,27	0,20	0,48	475,00	0,16
N1718	3,91	0,27	0,04	0,59	590,00	0,20
N1719	4,41	3,25	0,06	0,97	970,00	0,25
N1720	4,94	0,27	0,06	8,18	8.176,00	0,54
N1721	3,13	0,72	0,09	1,01	1.010,00	0,10
N1724	3,00	0,27	0,06	2,17	2.171,00	0,14
N1728	0,08	0,43	0,06	0,02	18,00	0,00
N1729	0,13	0,18	0,08	0,02	24,00	0,00
N1746	0,01	0,17	0,19	0,00	1,00	0,00
N1747	2,24	0,46	0,15	0,36	363,00	0,13
N1766	4,33	0,65	0,06	0,95	950,00	0,36
N1810	2,07	0,09	0,06	1,10	1.099,00	0,39
N1811	0,65	0,22	0,10	0,05	46,00	0,00
N1814	0,08	0,25	0,10	0,01	8,00	0,00
N1815	1,13	0,09	0,11	0,26	261,00	0,02
N1818	0,01	0,24	0,06	0,00	1,00	0,00
N1823	0,06	0,73	0,08	0,01	8,00	0,00
N1828	2,17	0,20	0,06	1,44	1.443,00	0,51
N1829	4,39	1,74	0,04	1,41	1.410,00	0,49
N1830	5,02	0,02	0,06	4,73	4.728,00	0,12
N1834	0,02	0,31	0,07	0,00	1,00	0,00
N1850	2,73	0,16	0,06	0,78	778,00	0,35
N1858	2,77	0,20	0,05	0,64	635,00	0,22

N19	0,01	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00
N1926	0,01	1,18	0,11	0,00	0,00	0,00
N1956	0,01	0,22	0,03	0,00	0,00	0,00
N1957	2,24	0,12	0,06	1,98	1.983,00	0,34
N1958	0,11	0,36	0,05	0,01	9,00	0,00
N1967	3,72	0,03	0,10	0,68	679,00	0,24
N1968	2,63	0,18	0,07	1,06	1.057,00	0,37
N1971	1,92	0,37	0,13	0,10	102,00	0,04
N1973	0,12	0,35	0,08	0,01	12,00	0,00
N1978	1,67	0,33	0,04	0,40	401,00	0,00
N1979	4,11	28,36	0,06	0,75	748,00	0,09
N1980	4,82	0,53	0,04	1,48	1.484,00	0,51
N1989	0,04	0,06	0,05	0,45	449,00	0,00
N20	0,01	0,42	0,05	0,00	1,00	0,00
N2041	0,01	0,10	0,19	0,00	0,00	0,00
N2215	1,79	1,84	0,13	0,53	527,00	0,18
N2228	0,03	1,62	0,09	0,00	2,00	0,00
N2230	0,72	2,42	0,06	0,62	616,00	0,13
N2335	2,29	0,12	0,06	2,72	2.723,00	0,18
N2338	2,48	0,63	0,07	2,96	2.962,00	0,19
N2358	1,18	2,49	0,09	0,19	187,00	0,06
N2362	3,96	0,53	0,07	2,42	2.419,00	0,13
N2363	4,06	0,34	0,06	5,16	5.158,00	0,30
N2364	2,91	0,27	0,05	0,84	837,00	0,00
N2366	1,23	0,67	0,11	0,31	310,00	0,00
N2367	0,10	5,25	0,07	0,02	16,00	0,00
N2377	3,65	2,23	0,09	3,52	3.522,00	0,14
N2378	0,01	0,84	0,17	0,01	5,00	0,00
N2379	3,73	1,38	0,06	5,41	5.414,00	0,21
N2431	4,41	0,01	0,08	3,22	3.215,00	0,32
N2432	0,01	0,20	0,05	0,01	5,00	0,00
N2435	2,19	0,05	0,11	0,30	300,00	0,00
N2436	0,47	0,05	0,09	0,02	16,00	0,00
N2442	0,60	0,01	0,06	0,02	23,00	0,00
N2449	1,14	2,63	0,07	0,07	66,00	0,00
N2457	0,01	0,11	0,17	0,00	0,00	0,00
N2466	0,04	0,59	0,05	0,00	3,00	0,00
N2517	3,43	0,91	0,06	1,57	1.572,00	0,56
N2518	3,33	0,36	0,05	1,74	1.744,00	0,62
N2519	1,10	0,12	0,06	0,30	296,00	0,15
N2546	11,64	1,74	0,07	1,24	1.240,00	0,27
N2547	11,67	0,09	0,06	6,06	6.061,00	0,60
N2548	0,32	0,90	0,07	0,01	12,00	0,00

N2549	0,23	12,59	0,05	0,07	71,00	0,00
N292	0,07	2,35	0,17	0,21	207,00	0,10
N293	0,97	0,54	0,17	0,18	178,00	0,01
N3202	1,70	0,68	0,12	0,53	530,00	0,17
N3241	0,01	0,33	0,08	0,00	4,00	0,00
N3255	0,18	0,37	0,08	0,53	528,00	0,01
N3256	0,01	6,31	0,08	0,02	16,00	0,00
N3257	0,01	9,50	0,08	0,02	15,00	0,00
N3259	0,01	4,83	0,10	0,01	13,00	0,00
N3383	0,01	4,57	0,17	0,02	23,00	0,00
N3384	2,68	13,18	0,06	3,64	3.635,00	0,23
N3386	2,89	3,58	0,05	5,63	5.633,00	0,36
N3390	2,36	7,36	0,06	3,57	3.571,00	0,23
N3391	0,63	2,09	0,13	0,35	352,00	0,02
N3392	1,70	2,40	0,13	3,23	3.229,00	0,21
N3393	1,96	2,39	0,06	5,78	5.784,00	0,38
N3395	1,22	4,76	0,06	1,55	1.552,00	0,10
N3397	0,01	0,54	0,05	0,00	0,00	0,00
N3423	0,49	1,77	0,09	0,04	35,00	0,01
N3424	0,74	0,32	0,09	0,09	85,00	0,03
N3437	1,51	0,05	0,07	0,87	867,00	0,42
N3438	1,54	0,12	0,06	1,36	1.363,00	0,47
N3439	2,24	0,47	0,05	4,28	4.280,00	1,46
N3440	1,82	0,93	0,06	1,59	1.585,00	0,76
N3441	1,81	3,71	0,06	1,45	1.452,00	0,71
N3442	0,01	1,19	0,09	0,00	0,00	0,00
N3443	0,01	1,20	0,09	0,00	0,00	0,00
N3546	1,22	0,05	0,06	0,63	631,00	0,19
N3784	0,03	0,11	0,06	0,18	176,00	0,01
N3785	0,63	1,16	0,17	2,00	2.002,00	0,01
N3786	0,02	4,52	0,17	0,09	85,00	0,00
N3789	0,01	6,80	0,17	0,00	1,00	0,00
N3790	2,91	4,80	0,05	8,75	8.745,00	0,33
N3791	1,99	0,66	0,06	3,44	3.440,00	0,12
N3792	0,01	7,04	0,05	0,00	1,00	0,00
N3793	0,01	2,03	0,17	0,00	2,00	0,00
N3794	0,01	1,03	0,17	0,00	2,00	0,00
N3797	0,80	0,87	0,17	0,53	525,00	0,02
N3798	1,69	1,01	0,07	2,42	2.418,00	0,09
N3799	2,55	1,73	0,17	5,67	5.670,00	0,22
N3800	0,01	3,20	0,17	0,00	4,00	0,00
N3801	0,01	2,89	0,17	0,00	1,00	0,00
N3802	0,01	2,69	0,17	0,00	1,00	0,00

N3803	0,01	2,17	0,17	0,00	2,00	0,00
N3805	0,01	2,31	0,17	0,00	1,00	0,00
N3806	0,01	2,67	0,17	0,00	2,00	0,00
N3816	0,01	1,90	0,04	0,00	1,00	0,00
N3817	0,01	1,45	0,04	0,00	1,00	0,00
N3830	0,28	1,04	0,09	0,04	43,00	0,00
N3831	0,57	0,24	0,06	0,09	93,00	0,02
N3833	0,22	0,64	0,07	0,02	16,00	0,00
N3835	0,92	0,19	0,06	0,28	275,00	0,08
N3838	0,87	0,06	0,06	0,58	576,00	0,05
N4133	0,01	0,69	0,05	0,01	5,00	0,00
N4167	2,95	1,01	0,04	0,42	416,00	0,03
N4168	11,64	10,38	0,01	0,56	562,00	0,28
N434	0,11	0,06	0,09	0,01	9,00	0,00
N435	0,93	0,06	0,09	0,27	266,00	0,09
N436	0,02	0,24	0,13	0,01	5,00	0,00
N486	0,01	0,57	0,14	0,00	0,00	0,00
N487	0,01	0,55	0,14	0,00	0,00	0,00
N488	0,01	0,49	0,14	0,00	0,00	0,00
N491	0,01	0,22	0,14	0,00	0,00	0,00
N492	0,01	0,05	0,14	0,00	0,00	0,00
N6	0,49	0,15	0,09	1,05	1.048,00	0,02
N637	0,48	0,20	0,12	0,11	109,00	0,00
N638	1,51	0,36	0,14	0,39	386,00	0,05
N642	0,05	7,63	0,06	0,01	10,00	0,00
N643	0,01	0,49	0,06	0,00	0,00	0,00
N647	0,01	0,57	0,05	0,00	1,00	0,00
N669	1,83	0,35	0,13	0,58	579,00	0,20
N670	1,99	0,13	0,13	1,19	1.188,00	0,42
N671	2,12	0,37	0,06	1,34	1.344,00	0,67
N690	4,58	0,55	0,22	0,53	534,00	0,17
N691	4,53	0,59	0,06	2,03	2.031,00	0,12
N692	4,58	0,89	0,05	0,57	573,00	0,20
N704	1,13	0,26	0,06	0,45	448,00	0,04
N714	0,44	0,54	0,14	0,02	24,00	0,01
N715	0,52	0,25	0,11	0,02	23,00	0,01
N815	1,83	0,55	0,02	0,40	398,00	0,13
N816	1,98	0,92	0,06	4,11	4.111,00	0,26
S1018	0,01	0,25	0,12	0,00	0,00	0,00
S1020	1,24	0,05	0,06	0,39	394,00	0,13
S1021	2,88	0,82	0,18	1,42	1.419,00	0,12
S1022	3,85	2,49	0,06	6,33	6.334,00	0,54
S1023	3,70	0,06	0,05	4,43	4.432,00	0,38

S1024	0,01	0,52	0,00	0,00	2,00	0,00
S1025	0,01	0,46	0,00	0,01	5,00	0,00
S1026	0,01	2,71	0,09	0,00	1,00	0,00
S1027	0,01	1,84	0,00	0,00	1,00	0,00
S1028	0,01	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00
S1029	0,01	1,12	0,00	0,00	2,00	0,00
S1030	0,01	0,12	0,00	0,00	2,00	0,00
S1031	0,01	0,58	0,00	0,00	2,00	0,00
S1035	0,01	0,22	0,11	0,00	0,00	0,00
S1036	0,01	0,44	0,00	0,00	4,00	0,00
S1040	11,56	1,57	0,05	2,91	2.910,00	0,31
S1041	2,74	0,43	0,05	0,82	817,00	0,26
S1042	2,78	0,08	0,05	0,84	838,00	0,40
S1044	0,64	1,31	0,06	0,08	81,00	0,04
S1046	3,92	0,93	0,04	0,92	923,00	0,27
S1047	11,09	0,57	0,05	0,23	225,00	0,02
S1048	11,47	0,56	0,04	0,32	316,00	0,03
S1080	0,01	0,14	0,00	0,02	15,00	0,00
S1081	0,02	0,50	0,00	0,01	9,00	0,00
S1103	0,17	0,08	0,07	0,01	8,00	0,00
S111	0,01	0,09	0,00	0,04	37,00	0,01
S112	0,07	2,19	0,12	0,05	50,00	0,00
S113	0,08	1,18	0,14	0,09	91,00	0,00
S114	0,01	0,12	0,16	0,00	1,00	0,00
S116	0,04	7,01	0,13	0,01	12,00	0,00
S1167	5,98	2,07	0,06	1,73	1.725,00	0,52
S1168	6,17	2,21	0,06	7,60	7.604,00	0,48
S1169	6,62	0,43	0,06	1,50	1.497,00	0,51
S117	0,02	0,49	0,16	0,01	7,00	0,00
S118	0,02	1,08	0,11	0,01	10,00	0,00
S1182	3,02	2,54	0,05	1,15	1.146,00	0,41
S1183	2,98	0,46	0,06	0,92	924,00	0,32
S1184	2,93	0,64	0,15	0,62	621,00	0,21
S119	0,01	0,68	0,11	0,00	1,00	0,00
S120	0,01	0,63	0,00	0,01	12,00	0,00
S121	3,38	0,66	0,00	2,75	2.753,00	0,87
S122	0,01	0,79	0,00	0,03	26,00	0,00
S123	0,02	0,83	0,00	0,04	37,00	0,01
S1234	0,06	4,00	0,03	0,04	38,00	0,00
S124	1,34	3,14	0,00	0,62	616,00	0,08
S125	0,01	4,78	0,00	0,07	67,00	0,02
S126	1,47	7,02	0,00	1,11	1.114,00	0,09
S1261	0,04	0,90	0,06	0,00	2,00	0,00

S127	0,01	2,61	0,00	0,01	11,00	0,00
S128	0,01	7,81	0,00	0,03	27,00	0,01
S1281	2,98	3,99	0,06	2,24	2.244,00	0,18
S1284	0,01	0,39	0,03	0,01	13,00	0,00
S1285	1,16	7,09	0,05	0,83	833,00	0,22
S1286	0,02	6,59	0,00	0,04	35,00	0,00
S1287	0,02	1,21	0,00	0,01	10,00	0,00
S129	0,01	1,11	0,00	0,02	21,00	0,01
S130	0,01	1,29	0,00	0,02	16,00	0,00
S131	0,01	3,36	0,00	0,00	4,00	0,00
S132	0,01	1,33	0,00	0,00	4,00	0,00
S133	0,01	5,52	0,00	0,00	4,00	0,00
S134	0,01	3,39	0,00	0,04	36,00	0,01
S1353	0,01	2,53	0,02	0,00	0,00	0,00
S1354	0,01	3,56	0,02	0,00	0,00	0,00
S1355	0,01	1,71	0,02	0,00	4,00	0,00
S1356	0,01	6,14	0,02	0,00	1,00	0,00
S1357	0,01	0,19	0,02	0,00	3,00	0,00
S1358	0,01	2,34	0,00	0,02	18,00	0,00
S136	0,83	4,24	0,14	0,94	940,00	0,01
S138	0,88	3,21	0,13	0,71	709,00	0,01
S1396	2,34	1,20	0,14	1,26	1.259,00	0,01
S1464	0,11	1,38	0,00	0,06	57,00	0,00
S1465	0,03	0,77	0,11	0,01	13,00	0,00
S1472	0,01	2,37	0,49	0,02	18,00	0,00
S1473	0,01	2,52	0,00	0,01	13,00	0,00
S1474	0,03	5,73	0,00	0,12	118,00	0,00
S1477	0,09	1,22	0,00	0,04	38,00	0,00
S1478	0,03	0,92	0,00	0,01	9,00	0,00
S1479	0,02	2,78	0,00	0,02	24,00	0,00
S1531	2,95	1,13	0,05	3,37	3.373,00	0,21
S1532	2,50	0,70	0,00	0,66	664,00	0,23
S1533	2,70	1,31	0,06	2,31	2.308,00	0,14
S1534	2,82	1,07	0,06	2,82	2.817,00	0,18
S1571	2,79	1,43	0,15	1,24	1.237,00	0,11
S1674	0,01	1,28	0,00	0,01	6,00	0,00
S1714	1,70	1,18	0,06	1,77	1.773,00	0,50
S1715	0,11	0,22	0,06	0,01	9,00	0,00
S1722	0,09	0,22	0,15	0,02	15,00	0,00
S1723	0,10	0,14	0,15	0,01	11,00	0,00
S1750	0,25	0,38	0,14	0,05	54,00	0,00
S1763	2,04	0,28	0,06	0,56	563,00	0,02
S1793	3,15	0,25	0,02	0,43	434,00	0,14

S1794	3,10	0,23	0,15	0,50	499,00	0,17
S1795	1,82	0,27	0,06	0,60	600,00	0,21
S1796	0,01	0,25	0,00	0,00	2,00	0,00
S1797	0,01	0,26	0,00	0,01	5,00	0,00
S1798	0,01	0,44	0,09	0,00	0,00	0,00
S1800	0,19	0,53	0,16	0,03	27,00	0,00
S1801	11,46	0,07	0,02	0,82	822,00	0,08
S185	0,01	0,23	0,00	0,02	15,00	0,00
S1857	0,01	0,09	0,10	0,00	0,00	0,00
S1859	4,86	3,63	0,04	0,99	985,00	0,19
S186	2,98	0,15	0,00	2,03	2.026,00	0,43
S1860	5,31	0,32	0,06	2,55	2.545,00	0,16
S1896	0,01	6,61	0,00	0,00	0,00	0,00
S1897	1,56	0,64	0,06	0,33	330,00	0,17
S1898	1,37	0,21	0,06	0,40	399,00	0,20
S1899	0,22	0,15	0,09	0,00	2,00	0,00
S1900	1,04	0,38	0,06	0,20	202,00	0,05
S1901	0,01	0,07	0,09	0,00	0,00	0,00
S1902	0,01	0,24	0,11	0,00	0,00	0,00
S1903	4,35	0,02	0,06	1,07	1.066,00	0,38
S1904	4,50	0,07	0,24	0,70	697,00	0,19
S1905	9,06	0,20	0,04	3,63	3.634,00	0,23
S1906	5,75	0,16	0,10	2,71	2.707,00	0,17
S1907	3,93	0,48	0,06	1,67	1.672,00	0,10
S1908	0,42	0,23	0,06	0,03	33,00	0,02
S1911	1,17	0,34	0,11	0,04	36,00	0,00
S1982	0,01	0,08	0,05	0,00	0,00	0,00
S1983	0,01	0,04	0,05	0,00	1,00	0,00
S2042	1,74	0,06	0,06	0,40	401,00	0,01
S2079	1,23	0,33	0,16	0,08	83,00	0,02
S2111	1,92	0,27	0,12	0,52	519,00	0,24
S2117	2,05	0,13	0,06	2,04	2.035,00	1,03
S2131	0,01	0,44	0,11	0,00	2,00	0,00
S2132	1,46	1,18	0,11	0,52	516,00	0,03
S2133	0,01	0,30	0,11	0,00	1,00	0,00
S2134	0,13	0,39	0,12	0,01	13,00	0,00
S2177	6,56	0,50	0,06	5,09	5.090,00	0,51
S2178	4,07	0,22	0,01	0,44	440,00	0,15
S2179	1,38	1,79	0,01	0,02	23,00	0,00
S2180	0,07	0,16	0,01	0,00	4,00	0,00
S2196	2,21	0,17	0,06	0,71	708,00	0,25
S2217	0,01	0,18	0,11	0,00	0,00	0,00
S2218	0,01	0,50	0,05	0,00	0,00	0,00



S2220	0,01	0,14	0,00	0,01	8,00	0,00
S2229	0,01	0,04	0,05	0,00	2,00	0,00
S2255	2,46	1,10	0,00	0,29	287,00	0,10
S2256	2,34	1,54	0,06	1,28	1.277,00	0,08
S2257	2,60	0,63	0,05	0,44	438,00	0,16
S2292	0,01	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
S2293	0,01	0,32	0,00	0,00	1,00	0,00
S2294	0,05	0,22	0,00	0,02	23,00	0,01
S2295	11,45	0,27	0,10	14,13	14.132,00	0,35
S2296	0,01	1,05	0,00	0,00	2,00	0,00
S2297	0,01	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00
S2305	0,01	0,69	0,00	0,01	5,00	0,00
S2306	2,13	0,21	0,00	1,29	1.288,00	0,65
S2383	0,50	0,74	0,06	0,13	127,00	0,06
S2384	0,01	0,93	0,05	0,00	0,00	0,00
S2387	0,02	0,24	0,00	0,02	23,00	0,01
S2397	2,17	0,07	0,00	0,28	284,00	0,09
S2398	2,45	1,81	0,00	0,34	339,00	0,12
S2405	3,50	0,25	0,06	1,38	1.376,00	0,31
S2417	0,01	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00
S2419	0,07	0,75	0,12	0,02	24,00	0,00
S2420	1,48	0,07	0,06	0,75	750,00	0,05
S2473	0,58	0,75	0,06	0,11	114,00	0,04
S2497	4,47	0,55	0,06	3,71	3.709,00	0,23
S2505	1,16	0,18	0,06	0,10	100,00	0,03
S2507	0,56	1,29	0,09	0,08	84,00	0,04
S2508	1,94	0,06	0,06	0,27	271,00	0,09
S2509	4,72	0,59	0,07	0,90	895,00	0,32
S2567	2,45	0,11	0,06	0,75	749,00	0,05
S2569	3,57	0,13	0,06	1,21	1.206,00	0,43
S2572	6,23	0,42	0,06	3,17	3.172,00	0,33
S2574	0,12	0,52	0,06	0,02	20,00	0,00
S2645	1,53	1,16	0,00	0,11	112,00	0,00
S2651	3,03	0,16	0,09	0,72	715,00	0,04
S2655	3,56	0,23	0,03	0,28	275,00	0,08
S2657	3,97	0,15	0,03	0,22	222,00	0,04
S2658	4,25	0,16	0,12	0,56	561,00	0,03
S2669	0,11	0,07	0,00	0,01	11,00	0,00
S2671	0,01	0,15	0,00	0,00	2,00	0,00
S286	3,32	0,15	0,06	4,38	4.378,00	0,19
S287	0,02	0,22	0,18	0,01	6,00	0,00
S3272	0,01	1,23	0,13	0,00	1,00	0,00
S3293	0,09	2,09	0,11	0,03	32,00	0,00

S3294	2,13	0,35	0,07	0,97	968,00	0,06
S3295	2,36	0,71	0,04	2,81	2.805,00	0,18
S3296	2,09	0,65	0,06	3,38	3.382,00	0,22
S3297	1,68	0,60	0,05	3,64	3.641,00	0,24
S3301	0,01	0,92	0,04	0,00	0,00	0,00
S3302	0,06	1,12	0,06	0,00	1,00	0,00
S3305	0,94	2,43	0,05	0,28	279,00	0,03
S3308	0,66	0,78	0,06	0,22	222,00	0,02
S3313	0,01	0,03	0,06	0,00	3,00	0,00
S38	0,01	0,23	0,00	0,01	12,00	0,00
S39	1,25	0,37	0,00	1,25	1.250,00	0,00
S40	0,01	0,45	0,00	0,02	15,00	0,00
S41	0,01	1,06	0,00	0,01	7,00	0,00
S4122	0,04	0,75	0,06	0,04	44,00	0,00
S4123	0,08	1,11	0,07	0,08	75,00	0,00
S4124	0,22	0,67	0,07	0,18	180,00	0,00
S4125	0,35	1,35	0,06	0,30	295,00	0,02
S4126	0,29	1,71	0,06	0,13	134,00	0,01
S4186	0,01	2,49	0,00	0,09	93,00	0,02
S4187	0,01	1,69	0,00	0,04	44,00	0,01
S4188	0,01	1,40	0,00	0,02	21,00	0,00
S4189	2,21	11,15	0,00	7,24	7.243,00	0,22
S4190	0,02	7,56	0,01	0,03	26,00	0,00
S4191	0,01	3,28	0,00	0,01	6,00	0,00
S4192	0,01	3,49	0,00	0,02	17,00	0,00
S4193	0,01	2,06	0,00	0,04	43,00	0,01
S4194	0,01	1,60	0,00	0,01	11,00	0,00
S43	0,56	3,14	0,00	0,38	375,00	0,00
S44	2,31	4,52	0,00	0,80	804,00	0,68
S45	0,01	4,00	0,11	0,00	0,00	0,00
S458	1,92	1,12	0,00	0,28	280,00	0,14
S493	0,07	0,77	0,04	0,01	11,00	0,00
S494	0,01	0,14	0,04	0,00	1,00	0,00
S495	2,80	1,77	0,16	3,48	3.483,00	0,10
S512	0,01	0,70	0,00	0,00	1,00	0,00
S513	1,88	0,41	0,07	1,75	1.746,00	0,00
S514	2,30	1,11	0,05	1,47	1.469,00	0,05
S515	2,18	1,34	0,13	1,12	1.120,00	0,04
S516	1,01	1,01	0,13	0,31	312,00	0,00
S517	1,85	1,35	0,11	1,30	1.303,00	0,00
S518	0,02	1,15	0,00	0,02	15,00	0,00
S519	0,01	0,99	0,00	0,03	34,00	0,00
S524	0,01	1,00	0,00	0,02	20,00	0,00

S525	0,01	3,66	0,00	0,02	23,00	0,00
S526	1,84	5,84	0,00	1,58	1.582,00	0,10
S527	0,01	2,65	0,02	0,00	4,00	0,00
S528	4,86	2,98	0,02	1,55	1.550,00	0,15
S529	0,66	1,74	0,08	0,49	488,00	0,00
S530	0,95	0,53	0,11	0,49	492,00	0,00
S531	0,19	0,78	0,14	0,15	149,00	0,00
S532	0,62	1,33	0,14	0,23	228,00	0,00
S533	1,19	2,31	0,14	0,75	751,00	0,01
S534	1,10	1,37	0,13	0,61	610,00	0,01
S557	0,01	1,53	0,00	0,00	4,00	0,00
S558	0,01	1,49	0,00	0,00	4,00	0,00
S559	1,79	1,73	0,00	1,51	1.505,00	0,10
S560	1,45	1,37	0,13	0,16	161,00	0,04
S561	0,02	2,22	0,05	0,01	7,00	0,00
S562	2,18	0,39	0,05	0,97	968,00	0,05
S565	0,23	1,02	0,00	0,01	14,00	0,00
S698	11,46	1,06	0,06	6,24	6.242,00	0,62
S822	1,93	0,85	0,16	1,09	1.088,00	0,00
S823	2,61	1,50	0,05	1,31	1.312,00	0,21
S863	2,76	1,20	0,00	0,88	879,00	0,04
S864	3,00	0,75	0,00	1,23	1.230,00	0,34
S866	0,03	1,34	0,00	0,04	41,00	0,00
S867	2,09	1,24	0,00	0,35	345,00	0,02
S894	0,01	2,90	0,00	0,01	8,00	0,00
S940	0,01	1,76	0,06	0,00	0,00	0,00
S941	0,01	2,06	0,06	0,00	0,00	0,00
S943	2,27	0,20	0,00	0,43	431,00	0,09
S944	2,72	0,57	0,05	0,79	793,00	0,28
S957	2,35	0,30	0,00	0,60	599,00	0,14
S966	1,43	0,87	0,11	0,20	196,00	0,05
S967	0,01	0,56	0,11	0,00	1,00	0,00
S968	3,99	1,83	0,06	4,90	4.901,00	0,30
S969	3,88	0,21	0,00	0,92	917,00	0,40
S976	2,48	0,09	0,00	0,65	647,00	0,00
S977	2,64	1,31	0,00	0,59	586,00	0,04

Tabla A22. Datos críticos de nodos en todo el sistema de drenaje de las subcuencas de la ciudadela Urdesa Norte, en su estado actual. (Bernal, 2022)

Con Infraestructura Verde						
prueba Node Flooding						
Nombre de Nudo #	Permanencia de flujo horas	Caudal Máximo m <sup>3</sup> /s	Hora del flujo máximo hh:mm	Volúmen Saliente Ltrs x10 <sup>6</sup>	Volúmen Saliente m <sup>3</sup>	Máx. nivel inundación m
N1116	2,38	0,90	0,14	1,21	1,21	0,40
N1119	0,01	0,07	0,09	0,00	0,00	0,00
N1120	0,01	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00
N1121	2,35	0,89	0,05	1,40	1,40	0,49
N1122	0,01	0,11	0,12	0,00	0,00	0,00
N1123	2,44	0,70	0,05	1,70	1,70	0,60
N1124	2,20	0,63	0,14	1,11	1,11	0,37
N1125	0,64	0,16	0,09	0,12	0,12	0,01
N1139	2,07	1,50	0,06	1,40	1,40	0,35
N1140	2,36	1,68	0,05	1,86	1,86	0,66
N1141	0,49	0,39	0,12	0,01	0,01	0,00
N1142	1,11	0,59	0,13	0,17	0,17	0,06
N1143	1,50	0,45	0,13	0,85	0,85	0,05
N115	0,01	0,23	0,14	0,00	0,00	0,00
N1154	1,63	0,44	0,06	0,92	0,92	0,17
N1156	0,01	0,07	0,12	0,00	0,00	0,00
N1157	0,01	0,31	0,12	0,00	0,00	0,00
N1170	2,44	0,74	0,14	0,84	0,84	0,25
N1171	2,56	0,64	0,05	0,83	0,83	0,40
N1172	2,55	0,59	0,05	1,00	1,00	0,35
N1173	2,55	0,55	0,05	0,91	0,91	0,32
N1174	1,42	0,33	0,12	0,50	0,50	0,03
N1176	3,10	1,43	0,06	2,62	2,62	0,13
N1177	3,19	0,48	0,03	0,80	0,80	0,02
N1185	0,01	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
N1186	2,18	0,29	0,06	0,44	0,44	0,14
N1192	0,01	0,19	0,13	0,00	0,00	0,00
N1193	0,33	0,25	0,13	0,02	0,02	0,00
N1194	0,07	0,23	0,13	0,00	0,00	0,00
N1218	0,90	0,09	0,12	0,04	0,04	0,01
N1219	2,39	0,76	0,06	2,70	2,70	0,17
N1295	1,32	1,05	0,11	0,87	0,87	0,05
N1321	0,01	0,45	0,03	0,00	0,00	0,00
N1339	0,01	0,77	0,02	0,00	0,00	0,00

N1364	0,17	0,17	0,04	0,01	0,01	0,00
N1365	0,72	0,62	0,06	0,37	0,37	0,02
N1366	0,35	0,56	0,08	0,04	0,04	0,01
N1367	0,01	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00
N1391	0,01	0,32	0,14	0,00	0,00	0,00
N1392	0,01	0,31	0,13	0,00	0,00	0,00
N1393	0,01	0,22	0,14	0,00	0,00	0,00
N1546	0,01	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00
N1564	0,01	0,33	0,13	0,00	0,00	0,00
N1565	0,01	0,07	0,13	0,00	0,00	0,00
N1566	0,01	0,49	0,13	0,00	0,00	0,00
N1567	0,02	0,17	0,13	0,01	0,01	0,00
N1697	0,01	0,10	0,11	0,00	0,00	0,00
N1698	1,61	0,89	0,06	0,95	0,95	0,34
N1699	0,08	0,80	0,05	0,02	0,02	0,00
N1700	0,37	0,41	0,06	0,07	0,07	0,00
N1701	0,14	0,19	0,05	0,01	0,01	0,00
N1712	1,59	0,28	0,15	0,49	0,49	0,03
N1713	0,83	0,33	0,20	0,14	0,14	0,00
N1717	3,55	0,21	0,21	0,49	0,49	0,16
N1718	4,24	0,27	0,04	0,62	0,62	0,20
N1719	4,47	0,27	0,22	0,98	0,98	0,25
N1720	4,93	3,25	0,06	8,17	8,17	0,54
N1721	3,12	0,27	0,08	1,00	1,00	0,10
N1724	3,12	0,72	0,06	2,13	2,13	0,13
N1728	0,03	0,27	0,07	0,01	0,01	0,00
N1729	0,12	0,43	0,09	0,02	0,02	0,00
N1746	0,01	0,18	0,19	0,00	0,00	0,00
N1747	2,18	0,17	0,15	0,35	0,35	0,12
N1766	4,38	0,46	0,06	0,97	0,97	0,36
N1810	2,07	0,65	0,05	1,10	1,10	0,39
N1811	0,67	0,09	0,10	0,05	0,05	0,00
N1814	0,03	0,22	0,10	0,00	0,00	0,00
N1815	1,04	0,25	0,10	0,24	0,24	0,02
N1818	0,01	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00
N1823	0,06	0,24	0,09	0,01	0,01	0,00
N1828	2,14	0,73	0,06	1,44	1,44	0,51
N1829	4,13	0,20	0,07	1,32	1,32	0,47
N1830	4,91	1,74	0,06	4,71	4,71	0,12
N1834	0,01	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00
N1850	2,75	0,31	0,06	0,79	0,79	0,35
N1858	2,69	0,16	0,04	0,62	0,62	0,22
N1926	0,01	0,20	0,05	0,00	0,00	0,00

N1956	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
N1957	2,24	1,18	0,06	1,98	1,98	0,34
N1958	0,14	0,22	0,08	0,01	0,01	0,00
N1967	3,73	0,12	0,10	0,68	0,68	0,24
N1968	2,63	0,36	0,07	1,06	1,06	0,37
N1971	1,92	0,03	0,13	0,10	0,10	0,04
N1973	0,11	0,18	0,08	0,01	0,01	0,00
N1978	0,57	0,37	0,21	0,14	0,14	0,00
N1979	2,39	0,35	0,17	0,40	0,40	0,06
N1980	4,56	0,33	0,03	1,36	1,36	0,48
N1989	0,04	28,36	0,05	0,39	0,39	0,00
N20	0,01	0,53	0,05	0,00	0,00	0,00
N2041	0,01	0,06	0,19	0,00	0,00	0,00
N2215	1,76	0,42	0,13	0,52	0,52	0,18
N2228	0,01	0,10	0,09	0,00	0,00	0,00
N2230	0,73	1,84	0,06	0,57	0,57	0,13
N2335	2,32	1,62	0,06	2,81	2,81	0,18
N2338	2,56	2,42	0,06	3,10	3,10	0,20
N2358	1,15	0,12	0,09	0,18	0,18	0,06
N2362	3,91	0,63	0,06	2,37	2,37	0,13
N2363	4,01	2,49	0,06	5,11	5,11	0,30
N2364	1,46	0,53	0,18	0,43	0,43	0,00
N2366	1,23	0,34	0,11	0,31	0,31	0,00
N2367	0,08	0,27	0,07	0,01	0,01	0,00
N2377	3,55	0,67	0,09	3,51	3,51	0,14
N2378	0,01	5,25	0,17	0,01	0,01	0,00
N2379	3,72	2,23	0,06	5,39	5,39	0,21
N2431	4,41	0,84	0,08	3,22	3,22	0,32
N2432	0,01	1,38	0,05	0,01	0,01	0,00
N2435	0,01	0,01	0,16	0,00	0,00	0,00
N2436	0,45	0,20	0,09	0,02	0,02	0,00
N2442	0,59	0,05	0,08	0,02	0,02	0,00
N2443	0,01	0,05	0,17	0,00	0,00	0,00
N2449	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
N2457	0,01	2,63	0,18	0,01	0,01	0,00
N2466	0,01	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00
N2517	3,43	0,59	0,06	1,57	1,57	0,56
N2518	3,35	0,91	0,05	1,74	1,74	0,62
N2519	1,10	0,36	0,06	0,30	0,30	0,15
N2546	11,64	0,12	0,09	1,19	1,19	0,26
N2547	11,67	1,74	0,06	6,06	6,06	0,60
N2548	0,37	0,09	0,06	0,02	0,02	0,00
N2549	0,25	0,90	0,05	0,07	0,07	0,00

N292	0,08	12,59	0,05	0,28	0,28	0,18
N293	1,14	2,35	0,05	0,30	0,30	0,01
N301	0,01	0,54	0,11	0,00	0,00	0,00
N302	0,02	0,68	0,14	0,01	0,01	0,00
N3202	1,69	0,33	0,12	0,53	0,53	0,17
N3241	0,01	0,37	0,07	0,00	0,00	0,00
N3255	0,11	6,31	0,09	0,32	0,32	0,01
N3256	0,01	9,50	0,08	0,03	0,03	0,00
N3257	0,01	4,83	0,08	0,00	0,00	0,00
N3259	0,01	4,57	0,07	0,01	0,01	0,00
N3383	0,01	13,18	0,06	0,03	0,03	0,00
N3384	2,71	3,58	0,06	3,72	3,72	0,23
N3386	2,90	7,36	0,05	5,66	5,66	0,37
N3390	2,38	2,09	0,06	3,67	3,67	0,24
N3391	0,65	2,40	0,13	0,38	0,38	0,02
N3392	1,71	2,39	0,13	3,24	3,24	0,21
N3393	1,96	4,76	0,06	5,80	5,80	0,38
N3394	0,01	0,54	0,13	0,00	0,00	0,00
N3395	1,22	1,77	0,06	1,54	1,54	0,10
N3397	0,01	0,32	0,05	0,00	0,00	0,00
N3423	0,49	0,05	0,09	0,03	0,03	0,01
N3424	0,73	0,12	0,09	0,09	0,09	0,03
N3437	1,51	0,47	0,07	0,87	0,87	0,42
N3438	1,54	0,93	0,06	1,36	1,36	0,47
N3439	2,24	3,71	0,05	4,28	4,28	1,46
N3440	1,82	1,19	0,06	1,58	1,58	0,76
N3441	1,81	1,20	0,06	1,45	1,45	0,71
N3442	0,01	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00
N3443	0,01	0,11	0,09	0,00	0,00	0,00
N3546	1,22	1,16	0,06	0,63	0,63	0,19
N3784	0,03	4,52	0,10	0,11	0,11	0,00
N3785	0,60	6,80	0,17	1,78	1,78	0,01
N3786	0,02	4,80	0,17	0,06	0,06	0,00
N3789	0,01	0,66	0,18	0,00	0,00	0,00
N3790	2,98	7,04	0,05	9,12	9,12	0,33
N3791	2,04	2,03	0,06	3,46	3,46	0,12
N3792	0,01	1,03	0,05	0,00	0,00	0,00
N3793	0,01	0,87	0,05	0,00	0,00	0,00
N3797	0,85	1,01	0,17	0,58	0,58	0,02
N3798	1,73	1,73	0,17	2,45	2,45	0,10
N3799	2,58	3,20	0,06	5,68	5,68	0,22
N3800	0,01	2,89	0,17	0,00	0,00	0,00
N3801	0,01	2,69	0,18	0,00	0,00	0,00

N3802	0,01	2,17	0,18	0,00	0,00	0,00
N3803	0,01	2,31	0,17	0,01	0,01	0,00
N3804	0,01	2,67	0,17	0,00	0,00	0,00
N3805	0,01	1,90	0,17	0,00	0,00	0,00
N3816	0,01	1,45	0,04	0,00	0,00	0,00
N3817	0,01	1,04	0,04	0,00	0,00	0,00
N3830	0,13	0,24	0,09	0,02	0,02	0,00
N3831	0,52	0,64	0,09	0,08	0,08	0,02
N3832	0,01	0,19	0,09	0,00	0,00	0,00
N3833	0,03	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00
N3835	0,88	0,69	0,06	0,26	0,26	0,08
N3838	0,82	1,01	0,06	0,49	0,49	0,04
N4133	0,01	10,38	0,05	0,01	0,01	0,00
N4167	1,49	0,06	0,16	0,09	0,09	0,02
N4168	11,64	0,06	0,01	0,54	0,54	0,27
N434	0,05	0,24	0,09	0,00	0,00	0,00
N435	0,92	0,57	0,09	0,25	0,25	0,09
N436	0,03	0,55	0,13	0,01	0,01	0,00
N486	0,01	0,49	0,14	0,00	0,00	0,00
N487	0,01	0,22	0,13	0,00	0,00	0,00
N488	0,01	0,05	0,13	0,00	0,00	0,00
N490	0,01	0,15	0,14	0,00	0,00	0,00
N491	0,01	0,20	0,14	0,00	0,00	0,00
N492	0,01	0,36	0,14	0,00	0,00	0,00
N6	0,44	7,63	0,08	0,95	0,95	0,02
N637	0,51	0,49	0,14	0,11	0,11	0,00
N638	1,55	0,57	0,14	0,41	0,41	0,05
N642	0,06	0,35	0,06	0,01	0,01	0,00
N643	0,01	0,13	0,06	0,00	0,00	0,00
N647	0,01	0,37	0,05	0,00	0,00	0,00
N669	1,84	0,55	0,13	0,59	0,59	0,20
N670	1,95	0,59	0,13	1,19	1,19	0,42
N671	2,09	0,89	0,06	1,34	1,34	0,67
N690	4,63	0,26	0,03	0,53	0,53	0,17
N691	4,55	0,54	0,06	2,04	2,04	0,12
N692	4,62	0,25	0,05	0,57	0,57	0,20
N704	1,29	0,55	0,06	0,46	0,46	0,04
N71	0,01	0,92	0,02	0,00	0,00	0,00
N714	0,36	0,25	0,14	0,02	0,02	0,00
N715	0,48	0,05	0,12	0,01	0,01	0,00
N815	1,88	0,82	0,13	0,44	0,44	0,13
N816	2,03	2,49	0,06	4,12	4,12	0,26
S1018	0,01	0,06	0,11	0,00	0,00	0,00



S1020	1,26	0,52	0,06	0,40	0,40	0,13
S1021	2,89	0,46	0,18	1,43	1,43	0,12
S1022	3,86	2,71	0,06	6,34	6,34	0,54
S1023	3,72	1,84	0,05	4,44	4,44	0,38
S1024	0,01	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00
S1025	0,01	1,12	0,00	0,01	0,01	0,00
S1026	0,01	0,12	0,10	0,00	0,00	0,00
S1027	0,01	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00
S1028	0,01	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00
S1029	0,01	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00
S1030	0,01	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00
S1031	0,01	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
S1035	0,01	0,08	0,11	0,00	0,00	0,00
S1036	0,01	1,31	0,00	0,00	0,00	0,00
S1040	11,56	0,93	0,05	2,91	2,91	0,31
S1041	2,65	0,57	0,05	0,81	0,81	0,26
S1042	2,73	0,56	0,05	0,83	0,83	0,40
S1044	0,61	0,14	0,06	0,08	0,08	0,04
S1046	3,91	0,50	0,04	0,92	0,92	0,27
S1047	11,12	0,08	0,05	0,23	0,23	0,02
S1048	11,47	0,09	0,04	0,32	0,32	0,03
S1080	0,01	2,19	0,00	0,02	0,02	0,00
S1081	0,02	1,18	0,00	0,01	0,01	0,00
S1103	0,23	0,12	0,07	0,01	0,01	0,00
S111	0,02	7,01	0,00	0,04	0,04	0,01
S112	0,05	2,07	0,13	0,05	0,05	0,00
S113	0,07	2,21	0,10	0,08	0,08	0,00
S114	0,01	0,43	0,14	0,00	0,00	0,00
S116	0,05	0,49	0,15	0,01	0,01	0,00
S1167	5,97	1,08	0,06	1,72	1,72	0,52
S1168	6,16	2,54	0,06	7,61	7,61	0,48
S1169	6,71	0,46	0,06	1,48	1,48	0,51
S117	0,03	0,64	0,13	0,01	0,01	0,00
S118	0,02	0,68	0,11	0,01	0,01	0,00
S1182	3,00	0,63	0,06	1,14	1,14	0,41
S1183	2,94	0,66	0,15	0,92	0,92	0,32
S1184	2,89	0,79	0,15	0,61	0,61	0,21
S119	0,01	0,83	0,11	0,00	0,00	0,00
S120	0,01	4,00	0,00	0,01	0,01	0,00
S121	3,37	3,14	0,00	2,75	2,75	0,87
S122	0,01	4,78	0,00	0,03	0,03	0,00
S123	0,01	7,02	0,00	0,04	0,04	0,01
S1234	0,06	0,90	0,14	0,04	0,04	0,00

S124	1,38	2,61	0,00	0,63	0,63	0,08
S125	0,01	7,81	0,00	0,07	0,07	0,02
S126	1,47	3,99	0,00	1,12	1,12	0,09
S1261	0,14	0,39	0,06	0,03	0,03	0,00
S127	0,01	7,09	0,00	0,01	0,01	0,00
S128	0,01	6,59	0,00	0,03	0,03	0,01
S1281	2,99	1,21	0,06	2,24	2,24	0,18
S1284	0,01	1,11	0,03	0,01	0,01	0,00
S1285	1,23	1,29	0,05	0,75	0,75	0,24
S1286	0,02	3,36	0,00	0,04	0,04	0,00
S1287	0,02	1,33	0,00	0,01	0,01	0,00
S129	0,01	5,52	0,00	0,02	0,02	0,01
S130	0,01	3,39	0,00	0,02	0,02	0,00
S131	0,01	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00
S132	0,01	3,56	0,00	0,00	0,00	0,00
S133	0,02	1,71	0,00	0,01	0,01	0,00
S134	0,01	6,14	0,00	0,04	0,04	0,01
S1353	0,01	0,19	0,02	0,00	0,00	0,00
S1358	0,01	2,34	0,00	0,02	0,02	0,00
S136	0,88	4,24	0,13	0,98	0,98	0,01
S138	0,91	3,21	0,13	0,69	0,69	0,01
S1396	1,93	1,20	0,15	1,04	1,04	0,01
S1464	0,34	1,38	0,00	0,19	0,19	0,00
S1465	0,13	0,77	0,00	0,06	0,06	0,00
S1472	0,01	2,37	0,49	0,02	0,02	0,00
S1473	0,01	2,52	0,00	0,01	0,01	0,00
S1474	0,02	5,73	0,00	0,08	0,08	0,00
S1477	0,29	1,22	0,00	0,13	0,13	0,00
S1478	0,05	0,92	0,00	0,02	0,02	0,00
S1479	0,01	2,78	0,00	0,02	0,02	0,00
S1531	2,90	1,13	0,05	3,36	3,36	0,21
S1532	2,50	0,70	0,00	0,68	0,68	0,23
S1533	2,62	1,31	0,06	2,30	2,30	0,14
S1534	2,69	1,07	0,06	2,79	2,79	0,18
S1571	2,79	1,43	0,14	1,21	1,21	0,12
S1674	0,01	1,28	0,00	0,01	0,01	0,00
S1714	1,70	1,18	0,06	1,73	1,73	0,49
S1715	0,06	0,22	0,06	0,01	0,01	0,00
S1722	0,03	0,22	0,15	0,00	0,00	0,00
S1723	0,05	0,14	0,15	0,00	0,00	0,00
S1750	0,25	0,38	0,14	0,05	0,05	0,00
S1763	2,04	0,28	0,06	0,56	0,56	0,02
S1775	0,01	0,25	0,13	0,00	0,00	0,00

S1776	0,01	0,23	0,13	0,00	0,00	0,00
S1793	3,16	0,27	0,02	0,43	0,43	0,14
S1794	3,10	0,25	0,06	0,49	0,49	0,17
S1795	1,82	0,26	0,06	0,60	0,60	0,21
S1796	0,01	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00
S1797	0,01	0,53	0,00	0,01	0,01	0,00
S1798	0,01	0,07	0,10	0,00	0,00	0,00
S1800	0,14	0,23	0,15	0,02	0,02	0,00
S1801	11,46	0,09	0,02	0,82	0,82	0,08
S185	0,01	3,63	0,00	0,02	0,02	0,00
S1857	0,01	0,15	0,10	0,00	0,00	0,00
S1859	4,89	0,32	0,04	0,99	0,99	0,19
S186	2,97	6,61	0,00	2,06	2,06	0,44
S1860	5,34	0,64	0,06	2,56	2,56	0,16
S1896	0,01	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
S1897	1,56	0,15	0,06	0,33	0,33	0,17
S1898	1,37	0,38	0,06	0,40	0,40	0,20
S1899	0,20	0,07	0,10	0,00	0,00	0,00
S1900	1,02	0,24	0,06	0,20	0,20	0,05
S1901	0,01	0,02	0,09	0,00	0,00	0,00
S1902	0,01	0,07	0,11	0,00	0,00	0,00
S1903	4,35	0,20	0,06	1,07	1,07	0,38
S1904	4,05	0,16	0,16	0,67	0,67	0,19
S1905	9,19	0,48	0,04	3,63	3,63	0,23
S1906	5,73	0,23	0,10	2,70	2,70	0,17
S1907	3,93	0,34	0,18	1,68	1,68	0,10
S1908	0,43	0,08	0,06	0,03	0,03	0,02
S1911	1,17	0,04	0,11	0,04	0,04	0,00
S1982	0,01	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00
S1983	0,02	0,33	0,05	0,00	0,00	0,00
S2042	1,71	0,27	0,06	0,41	0,41	0,01
S2079	1,56	0,13	0,10	0,07	0,07	0,01
S2111	1,93	0,44	0,12	0,52	0,52	0,24
S2117	2,05	1,18	0,06	2,04	2,04	1,03
S2131	0,02	0,30	0,11	0,00	0,00	0,00
S2132	1,46	0,39	0,06	0,52	0,52	0,03
S2133	0,05	0,50	0,11	0,01	0,01	0,00
S2134	0,14	0,22	0,12	0,01	0,01	0,00
S2177	6,58	1,79	0,06	5,10	5,10	0,51
S2178	4,07	0,16	0,01	0,44	0,44	0,15
S2179	1,29	0,17	0,01	0,02	0,02	0,00
S2180	0,08	0,18	0,01	0,01	0,01	0,00
S2196	2,21	0,50	0,06	0,71	0,71	0,25

S2217	0,01	0,14	0,11	0,00	0,00	0,00
S2218	0,01	0,04	0,11	0,00	0,00	0,00
S2220	0,02	1,10	0,00	0,01	0,01	0,00
S2229	0,01	1,54	0,05	0,01	0,01	0,00
S2255	2,14	0,63	0,13	0,20	0,20	0,06
S2256	1,91	0,50	0,06	0,67	0,67	0,04
S2257	2,14	0,32	0,13	0,31	0,31	0,11
S2292	0,01	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00
S2293	0,09	0,27	0,10	0,02	0,02	0,00
S2294	0,05	1,05	0,00	0,02	0,02	0,01
S2295	11,45	0,84	0,10	14,14	14,14	0,35
S2296	0,01	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00
S2297	0,01	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
S2305	0,01	0,74	0,00	0,01	0,01	0,00
S2306	2,12	0,93	0,00	1,29	1,29	0,65
S2383	0,50	0,24	0,06	0,13	0,13	0,06
S2384	0,01	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00
S2387	0,02	1,81	0,00	0,02	0,02	0,01
S2397	1,89	0,25	0,00	0,19	0,19	0,06
S2398	2,16	0,46	0,13	0,26	0,26	0,08
S2405	3,36	0,75	0,05	1,24	1,24	0,27
S2417	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
S2419	0,40	0,75	0,00	0,11	0,11	0,00
S2420	1,50	0,55	0,06	0,75	0,75	0,05
S2473	0,58	0,18	0,06	0,11	0,11	0,04
S2497	4,47	1,29	0,06	3,71	3,71	0,23
S2505	1,19	0,06	0,06	0,10	0,10	0,03
S2507	0,67	0,59	0,10	0,12	0,12	0,06
S2508	2,01	0,11	0,06	0,30	0,30	0,10
S2509	4,65	0,13	0,07	0,89	0,89	0,32
S2567	2,45	0,42	0,06	0,75	0,75	0,05
S2569	3,56	0,52	0,06	1,21	1,21	0,43
S2572	6,22	1,16	0,06	3,17	3,17	0,33
S2574	0,12	0,16	0,06	0,02	0,02	0,00
S2645	1,02	0,23	0,00	0,07	0,07	0,00
S2651	3,01	0,15	0,09	0,71	0,71	0,04
S2655	3,41	0,16	0,03	0,26	0,26	0,08
S2656	0,01	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00
S2657	3,90	0,15	0,03	0,23	0,23	0,04
S2658	4,44	0,15	0,12	0,57	0,57	0,03
S2669	0,10	0,22	0,00	0,01	0,01	0,00
S2671	0,01	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00
S286	3,32	2,09	0,06	4,38	4,38	0,19

S287	0,03	0,35	0,16	0,01	0,01	0,00
S3272	0,01	0,71	0,12	0,00	0,00	0,00
S3293	0,08	0,65	0,13	0,03	0,03	0,00
S3294	2,17	0,60	0,10	1,00	1,00	0,06
S3295	2,35	0,92	0,04	2,80	2,80	0,18
S3296	2,10	1,12	0,06	3,39	3,39	0,22
S3297	1,70	2,43	0,05	3,65	3,65	0,24
S3298	0,01	0,78	0,04	0,00	0,00	0,00
S3302	0,05	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00
S3305	0,94	0,23	0,05	0,28	0,28	0,03
S3308	0,66	0,37	0,06	0,22	0,22	0,02
S3313	0,01	0,45	0,06	0,00	0,00	0,00
S38	0,01	1,06	0,00	0,01	0,01	0,00
S39	1,25	0,75	0,00	1,26	1,26	0,00
S40	0,21	1,11	0,00	0,06	0,06	0,00
S41	0,01	0,67	0,00	0,01	0,01	0,00
S4122	0,01	1,35	0,06	0,02	0,02	0,00
S4123	0,03	1,71	0,06	0,03	0,03	0,00
S4124	0,09	2,49	0,06	0,09	0,09	0,00
S4125	0,16	1,69	0,06	0,15	0,15	0,01
S4126	0,15	1,40	0,06	0,12	0,12	0,00
S4186	0,01	11,15	0,00	0,09	0,09	0,02
S4187	0,01	7,56	0,00	0,04	0,04	0,01
S4188	0,01	3,28	0,00	0,02	0,02	0,00
S4189	2,33	3,49	0,00	7,36	7,36	0,22
S4190	0,23	2,06	0,01	0,24	0,24	0,00
S4191	0,07	1,60	0,00	0,05	0,05	0,00
S4192	0,03	3,14	0,00	0,04	0,04	0,00
S4193	0,02	4,52	0,00	0,05	0,05	0,01
S4194	0,01	4,00	0,00	0,01	0,01	0,00
S43	0,56	1,12	0,00	0,38	0,38	0,00
S44	2,26	0,77	0,00	0,80	0,80	0,68
S45	0,51	0,14	0,06	0,13	0,13	0,00
S458	1,89	1,77	0,00	0,28	0,28	0,14
S493	0,07	0,70	0,15	0,01	0,01	0,00
S494	0,01	0,41	0,04	0,00	0,00	0,00
S495	2,79	1,11	0,07	3,51	3,51	0,10
S512	0,01	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00
S513	1,95	1,01	0,13	1,75	1,75	0,01
S514	2,44	1,35	0,05	1,43	1,43	0,05
S515	2,30	1,15	0,14	1,02	1,02	0,04
S516	0,84	0,99	0,11	0,13	0,13	0,00
S517	2,04	1,00	0,09	1,40	1,40	0,00

S518	0,01	3,66	0,00	0,02	0,02	0,00
S519	0,01	5,84	0,00	0,03	0,03	0,00
S524	0,01	2,65	0,00	0,02	0,02	0,00
S525	0,01	2,98	0,00	0,02	0,02	0,00
S526	1,79	1,74	0,00	1,58	1,58	0,10
S528	4,86	0,53	0,09	1,56	1,56	0,15
S529	0,03	0,78	0,11	0,02	0,02	0,00
S530	1,01	1,33	0,10	0,56	0,56	0,00
S531	0,12	2,31	0,13	0,09	0,09	0,00
S532	0,69	1,37	0,13	0,26	0,26	0,00
S533	1,26	1,53	0,11	0,82	0,82	0,02
S534	1,19	1,49	0,13	0,76	0,76	0,01
S557	0,02	1,73	0,00	0,01	0,01	0,00
S558	0,04	1,37	0,00	0,02	0,02	0,00
S559	1,74	2,22	0,00	1,50	1,50	0,10
S560	1,48	0,39	0,04	0,15	0,15	0,04
S561	0,03	1,02	0,04	0,01	0,01	0,00
S562	2,27	1,06	0,04	0,93	0,93	0,05
S565	0,01	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00
S698	11,46	1,50	0,06	6,25	6,25	0,62
S822	0,77	1,20	0,13	0,58	0,58	0,00
S823	2,59	0,75	0,06	1,22	1,22	0,19
S863	2,74	1,34	0,00	0,90	0,90	0,04
S864	2,99	1,24	0,00	1,24	1,24	0,34
S866	0,02	2,90	0,00	0,03	0,03	0,00
S867	1,64	1,76	0,00	0,29	0,29	0,02
S894	0,01	2,06	0,00	0,01	0,01	0,00
S939	0,03	0,20	0,06	0,00	0,00	0,00
S940	0,09	0,57	0,06	0,03	0,03	0,00
S941	0,01	0,30	0,06	0,00	0,00	0,00
S943	2,54	0,87	0,00	0,46	0,46	0,05
S944	2,49	0,56	0,05	0,72	0,72	0,24
S957	2,77	1,83	0,00	0,66	0,66	0,12
S966	1,33	0,21	0,06	0,15	0,15	0,04
S967	0,01	0,09	0,10	0,00	0,00	0,00
S968	3,84	1,31	0,06	4,49	4,49	0,28
S969	3,73	0,45	0,00	0,86	0,86	0,36
S976	2,61	1,72	0,00	0,77	0,77	0,00
S977	2,86	1,13	0,00	0,68	0,68	0,03

Tabla A23. Datos críticos de nodos en todo el sistema de drenaje de las subcuencas de la ciudadela Urdesa Norte, con infraestructura verde (Bernal, 2022)

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Bernal Rivera Juan José** con C.C: #0929655264 autor del trabajo de titulación: **Planificación y diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda que descarga en el Estero Salado, sector Urdesa Norte, de la ciudad de Guayaquil**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

**Guayaquil, 9 de septiembre de 2022**

f.   
\_\_\_\_\_

**Bernal Rivera Juan José**

C.C: #0929655264



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Planificación y diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda que descarga en el Estero Salado, sector Urdesa Norte, de la ciudad de Guayaquil.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Bernal Rivera Juan José		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Proaño Sánchez Luis Alberto		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	9 de septiembre de 2022	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	135
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Infraestructura verde, Drenaje pluvial urbano		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	LID, SWUD, SWMM, Infiltración, Subcuenca, Drenaje, Permeabilidad, Escorrentía		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>El presente trabajo consistió en mejorar la ocupación urbana de forma sostenible, generando cambios positivos la resiliencia de la ciudad de Guayaquil y disminuyendo el riesgo de escorrentía superficial por medio de un plan de diseño de infraestructura verde en el área de influencia del colector de la calle Fernando Artieda Miranda (DM39), adyacente al ramal A del Estero Salado. Se ha modelado un evento pluvial real de período de retorno de diez años para realizar comparaciones cuantitativas que sustenten su factibilidad, obteniendo reducciones de volumen de agua. Debido al diseño de la nueva zona verde urbana, se redujo la exposición de riesgo de peligro en Urdesa Norte por inundación con la retención del caudal de escorrentía de las precipitaciones por infiltración, resultando en una reducción del volumen de agua de entre un 20% y un 40%.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0994870279	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:juan.bernal@cu.ucsg.edu.ec">juan.bernal@cu.ucsg.edu.ec</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Clara Glas Cevallos, M.Sc.		
	<b>Teléfono:</b> +593-0984616792		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			