

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE
SOSTENIBLE PARA LA JUNTA VECINAL JESÚS MARÍA
DEL CENTRO POBLADO NUESTRA SEÑORA DE LA
NATIVIDAD – TACNA”**

TESIS

Presentada por:

Bach. YOEL NEREO CHIPANA VILCA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA- PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

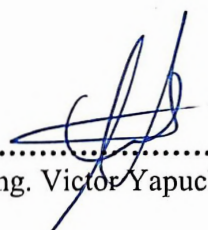
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

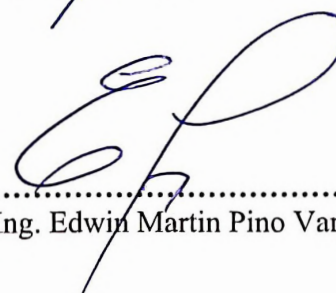
**“PROPUESTA DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE
SOSTENIBLE PARA LA JUNTA VECINAL JESÚS MARÍA
DEL CENTRO POBLADO NUESTRA SEÑORA DE LA
NATIVIDAD – TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el día 26 de abril del 2023 estado
integrado el jurado calificador por:

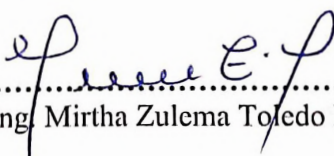
PRESIDENTE


:.....
Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

SECRETARIO


:.....
Ph.D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas

VOCAL


:.....
Mgs. Ing. Mirtha Zulema Toledo Rosales

ASESOR


:.....
MSc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

INFORME N° 017-2022-UNJBG/FIAG-ESIC-AGCB

A : **MSc. EDGAR CHURA AROCUTIPA**
Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil

DE : **MSc. ANA G. CRUZ BALTUANO**
Asesor de Tesis

ASUNTO : **CONFORMIDAD DE TESIS**
“Propuesta de un sistema urbano de drenaje sostenible para la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de la Natividad – Tacna”

REFERENCIA : RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 154-2022-FIAG/UNJBG

FECHA : Tacna, 21 de diciembre del 2022

Tengo el agrado de dirigirme a Ud. para saludarlo cordialmente y a la vez informarle que se ha venido asesorando al bachiller Yoel Nereo Chipana Vilca en la elaboración de la tesis del asunto. Luego de reuniones recurrentes y levantamiento de observaciones, esta se encuentra CONFORME, ha sido elaborada satisfactoriamente y cumple con los lineamientos aprobados para la presentación del informe de tesis.

Por lo antes expuesto, se recomienda se continúe con el trámite correspondiente.

Se adjunta:

- Reporte de similitud Turnitin (16% de similitud general)
- Tesis completa “Propuesta de un sistema urbano de drenaje sostenible para la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de la Natividad – Tacna”

Sin otro particular, me despido reiterándole mis sentimientos de estima y aprecio.



Mgr. Ana G. Cruz Baltuano
Asesor de Tesis

DEDICATORIA

A Dios, quien guía mis pasos y me provee de salud, inteligencia, criterio y fortaleza para seguir adelante.

A mis padres, quienes desde pequeño me inculcaron valores y fueron los que a base de ejemplos me enseñaron que las metas pueden cumplirse.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes por brindarme sus conocimientos a lo largo de mi formación académica durante mi estadía en la universidad.

A mi asesora Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano por su apoyo durante la elaboración de esta investigación.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDO	v
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2 Formulación del problema.....	8
1.2.1 Problema General	8
1.2.2 Problemas Específicos	8
1.3 FUNDAMENTO Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	8
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	11
1.4.1 Objetivo General.....	11
1.4.2 Objetivos Específicos	11
1.5 ELABORACION DE HIPOTESIS	11
1.5.1 Hipótesis General.....	11
1.5.2 Hipótesis Específicas	11
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	12
CAPITULO II MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	13

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	13
2.1.1 Ámbito Internacional	13
2.1.2 Ámbito Nacional.....	16
2.1.3 Ámbito Local	18
2.2 BASES TEÓRICAS	19
2.2.1 Cambio Climático	19
2.2.2 El Ciclo Natural del Agua y El Impacto de la Urbanización.....	20
2.2.3 Sistema de Drenaje Urbano	25
2.2.3.1 Sistemas Convencionales.....	26
2.2.3.2 Sistemas no Convencionales o Sostenibles.....	26
2.2.4 Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS).....	28
2.2.4.1 Clasificación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible	29
2.2.5 Modelo de Gestión de Aguas Pluviales EPA SWMM 5.2 (Storm Water Management Model).....	33
2.2.5.1 Aplicaciones Típicas de SWMM.	36
2.2.5.2 LID controls de SWMM.	37
2.2.6 Tipos de SUDS a usar para la Presente Investigación.....	38
2.2.6.1 Pavimento Permeable Continuo.....	39
2.2.6.2 Zanjas de Infiltración.	41
2.2.7 Criterios de diseño para el pavimento permeable y la zanja de infiltración	43
2.2.8 Delimitación de una cuenca urbana	48
2.2.9 Modelación Hidrológica	49
2.2.9.1 Tiempo de concentración	49
2.2.9.2 Curva Intensidad -Duración-Periodo de retorno (IDT).....	50
2.2.9.3 Tormenta de Diseño	52
2.2.9.4 Infiltración.....	53
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES	56

CAPITULO III METODOLOGIA	58
3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION	58
3.1.1 Tipo de Investigación	58
3.1.2 Nivel de Investigación	58
3.2 POBLACION Y MUESTRA	58
3.2.1 Población	58
3.2.2 Muestra	59
3.3 IDENTIFICACION DE VARIABLES	61
3.3.1 Variable Independiente	61
3.3.1.1 Dimensiones.....	61
3.3.1.2 Indicadores.....	61
3.3.2 Variable Dependiente	61
3.3.2.1 Dimensiones.....	61
3.3.2.2 Indicadores.....	61
3.3.3 Características de las Variables	62
3.4 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	62
3.4.1 Recopilación de Información.....	62
3.4.1.1 Información Catastral.....	63
3.4.1.2 Hidrológica y Meteorológica.....	66
3.4.2 Trabajos de Campo	67
3.5 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	71
3.5.1 Método de análisis de datos	71
3.5.2 Técnicas e instrumentos.....	72
3.5.2.1 Técnicas	72
3.5.2.2 Instrumentos.....	72
3.5.3 Descripción de la Zona de Estudio	73
3.5.4 Perímetro y Área de la Cuenca Urbana	74
3.5.4.1 Área de Influencia Extendida.....	74

3.5.4.2 Área de Estudio	77
3.5.5 Delimitación de la Cuenca Urbana	79
3.5.6 Secciones Viales	80
3.5.7 Sentido de Flujo	90
3.5.8 Longitud de Recorrido más Largo	92
3.5.9 Análisis Hidrológico de la Zona de Estudio	93
3.5.9.1 Tiempo de Concentración.	93
3.5.9.2 Cálculo de la Intensidad Máxima.....	94
3.5.9.3 Análisis de datos Dudosos (Outlier) en Precipitaciones Máximas de 24 Horas.	95
3.5.9.4 Prueba de Bondad de Ajuste (Kolmogorov – Smirnov).	98
3.5.9.5 Precipitación Máxima Anual.	99
3.5.9.6 Curva IDT (Intensidad – Duración – Periodo de Retorno).	101
3.5.9.7 Análisis de la Tormenta de Diseño.	105
3.5.9.8 Cálculo de la tasa de infiltración del suelo.....	107
3.5.10 Determinación de Información para la Construcción del Modelo en EPA SWMM 5.2	109
3.5.10.1 Pluviómetros (Rain gages).	110
3.5.10.2 Subcuencas (Subcatchment).....	110
3.5.10.3 Nodos de Unión (Junction).	116
3.5.10.4 Conductos (Conduit).	117
3.5.10.5 Salida (Outfall).....	120
3.5.11 Modelación en EPA SWMM 5.2.....	120
3.5.11.1 Construcción del Modelo Hidrológico.....	120
3.5.11.2 Modelado de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS.	121
3.5.11.3 Aplicación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS.	130
3.5.12 Diseño de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS	132

3.6 FLUJO DE TRABAJO.....	139
CAPITULO IV RESULTADOS.....	140
4.1 Resultados del Estudio de Suelos.....	140
4.2 Modelo del sistema urbano de drenaje sostenible en SWMM 5.2.....	142
4.3 Áreas Disponibles para la Aplicación de los SUDS.....	149
4.3.1 Pavimento Permeable Continuo.....	149
4.3.2 Zanja de Infiltración.....	149
4.4 Resultados de las simulaciones en SWMM 5.2.....	149
4.4.1 Escenario 1: Sin Medidas de Drenaje Sostenible.....	149
4.4.2 Escenario 2: Aplicando Medidas de Drenaje Sostenible.....	153
4.4.3 Resumen de los escenarios.....	157
CAPITULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	158
5.1 Prueba de Hipótesis.....	158
5.1.1 Contrastación de Hipótesis General.....	158
5.1.2 Contrastación de hipótesis secundarias.....	159
5.2 Respecto al Diseño del SUDS.....	160
5.3 Respecto a las Áreas Disponibles para la Aplicación de los SUDS.....	163
5.4 Respecto al Volumen de Escorrentía que se Podrá Infiltrar y/o Evacuar con la Aplicación de los SUDS.....	164
CONCLUSIONES.....	165
RECOMENDACIONES.....	166
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	168
ANEXOS.....	175

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Récords de Precipitación Registrado en el Periodo de Lluvias 2019-2020 ...	6
Tabla 2 Integración de los SUDS en el medio urbano en función de la situación del área del proyecto.....	31
Tabla 3 Integración de los SUDS en el medio urbano en función del uso urbano existente	32
Tabla 4 Actividades típicas de mantenimiento para el pavimento de concreto permeable.....	40
Tabla 5 Método de Kirpich para la estimación del tiempo de concentración.....	50
Tabla 6 Características de las variables independientes y dependientes de la investigación	62
Tabla 7 Datos geométricos de la zona del área de influencia de la zona de estudio.	75
Tabla 8 Datos geométricos de la zona de estudio	77
Tabla 9 Puntos cartesianos de la sección vial típica.....	82
Tabla 10 Puntos cartesianos de la sección vial N° 50	84
Tabla 11 Puntos cartesianos de la sección vial N° 16	86
Tabla 12 Puntos cartesianos de la sección vial N° 13	88
Tabla 13 Registro de precipitación máximas de 24 horas (mm).....	94
Tabla 14 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas	97
Tabla 15 Resultados de la Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov – Smirnov	98
Tabla 16 Periodos de retorno para diferentes obras hidráulicas.....	100
Tabla 17 Precipitaciones máximas según la distribución Log Pearson tipo III	100
Tabla 18 Precipitaciones Máximas para Diferentes Tiempo de Duración de lluvias	101
Tabla 19 Intensidad de la lluvia (mm/hr) según Periodo de Retorno.....	102
Tabla 20 Estadística de la Regresión Potencial.....	103

Tabla 21 Cálculo de Parámetros de Ajuste K, m, n	103
Tabla 22 Distribución de Intensidad – Duración – Periodo de retorno para las Curvas IDT.....	104
Tabla 23 Datos del Hietograma para T=10 años con duración de 6 Horas.....	106
Tabla 24 Parámetros de Horton obtenidos	109
Tabla 25 Coeficiente de Manning (n) - flujo superficial.....	113
Tabla 26 Profundidad de almacenamiento de depresión.....	114
Tabla 27 Coeficientes de Rugosidad de Manning para canales abiertos	118
Tabla 28 Formas de sección transversal disponible en SWMM 5.2 para conductos	119
Tabla 29 Resumen de datos de entrada para LID Control del pavimento permeable continuo	127
Tabla 30 Resumen de datos de entrada para LID Control de la zanja de infiltración	130
Tabla 31 Subcuencas intervenidas con SUDS dentro de la zona de estudio.....	132
Tabla 32 Dosificación por peso para el concreto permeable	133
Tabla 33 Resumen de los resultados, Escenario 1 y 2	157

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Inundación en vías producto del evento anómalo de lluvias en el año 2020 en Tacna.....	7
Figura 2 Impactos del cambio climático sobre el ciclo natural del agua	20
Figura 3 Ciclo natural del agua.....	21
Figura 4 Comparación en la respuesta del caudal en un entorno natural y urbanizado	22
Figura 5 Efecto de la impermeabilización del suelo sobre el ciclo natural del agua	24
Figura 6 Impactos de la urbanización en el ciclo natural del agua	25
Figura 7 Esquema de la terminología empleada para sistemas de drenaje sostenible	27
Figura 8 Tendencias actuales que apuntan a la sostenibilidad de drenaje urbano	28
Figura 9 Objetos físicos utilizados para modelar un sistema de drenaje en SWMM	34
Figura 10 Ventana principal de EPA SWMM	35
Figura 11 Esquema de las aplicaciones de SWMM.....	36
Figura 12 Tipos de LID controls disponibles en SWMM 5.2.....	37
Figura 13 Restricciones para la aplicación de una estructura de infiltración.....	38
Figura 14 Componentes del pavimento permeable.....	41
Figura 15 Componentes de la zanja de infiltración.....	43
Figura 16 Esquema para el diseño de pavimentos permeables.....	47
Figura 17 Ejemplo de delimitación de cuenca urbana por el método de aplicación por vías.....	49
Figura 18 Esquema de ensayo del doble anillo.....	55
Figura 19 Ubicación a nivel macro de la zona de estudio- distrito de Tacna	59
Figura 20 Ubicación a nivel micro de la zona de estudio -Junta Vecinal Jesús María	60
Figura 21 Plano catastral de alcantarillado de la ciudad de Tacna	64

Figura 22	Plano de zonificación de uso de suelos de la ciudad de Tacna.....	65
Figura 23	Plano de secciones viales de la ciudad de Tacna.....	65
Figura 24	Portal web de la página del SENAMHI.....	66
Figura 25	Características de viviendas existentes.....	67
Figura 26	Estado actual de las vías existentes en la zona de estudio.....	68
Figura 27	Espacios disponibles para la aplicación de los SUDS dentro de la zona de estudio.....	69
Figura 28	Ubicación del ensayo de infiltración en la zona de estudio.....	70
Figura 29	Colocación, llenado de agua y toma de medidas.....	71
Figura 30	Forma geométrica de la poligonal del área de influencia.....	76
Figura 31	Forma geométrica de la poligonal del área de estudio	78
Figura 32	Subcuencas del área de influencia	79
Figura 33	Sección vial típica para vías dentro de la zona de estudio.....	81
Figura 34	Modelado previo de la sección vial típica en el software Ms Excel.....	82
Figura 35	Sección vial N°50 para avenidas secundarias dentro de la zona de estudio	83
Figura 36	Modelado previo de la sección vial N° 50 en el software Ms Excel	84
Figura 37	Sección vial N°16 para pasajes vecinales, vías sin asfaltar y calles en un sentido dentro de la zona de estudio	85
Figura 38	Modelado previo de la sección vial N° 16 en el software Ms Excel	86
Figura 39	Sección vial N° 13 para las avenidas principales dentro de la zona de estudio.....	87
Figura 40	Modelado previo de la sección vial N° 13 en el software Ms Excel	89
Figura 41	Sentido de flujo dentro de la zona de estudio.....	91
Figura 42	Sentido de flujo desde el nodo J-33 hacia el nodo J-25 de la zona de estudio.....	91
Figura 43	Recorrido más largo del flujo dentro de la zona de estudio	92
Figura 44	Gráfico de la distribución de precipitación máxima anual en 24H	95

Figura 45	Análisis de dato dudoso (Outlier) inicial.....	96
Figura 46	Análisis de dato dudoso (Outlier) Final.....	96
Figura 47	Gráfico de la distribución Log-Pearson tipo III.....	99
Figura 48	Gráfico Intensidad - Duración -Periodo de retorno	105
Figura 49	Hietograma de diseño	107
Figura 50	Grafica de la curva de capacidad de infiltración con datos obtenidos del ensayo en campo.....	108
Figura 51	Proceso general para la construcción del modelo en EPA SWMM 5.2	121
Figura 52	Menú para añadir SUDS en SWMM 5.2.....	122
Figura 53	Ventana de propiedades de las subcuencas para agregar los SUDS.....	131
Figura 54	Ventana para agregar los SUDS	131
Figura 55	Gráfico de resistencia del concreto permeable	134
Figura 56	Esquema de trabajo para el desarrollo de la presente investigación.....	139
Figura 57	Perfil estratigráfico de la calicata N°1	140
Figura 58	Perfil estratigráfico de la calicata N°2	141
Figura 59	Perfil estratigráfico de la calicata N°3	141
Figura 60	Perfil estratigráfico de la calicata N°4	142
Figura 61	Sistema de drenaje modelado en SWMM 5.2	143
Figura 62	Subcuencas intervenidas con SUDS (LID Controls).....	144
Figura 63	Vista de planta típica del pavimento de concreto permeable	145
Figura 64	Detalle de sección transversal del pavimento de concreto permeable....	145
Figura 65	Vista 3D de la ubicación del pavimento de concreto permeable en bermas	146
Figura 66	Vista de planta de la zanja de infiltración.....	147
Figura 67	Detalle de sección transversal de la zanja de infiltración.....	147
Figura 68	Sección transversal de la zanja de infiltración.....	148
Figura 69	Vista 3D de la ubicación de la zanja de infiltración.....	148
Figura 70	Reporte de continuidad de escorrentía-Escenario 1	150

Figura 71	Perfil de elevación de las uniones J-23 a J-26 sin aplicar SUDS	151
Figura 72	Perfil de elevación de las uniones J-35 a J-25 sin aplicar SUDS	151
Figura 73	Perfil de elevación de las uniones J-36 a J-24 sin aplicar SUDS	152
Figura 74	Reporte de alturas de sobrecarga para los nodos del escenario 1	153
Figura 75	Reporte de continuidad de escorrentía aplicando SUDS.....	154
Figura 76	Perfil de elevación de las uniones J-23 a J-26 aplicando SUDS	155
Figura 77	Perfil de elevación de las uniones J-35 a J-25 aplicando SUDS	155
Figura 78	Perfil de elevación de las uniones J-36 a J-24 aplicando SUDS	156
Figura 79	Reporte de alturas de sobrecarga para los nodos del escenario 2.....	157

RESUMEN

En la ciudad de Tacna, así como en otras ciudades del mundo, debido al acelerado crecimiento urbano se ha generado un aumento de la infraestructura urbana, por lo cual, el suelo permeable ha sido reemplazado por superficies impermeables que afectan al proceso natural del agua, provocando la disminución de evaporación e infiltración, por consiguiente, se reduce la recarga de aguas subterráneas y aumenta el volumen de escorrentía superficial. Es así que los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) surgen con el fin reproducir el ciclo natural del agua antes del proceso de urbanización, reduciendo los efectos en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía superficial mejorando la integración paisajística.

La presente investigación tiene como objetivo diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad del distrito, provincia y departamento de Tacna, haciendo uso del software Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (WMM 5.2). Según la metodología de investigación, es de nivel aplicada-descriptiva ya que busca conocer, evaluar y modificar los problemas causados por las lluvias en la zona de estudio, para ello se utilizó como técnica de recolección de datos, la observación, el estudio tuvo un enfoque cuantitativo, con un diseño cuantitativo no experimental de orden transversal.

El SUDS se diseñó con los parámetros hidrológicos, hidráulicos y ambientales de la zona de estudio, según la normativa vigente CE.040 y guías técnicas internacionales; luego, fueron procesados mediante el software Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM 5.2). Se identificaron las áreas disponibles para la aplicación de los SUDS, para lo cual tenemos que los pavimentos permeables continuos conforman un área de 4523.34 m² y están ubicados en las bermas de las calles “Gregorio Albarracín”, “N° 44”, “N° 07”, “N° 04”, “Jesús María” y en el jirón “07 de junio”; además la zanja de infiltración conforma un área de 102.652 m² y se encuentra ubicada en el jirón “7 de junio” en el exterior del parque recreativo Jesús María.

Finalmente, los resultados obtenidos con la aplicación de los SUDS demuestran que su implementación en esta zona urbana da resultados positivos, sobre todo la aplicación del pavimento permeable, ya que se reduce en un 65.38% el volumen de la escorrentía superficial, mitigando los riesgos de inundación.

Palabras claves: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, pavimento permeable, cuenca urbana, inundación, Modelo de Gestión de Aguas Pluviales SWMM.

ABSTRACT

In the city of Tacna, as well as in other cities around the world, due to the accelerated urban growth, an increase in urban infrastructure has been generated, for which the permeable soil has been replaced by impermeable surfaces that affect the natural process of water, causing a decrease in evaporation and infiltration, consequently, groundwater recharge is reduced and the volume of surface runoff increases. Is so, the Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) arise in order to reproduce the natural water cycle before the urbanization process, reducing the effects in terms of quantity and quality of surface runoff, improving landscape integration.

The objective of this research is to design a sustainable urban drainage system to improve the quality of life of the inhabitants to the Jesús María neighborhood council to the populated center Nuestra Señora de La Natividad in the district, province and department of Tacna, making use of the Storm Water Management Model (SWMM 5.2) software. According to the research methodology, it is of an applied-descriptive level since it seeks to know, evaluate and modify the problems caused by the rains in the study area, for this, observation was used as a data collection technique, the study took into account quantitative approach, with a non-experimental quantitative design of cross-sectional order.

The SUDS was designed with the hydrological, hydraulic and environmental parameters of the study area, according to the current regulation CE.040 and

international technical guides; then, they were processed using the Stormwater Management Model software (SWMM 5.2). The areas available for the application of the SUDS were identified, for which we have that the continuous permeable pavements make up an area of 4523.34 m² and are located on the berms of the streets "Gregorio Albarracín", "N° 44", "N° 07", "N° 04", "Jesús María" and in the jirón "07 de junio"; In addition, the infiltration ditch forms an area of 102,652 m² and is located in the "7 de Junio" jirón outside the Jesús María recreational park.

Finally, the results obtained with the application of the SUDS show that its implementation in this urban area gives positive results, especially the application of permeable pavement, since the volume of surface runoff is reduced by 65.38%, mitigating the risks of flood.

Keywords: Urban Sustainable Drainage Systems, permeable pavement, flooding, urban watershed, Storm Water Management Model SWMM.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las instituciones de algunos de los países más desarrollados del mundo han reconocido los beneficios de la gestión de aguas pluviales, tendiendo hacia la sostenibilidad y la adaptación al medio ambiente. Es así como surgen los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) cuyo objetivo es abordar los efectos en cuanto a cantidad y calidad de la escorrentía superficial, maximizando la integración paisajística y los valores socioambientales.

En nuestro país la aplicación de los SUDS es muy escasa, ya que aún no se ha considerado la formulación de normativas que brinden los lineamientos técnicos para su diseño, construcción y mantenimiento.

En la ciudad de Tacna se pueden presentar eventos anómalos de lluvias en épocas de verano. Sucesos ocurridos como el del mes de febrero del 2020 cuando las intensas lluvias provocaron huaycos, inundaciones, accidentes de tránsito, entre otros; nos hacen plantear y buscar métodos más eficientes de drenaje pluvial, no solo desde el punto de vista hidráulico, sino también desde la perspectiva medioambiental y el desarrollo sostenible. Para la variación de precipitación y aplicación de los SUDS se ha considerado un periodo de retorno de 10 años. La pregunta central de la presente investigación es ¿Es posible diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad - Tacna? La hipótesis central es que es posible

diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna. El objetivo principal es diseñar un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna, mediante la descripción, diseño y aplicación de zanjas de infiltración y pavimentos permeables continuos como sistemas de infiltración para la reducción de la escorrentía superficial.

Para llevar a cabo su desarrollo, la presente investigación se ha estructurado en cinco capítulos. El capítulo I “Descripción del problema” nos presenta la problemática, justificación, objetivos generales y específicos, viabilidad y limitaciones del proyecto de investigación, el capítulo II “Marco teórico de la investigación” se presentan los trabajos e investigaciones referentes a los SUDS desarrollados en el ámbito internacional, nacional y local, además se efectúan algunas precisiones teórico-conceptuales de los SUDS, definiciones conceptuales y elaboración de hipótesis, en el capítulo III “Metodología” se desarrolla el tipo de investigación, población y muestra, método de análisis de datos, técnicas e instrumentos de recolección de datos y el flujo de trabajo para su desarrollo; En el capítulo IV “Resultados” presenta el desarrollo del diseño del SUDS en sí, utilizando la información obtenida en capítulos anteriores. El capítulo V “Discusión de resultados” muestra la descripción de los resultados obtenidos del modelado de dos escenarios; el primero, que simula el estado actual de la zona urbana y el segundo, que simula la zona urbana bajo las mismas condiciones

con la aplicación de los SUDS, como los pavimentos permeables en bermas y zanjas de infiltración en el exterior del parque recreativo Jesús María. Por último, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos que incluyen, matriz de consistencia, datos de entrada, resultados y planos que son utilizados para el desarrollo de la presente investigación.

CAPÍTULO I

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático y el acelerado crecimiento urbano son los principales procesos que afectan el ciclo natural del agua causando inundaciones en las zonas urbanas en épocas de precipitaciones máximas.

En muchos países de bajos a medianos recursos económicos de todo el mundo la falta de planificación estratégica en la gestión de las aguas pluviales ha hecho que las ciudades que presentan un acelerado crecimiento urbano sean más vulnerables a los problemas que traen las intensas precipitaciones tales como: Las bajas tasas de infiltración, el aumento de la descarga máxima de los ríos y la recurrencia de las inundaciones urbanas (Bastia et al., 2021).

En el Perú, el periodo de lluvias inicia en el mes de setiembre y culmina en abril del siguiente año, las mayores precipitaciones se presentan durante el periodo diciembre-marzo, debido a que los sistemas atmosféricos generadores de las precipitaciones, presentan sus mayores intensidades, su mejor configuración y una mayor persistencia de los sistemas; lo que ocasiona la recurrencia de las lluvias, en la costa norte, sierra y selva del Perú, debido a las máximas precipitaciones se producen pérdidas económicas, daños materiales, contaminación y en casos extremos pérdidas de vidas humanas, no obstante estos eventos naturales siguen siendo un riesgo a

considerar debido al desconocimiento de estos temas por parte de la población y a la mala gestión de las autoridades durante el proceso de urbanización, esto trae como consecuencia que no se consideren estructuras para confrontar este tipo de eventualidades como son los sistemas de drenaje pluvial urbano (Cano, 2022).

La ciudad de Tacna no ha sido ajena a los problemas causados por las precipitaciones, ello se puede evidenciar en las intensas precipitaciones que se produjeron en el mes febrero del 2020, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2020), la estación meteorológica Jorge Basadre, ubicada en la ciudad de Tacna, alcanzó valores de 23.8 mm/día (Tabla 1). Las intensas precipitaciones provocaron huaycos, inundaciones, afectación del sistema de alcantarillado, accidentes de tránsito, interrupciones eléctricas, entre otros, en el distrito y provincia de Tacna (RPP Noticias, 2020). Por otro lado el personal de la Subgerencia de Gestión de Riesgos y Desastres de la Municipalidad Provincial de Tacna, identificó cinco puntos críticos dentro de la ciudad de Tacna de los cuales dos de ellos son el sector de Jesús María y alrededores del colegio Modesto Montesinos Zamalloa pertenecientes al centro poblado Nuestra Señora de La Natividad, los otros tres son: La asociación Santa Rosa en la avenida Jorge Basadre, la junta vecinal Leoncio Prado y las avenidas Ejército y 200 Millas en el centro poblado Augusto B. Leguía (Diario Correo, 2021).

Tabla 1

Récords de Precipitación Registrado en el Periodo de Lluvias 2019-2020

SECTOR	ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	ALTITUD (msnm)	RÉCORD MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS EN MM	FECHA	POSICIÓN DEL ACUMULADO DE LLUVIA EN LA SERIE HISTORICA DE LA ESTACIÓN
COSTA SUR	LA-HACIENDITA	AREQUIPA	282	6.5	20200123	1
	APLAO	AREQUIPA	618	9.5	20200122	3
	PAMPA-BLANCA	AREQUIPA	106	11.2	20200123	3
	CAMANA	AREQUIPA	8	32.4	20200122	1
	TACAMA	ICA	429	10.2	20200129	1
	COPARA	ICA	587	17.3	20200123	1
	CALANA	TACNA	871	21.1	20200221	1
	JORGE-BASADRE	TACNA	538	23.8	20200221	1
SIERRA NORTE	HUAMACHUCO	LA LIBERTAD	3186	52.8	20200301	2
SIERRA CENTRO	CUSICANCHA	HUANCAVELICA	3253	39.6	20200114	3
	SAN-PEDRO-DE-PILAS	LIMA	2707	38.5	20200121	3
	RUNATULLO	JUNIN	3690	38.2	20191217	2
	CERRO-DE-PASCO	PASCO	4260	60	20191203	1
SIERRA SUR	CARAVELI	AREQUIPA	1755	40.2	20200122	2
	LA-JOYA	AREQUIPA	1278	10.9	20200123	2
	PAMPA-DE-MAJES	AREQUIPA	1498	16	20200324	2
	CHIGUATA	AREQUIPA	2902	45.5	20200224	2
	YANAQUIHUA	AREQUIPA	3130	55.1	20200224	3
	CHAPARRA	AREQUIPA	1033	14.1	20200317	1
	PUQUIO	AYACUCHO	3168	37	20200210	3
	CORACORA	AYACUCHO	3156	63	20200302	1
	UBINAS	MOQUEGUA	3380	42.8	20200315	1
	CALIENTES	TACNA	1200	14.8	20200221	1
	CAYLLOMA	AREQUIPA	4318	43.2	20191225	3
	SANTO-TOMAS	CUSCO	3253	50.3	20191225	3
	MUÑANI	PUNO	3948	44.2	20200310	2
	RINCON-DE-LA-CRUZ	PUNO	3935	48	20200213	3
SELVA CENTRAL	TOURNAVISTA	HUANUCO	213	159.1	20200122	3
SELVA NORTE	RIOJA	SAN MARTIN	880	103.2	20191110	3
	NARANJILLO	SAN MARTIN	890	101.2	20191019	3
SELVA SUR	SAN-GABAN	PUNO	635	441.7	20200120	2

Nota: Tomado del informe técnico: Análisis del periodo lluviosos 2019-2020 a nivel nacional (SENAMHI, 2020)

En la Figura 1 se muestra la problemática de la transitabilidad peatonal y vehicular producto de las precipitaciones del mes de febrero del 2020.

Figura 1

Inundación en vías producto del evento anómalo de lluvias en el año 2020 en Tacna



Nota: Tomada de (Diario Correo, 2021).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017), la ciudad de Tacna es la decimosegunda ciudad más poblada del Perú, con una tasa de crecimiento media anual de 2.29%.

Varias ciudades en el mundo cuentan con sistemas de drenaje convencionales siendo ineficientes para trasladar la cantidad de agua adicional producto de las nuevas zonas de expansión urbana (Castro et al., 2005).

Frente a estos problemas surgen los Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible, en adelante SUDS por sus siglas en inglés Sustainable Urban Drainage System, los cuales tienen como fin reproducir el ciclo natural del agua antes del proceso de

urbanización, reduciendo los efectos que esta produce en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía superficial, así como también mejorar la integración paisajística y los valores socioambientales (Perales & Doménech, 2007).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Es posible diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Se cuentan con suficientes áreas disponibles para la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna?

¿Cuánto volumen de la escorrentía superficial se podrá infiltrar y/o evacuar con la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna?

1.3 FUNDAMENTO Y JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

El acelerado crecimiento urbano impermeabiliza los suelos donde esta se desarrolla produce alteraciones en el ciclo natural del agua, los sistemas de drenaje convencionales son insuficientes para controlar los caudales de escorrentía producto de las nuevas zonas de expansión urbana, ante esta situación se buscan otras alternativas de solución como los SUDS.

Los proyectos de drenaje pluvial urbano, no se desarrollan con frecuencia en el Perú, algo injustificado observando los altos niveles de precipitación pluvial que ocurren en algunas ciudades (Morales, 2014).

En nuestro país la aplicación de los SUDS es muy escaso, ya que aún no se ha considerado la formulación de una normativa que brinde los lineamientos técnicos para el diseño, construcción y mantenimiento de los SUDS, es por ello que se utilizan las normativas de otros países en donde es más común la aplicación de los SUDS (Lima & Quispe, 2018). Por otra parte, la normativa de nuestro país indica criterios técnicos para el diseño de un sistema de drenaje convencional para dar solución a las eventualidades que se producen por las intensas precipitaciones. Esto resulta ser otra limitante para dar solución al problema debido a que resulta muy costoso la implementación de este tipo de drenajes (Morales, 2014).

Por ello como justificación práctica, el diseño y la implementación de los SUDS, incidirá en la reducción de riesgos producidas por las inundaciones, además, evitará la conexión de los drenajes pluviales de los hogares hacia el sistema sanitario de la red pública por lo que impedirá el colapso de este.

Como justificación metodológica, se aplicará un nuevo modelo de drenaje para hacer frente a las eventualidades que producen las intensas precipitaciones en la Junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad Tacna.

Como justificación teórica, este estudio integrará la filosofía de un SUDS en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad. De igual

manera, será un precedente para futuras investigaciones relacionadas con los sistemas de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Tacna y/o de cualquier zona que se desee estudiar.

Como justificación social, este estudio permitirá maximizar la integración de valores ambientales, paisajísticos y culturales a la población de la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad, así como mejorar la calidad y el modo de vida de los habitantes o cualquier peatón que circule por las vías internas de la zona de estudio, a fin de que en épocas de lluvia no se sufran las consecuencias producto de estas eventualidades.

Como justificación técnica, esta investigación contribuye al estudio de los parámetros hidrológicos, hidráulicos y ambientales para el diseño de un SUDS en la junta vecinal Jesús María del Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad.

Como justificación económica, este estudio ayudará a reducir los costos de implementación de un sistema de drenaje pluvial puesto que resulta más económico implementar un SUDS a comparación con el sistema de drenaje convencional, así como también reducirá los costosos gastos de mantenimiento de las calles pavimentadas ya que estarán menos expuestas a la erosión que ocasiona la escorrentía superficial.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.

1.4.2 Objetivos Específicos

Identificar las áreas disponibles para la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.

Determinar el volumen de la escorrentía superficial que se podrá infiltrar y/o evacuar con la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.

1.5 ELABORACION DE HIPOTESIS

1.5.1 Hipótesis General

Es posible diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.

1.5.2 Hipótesis Específicas

Se cuentan con suficientes áreas disponibles para la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.

El sistema urbano de drenaje sostenible puede evacuar y/o infiltrar el volumen de la escorrentía superficial que se produce en la junta vecinal Jesús María del centro

poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna, mitigando los riesgos de inundación y favoreciendo la infiltración.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

La presente investigación presentó las siguientes limitaciones durante su desarrollo:

- En cuanto a la aplicabilidad de los distintos tipos de SUDS al área urbana de la junta vecinal Jesús María, se realizó desde el punto de vista descriptivo considerando las características propias del lugar y el estado del arte de cada tipo de SUDS.

- Se tomó como referencia las elevaciones de alcantarillas de los planos de alcantarillados de la ciudad de Tacna debido a los costos elevados del alquiler de los equipos topográficos para realizar los levantamientos.

- Para el modelado y diseño del sistema de drenaje urbano sostenible SUDS, se limitó al uso del software EPA SWMM 5.2. Puesto que el software permite el modelado y aplicación de sistemas SUDS también llamados sistemas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID).

- Para los datos de suelos se tomaron puntos de referencia dentro de la zona de estudio además se usaron estudios locales de proyectos ejecutados en la zona de estudio.

- La zona de estudio fue únicamente la Junta Vecinal Jesús María del Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1 Ámbito Internacional

Parada et al. (2020), en el artículo titulado “Drenaje urbano sostenible: una alternativa para Xalapa, Veracruz, México”, concluye que la aplicación de pozos de infiltración en la zona urbana de Xalapa, es viable de acuerdo a las características geotécnicas de la zona ,socialmente también resulta viable ya que los pobladores están dispuestos a realizar sus pozos de infiltración ,económicamente es viable porque resulta menos costoso la aplicación de este SUDS a comparación de los drenajes convencionales y, por último, ambientalmente resulta viable puesto que reducirá la carga pluvial en un 25% reduciendo los problemas de encharcamientos e inundaciones.

Hidalgo (2019), en su tesis titulada “Análisis hidrológico para el control de inundaciones mediante la aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenibles, en el Cantón Machala”, tuvo como objetivo principal analizar las áreas urbanas susceptibles a inundables ubicadas al norte del cantón Machala en Ecuador mediante estudios básicos de ingeniería y mediante modelaciones que permitan la implementación de alternativas urbano sostenibles de control a la ocurrencia de inundaciones, hizo uso del software SWMM 5.1 para la modelación hidrológica-hidráulica del sistema de drenaje urbano en los cuales analizo dos escenarios, el primero sin medidas de drenaje urbano

sostenible y el segundo aplicando medidas de drenaje sostenible las cuales son pavimentos permeables continuos y barriles de lluvia, llega a la conclusión de que la aplicación de los SUDS reducen en un 57.64 % el volumen de inundación.

Camargo & Lozada (2018), en su tesis titulada “Diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con autopista norte”, concluye que la implementación de un SUDS resulta ser viable debido a que reduce la escorrentía superficial y los niveles de contaminación, realizando un análisis económico determina que la aplicación de un SUDS resulta más económico a comparación con la rehabilitación de un sistema de drenaje convencional ya existente, el costo se reduce aproximadamente en 14.34%. Demostrando así la importancia de los SUDS desde el punto de vista constructivo, económico y ambiental.

Rojas (2017), en su tesis titulada "Análisis hidráulico de un sistema de drenaje urbano para el control de inundaciones, aplicando medidas sostenibles en la subcuenca del colector Caicedo, ciudad de Quito" tuvo como objetivo analizar el estado y el funcionamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial urbano de la subcuenca del colector Caicedo en Ecuador para tener un adecuado control de inundaciones aplicando medidas sostenibles, para lo cual mediante el software SWMM 5.0 realiza el modelado hidrológico e hidráulico de cuatro escenarios los cuales son: El sistema de drenaje urbano con el colector de alivio Caicedo sin SUDS, sistema de drenaje urbano sin el colector de alivio Caicedo y sin SUDS, sistema de drenaje urbano sin el colector de alivio Caicedo y con SUDS, sistema de drenaje urbano con el colector de

alivio Caicedo y con SUDS, llega a la conclusión de que al aplicar técnicas SUDS tales como: Cubiertas verdes, cuenca de bioretención, pavimentos permeables continuos; se logra un 38,36% de disminución de volumen de inundación.

Trapote & Fernández (2016), en su memoria de proyecto denominado “Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible en la provincia de Alicante, España”, tuvo como objetivo principal hacer un estudio de la disminución de caudales en la red de drenaje, al implantar SUDS en una cuenca urbana luego concluye que para la reducción de caudales en la red de drenaje, la alternativa más efectiva es implantar el parque inundable, debido a que es el sistema que más caudal puede almacenar eliminando así la carga pluvial en el sistema de drenaje, el segundo sistema más efectivo son los depósitos de infiltración, ya que se pueden aplicar en varios lugares, y se puede infiltrar una mayor cantidad de agua, en tercer lugar se encuentran los pavimentos permeables, debido al alto tráfico vehicular se busca que sea resistente , por lo que serán estructuras menos porosas siendo así menos permeables. Por último, el sistema menos efectivo son los jardines de lluvia y cubiertas vegetadas, ya que a diferencia de las anteriores este sistema no busca infiltrar el caudal proveniente de la precipitación sino reducirlo mediante la evapotranspiración de las plantas.

Morales (2014), en su investigación titulada “Estructuras de drenaje sustentable para elaborar proyectos de drenaje pluvial urbano – aplicado al barrio de Sumbre Angola”, concluye que:

- En la normativa peruana no se contempla un apartado en donde se refiere al diseño y aplicación de este tipo de proyectos como son los SUDS.
- No es recomendable usar estructuras de infiltración en terrenos propensos a licuación de suelos puesto que podría generar problemas por la infiltración del agua.
- La aplicación de SUDS en particular trincheras de infiltración, reduce el costo directo del proyecto en aproximadamente 13.70% a comparación con la aplicación del sistema de drenaje convencional (redes colectoras).

2.1.2 Ámbito Nacional

Lima & Quispe (2018), en su tesis que lleva por título “Evacuación de aguas pluviales aplicando técnicas de drenaje urbano sostenible en la localidad de Alto Libertad”, diseñó un sistema de drenaje urbano sostenible aplicando la alternativa de drenes filtrantes que pertenece a los SUDS, para evacuar el agua proveniente de la escorrentía superficial. Al usar este método se concluye que el agua es libre de impurezas en un 88%, es importante tomar en cuenta la eficiencia y capacidad de esta alternativa, pues bien, en la actualidad debido al cambio climático el agua viene a ser un recurso muy valioso como para desecharlo sin antes haberle dado un uso.

Maldonado & Paredes (2015), en su investigación denominada “Soluciones tecnológicas para el diseño de secciones permeables en vías urbanas en la ciudad de Tarapoto”, se plantea como objetivo diseñar una sección permeable discontinua de tal manera que en épocas de lluvia pueda infiltrar el caudal de la escorrentía y así evitar

inundaciones, está comprendida por agregados que permitan la rápida infiltración como la piedra chancada, arena gruesa y adoquines. Concluye que la sección permeable discontinua logra infiltrar parte del volumen de la escorrentía superficial así también ayuda a mantener un ligero tráfico vehicular al evitar grandes inundaciones o encharcamientos.

Cuti (2018), en su investigación titulada “Drenaje pluvial urbano en la localidad de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco”, concluye que es esencial contar con un estudio de topografía a detalle para hallar los datos de las cotas de descarga ya que si no se ubican adecuadamente se podría obstruir y/o destruir el colector por donde se va a evacuar el caudal de la escorrentía superficial de lluvia.

Vela & Cruz (2019), en su tesis titulada “Pavimentos permeables como sistema alternativo para el drenaje urbano en la localidad de Molinopampa, Amazonas, 2018”, Concluye que la aplicación de pavimentos permeables no siempre es la solución frente a los problemas que causa las precipitaciones ya que esta va a depender del tipo de suelo sobre el que se va a asentar la infraestructura , en este caso el suelo es poco permeable (arcillas arenosa), siendo así necesario la aplicación de un dren inferior para lograr evacuar el agua no infiltrada en el terreno natural, reduciendo el espesor de la sub-base de tal manera que sea capaz de resistir las cargas del tráfico vehicular para la cual fue diseñada .

2.1.3 Ámbito Local

Ticahuanca (2022), en su tesis titulada “Diseño de un sistema de drenaje pluvial sostenible en dos asociaciones de vivienda del distrito Gregorio Albarracín, Tacna, 2022”, diseñó un sistema urbano de drenaje sostenible SUDS aplicando la alternativa de concreto permeable y trincheras de infiltración los cuales son parte de los SUDS además se plantea como objetivo identificar las áreas disponibles para adaptar el diseño del SUDS en las Asociaciones de Vivienda Las Begonias y Eben Ezer del Distrito Crnl. Gregorio Albarracín Lanchipa, llegando a la conclusión de que existen siete zonas abiertas donde se pueden adaptar los SUDS, además que se pueden reemplazar 1m de ancho por la longitudinal de calle, con concreto permeable y las trincheras de infiltración con áreas de 1m de ancho por 5m de longitud, con profundidades de 0,40 m y 0,50 m respectivamente.

Ancachi (2022), en su tesis titulada “Diseño del sistema de drenaje pluvial urbano para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en la Av. Jorge Basadre Grohmann utilizando el software SWMM, en el distrito de Alto Alianza – Tacna”, aplica un sistema de drenaje pluvial urbano convencional compuesto por sumideros los cuales captan el agua de la escorrentía y los transportan mediante tuberías de diámetros nominales de 300mm, 450mm, 600mm, además contempla buzones de registro y de inspección para dar el mantenimiento adecuado, todo ello como un sistema el cual desemboca a un pozo de infiltración (Dry Well) en donde toda el agua captada se va a infiltrar lentamente hacia el suelo. También determinó que la intensidad

de precipitación de la zona de estudio y los parámetros que establecen la norma técnica CE.040 Drenaje Pluvial, tienen relación directa y significativa con el modelo de drenaje pluvial urbano del SWMM 5vE, con el fin de determinar el tipo de sumideros, diámetros de tuberías, profundidad de buzones, entre otros, para dar solución a la problemática de transitabilidad vehicular y peatonal para lluvias extraordinaria en la ciudad de Tacna.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Cambio Climático

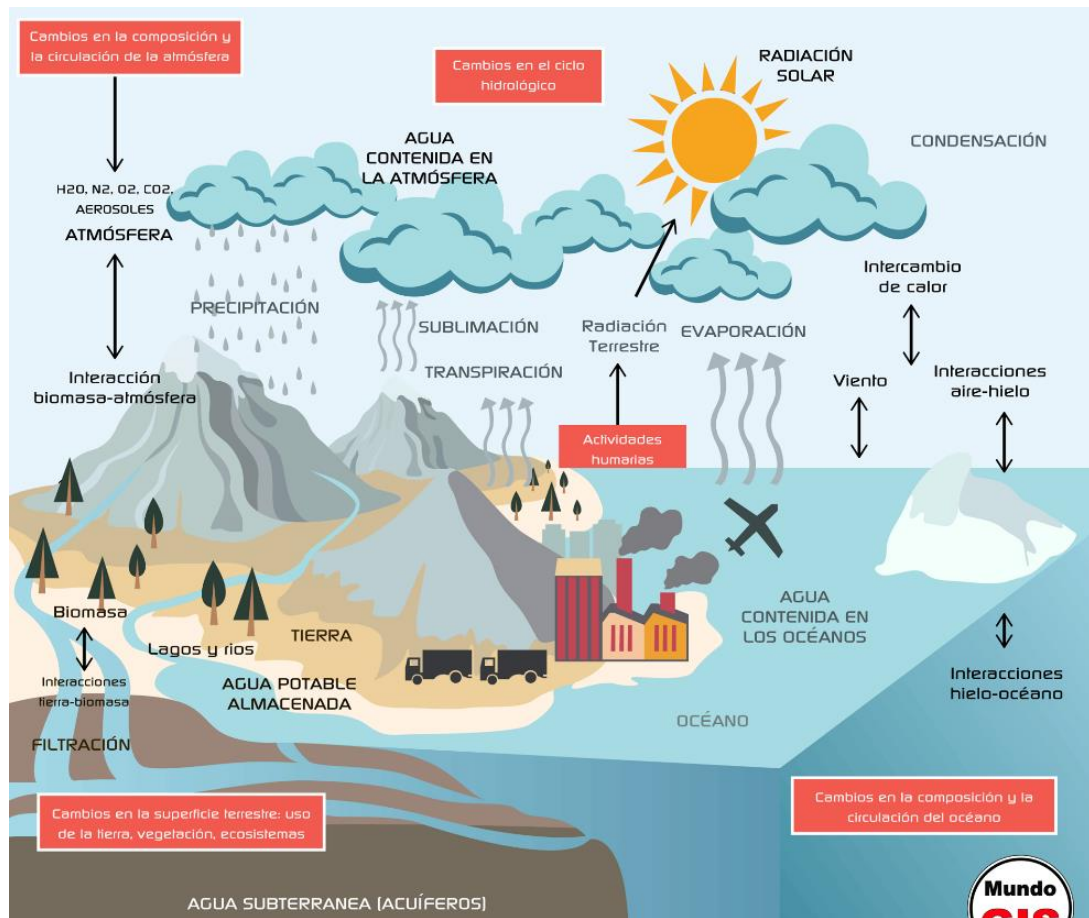
La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992) define al cambio climático como un cambio de clima el cual es originado por la actividad humana que altera la estructura y composición atmosférica del planeta esto sumado a la variable clima natural que se observa durante largos periodos de tiempo. El aumento global de las temperaturas puede influir en el ciclo natural del agua como se muestra en la Figura 2.

Los principales efectos que produce sobre el ciclo natural del agua son:

- Variaciones en las tasas de humedad en el ambiente y evaporación.
- Periodos de precipitación más largos.
- Mayor intensidad magnitud y frecuencia durante los eventos de lluvia.
- Largos periodos de sequias.

Figura 2

Impactos del cambio climático sobre el ciclo natural del agua



Nota: Tomada de (Centro virtual de información del agua, 2017).

2.2.2 El Ciclo Natural del Agua y El Impacto de la Urbanización.

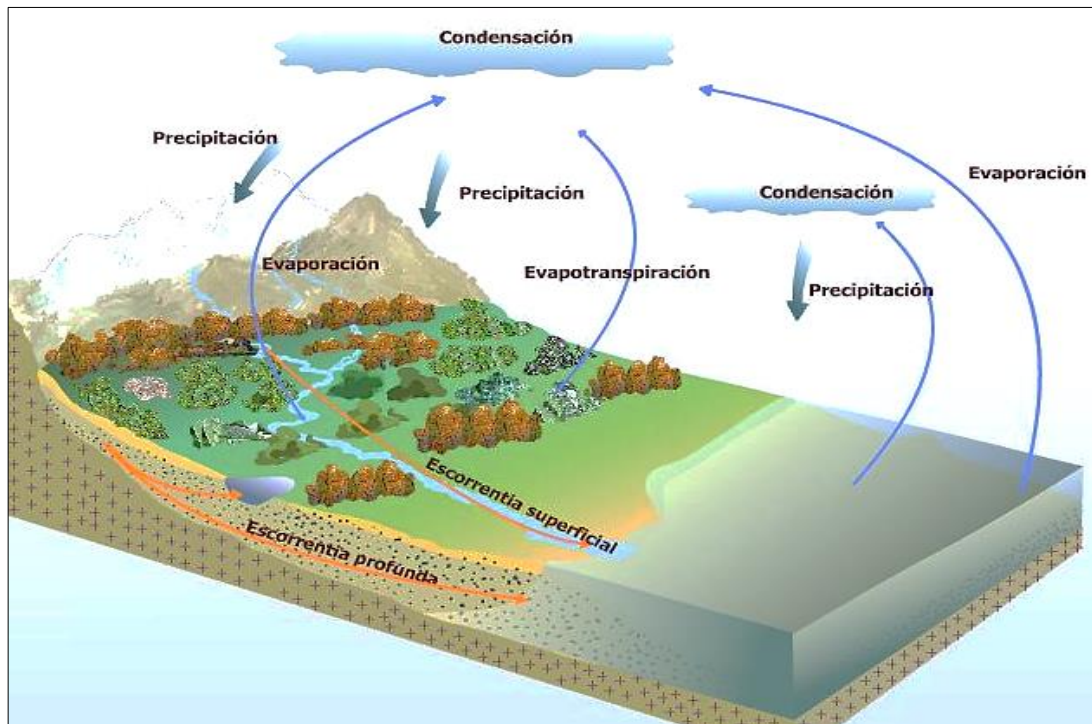
Cuando un entorno natural es urbanizado se impermeabiliza gran parte de las superficies a través de las edificaciones, vías, parqueaderos, etc. Esto hace que el agua de lluvia que anteriormente se infiltraba, ahora circule en las vías y sea importante

recolectarla, trasladarla y verterla sobre puntos específicos de la ciudad (Martínez, 2013).

Como consecuencia del proceso de urbanización se altera el ciclo natural del agua (Figura 3), originando mayores volúmenes de escorrentía y mayores caudales punta (Figura 4). Asimismo, no permite que el agua de lluvia se infiltre en el terreno y recargue los acuíferos (Martínez, 2013).

Figura 3

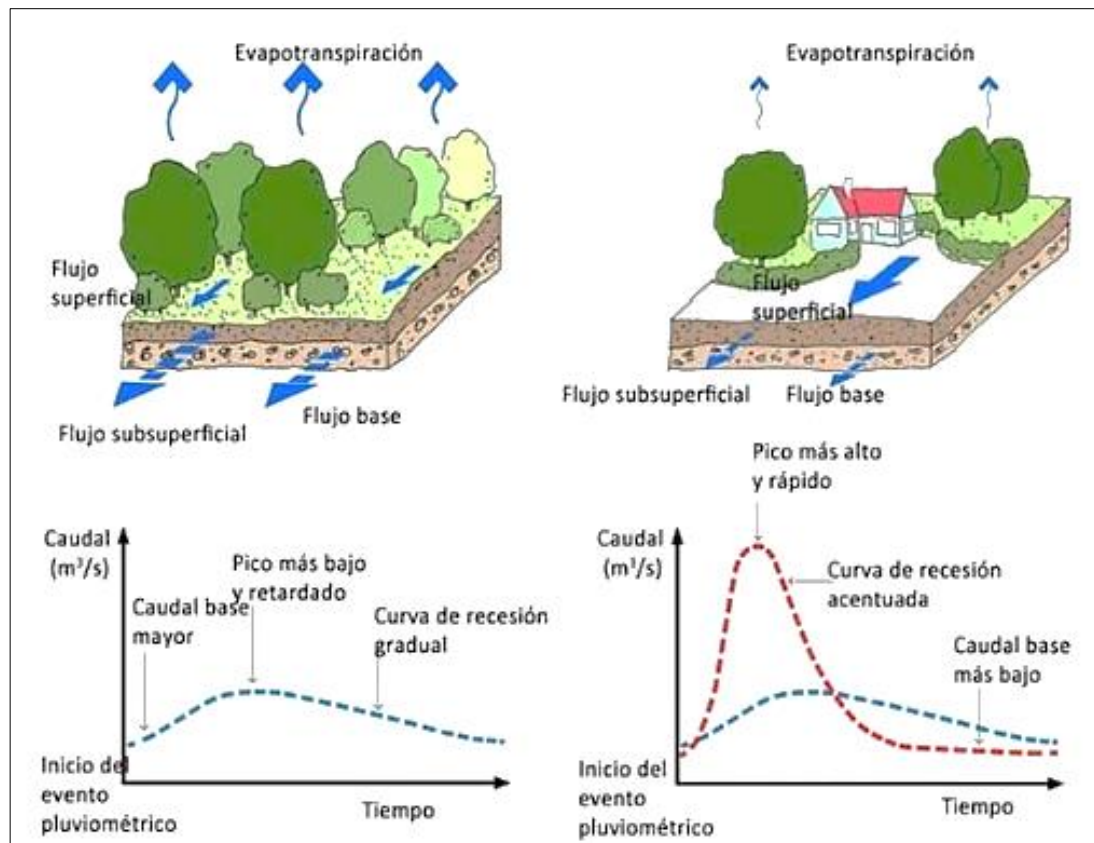
Ciclo natural del agua



Nota: Se muestra las distintas fases del ciclo natural del agua. Tomada de (García, 2011).

Figura 4

Comparación en la respuesta del caudal en un entorno natural y urbanizado



Nota: Se muestra en la izquierda el entorno natural y a la derecha el entorno urbanizado. Tomada de (Abellán, 2016).

Para hacer frente al impacto de la urbanización en el ciclo natural del agua (Figura 6), se debe hacer una buena gestión del agua pluvial urbana. Podemos definir al ciclo natural del agua como un conjunto de intercambio de agua entre la atmósfera, tierra y mar en sus tres estados: Sólido, líquido y gaseoso, todo esto se debe a la energía solar.

Cuando las gotas de agua caen por su propio peso se produce la precipitación sobre el suelo natural, entre 80% y 100% (según las características y condiciones del suelo), se infiltra en el suelo recargando los acuíferos, y el resto se pierde por evapotranspiración.

Cuando el suelo no es capaz de infiltrar las altas precipitaciones, se produce la escorrentía superficial el cual toma curso hacia los ríos o lagos. Se calcula que en un entorno natural el 90% del agua se gestiona sin generar escorrentía (Figura 5a).

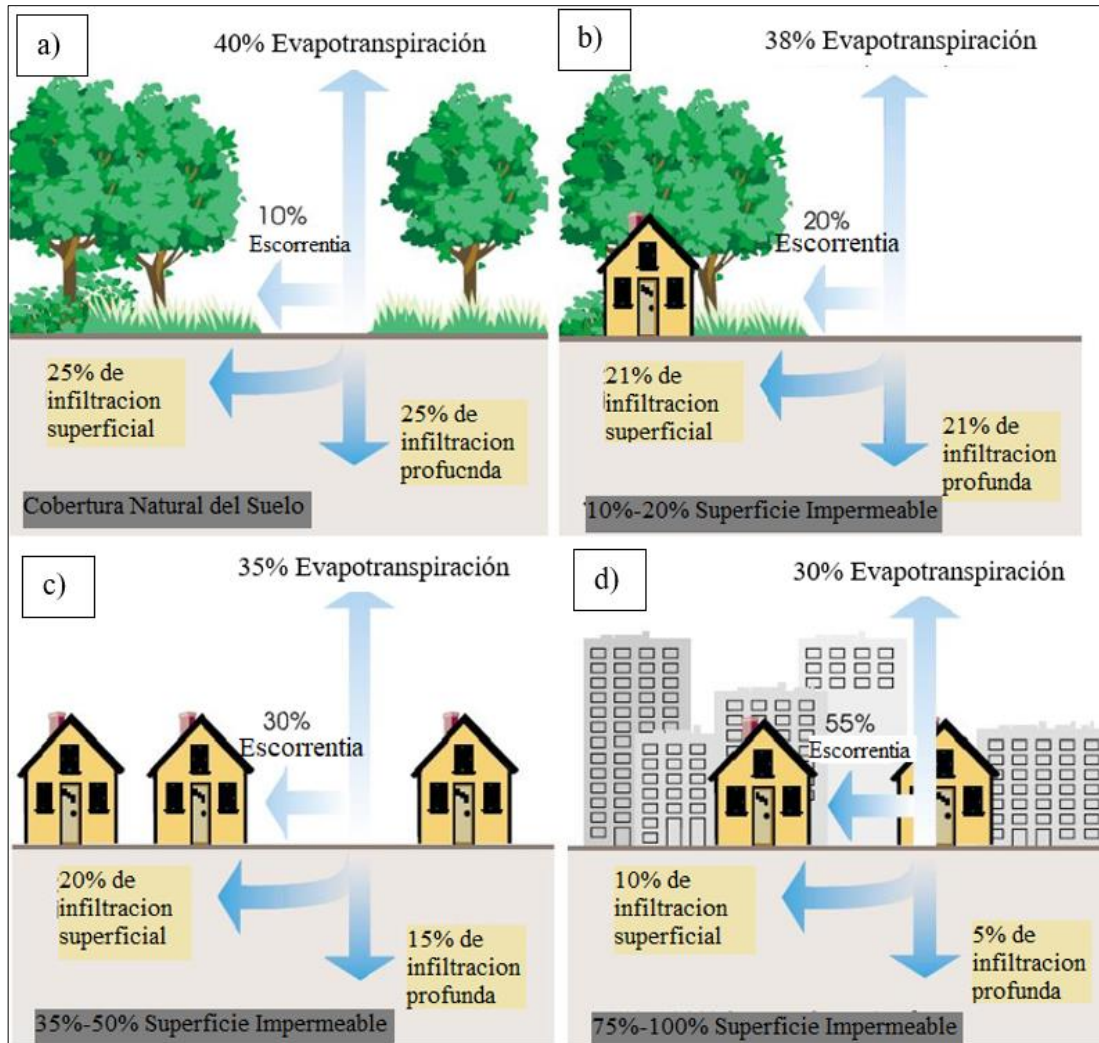
No obstante, el ciclo natural del agua en las ciudades se vio afectado debido al acelerado proceso de urbanización que da lugar a las inundaciones y otros problemas relacionados con las intensas precipitaciones.

En un entorno de baja urbanización como, por ejemplo, zonas rurales o zonas en las periferias de las ciudades el porcentaje de infiltración decrece generándose así un 30% de escorrentía superficial (Figura 5c).

Finalmente, en el caso de un entorno altamente urbanizado como son los núcleos de las ciudades, el porcentaje de infiltración resulta ser mínimo por lo que se genera un 55% de escorrentía superficial el cual es necesario drenar para tener una buena calidad de vida (Figura 5d).

Figura 5

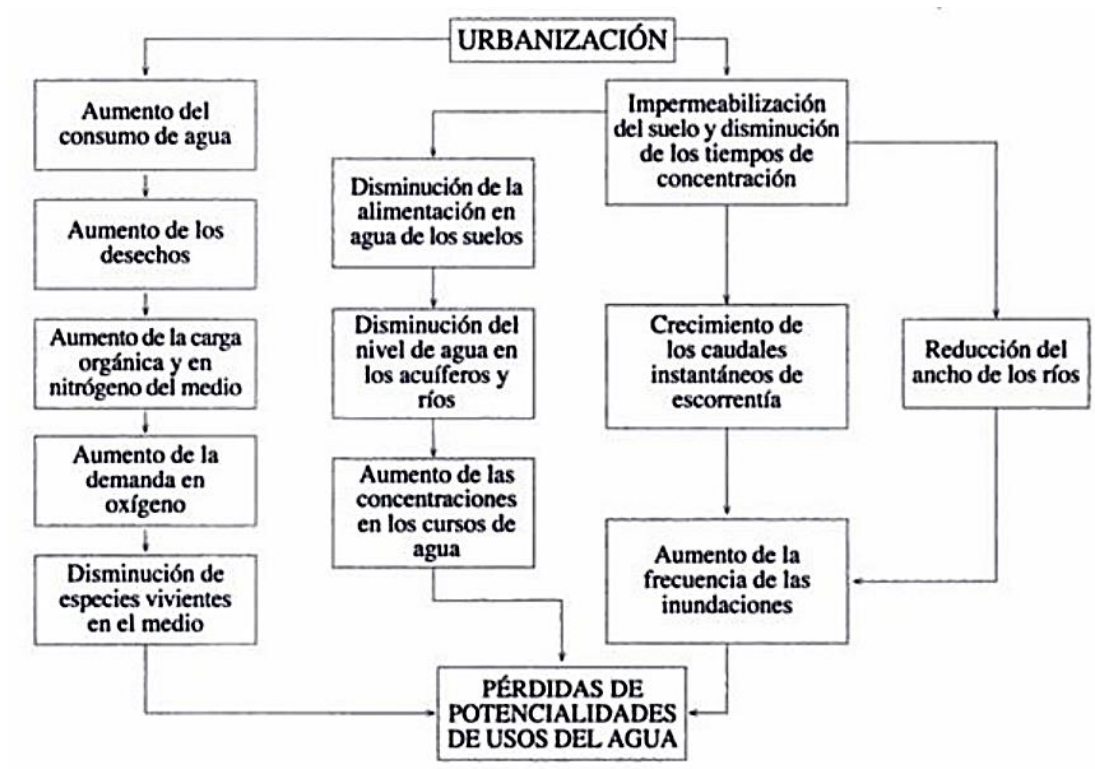
Efecto de la impermeabilización del suelo sobre el ciclo natural del agua



Nota: Se muestra los cambios con respecto al ciclo natural del agua y la acelerada urbanización. Modificado de (Rodríguez et al., 2017).

Figura 6

Impactos de la urbanización en el ciclo natural del agua



Nota: La urbanización trae consecuencias negativas en el ciclo natural del agua las cuales se muestran en la figura. Tomada de (Rojas, 2007).

2.2.3 Sistema de Drenaje Urbano

“Un sistema de drenaje urbano es un conjunto de elementos y estructuras encaminadas a captar, transportar y descargar los recursos hídricos urbanos, siendo su mayor propósito el de proteger a la población de las enfermedades y evitar contratiempos dentro de la vida cotidiana por efecto de inundaciones u otros problemas que se puedan suscitar dentro de las ciudades” (Rojas, 2017).

Existen diversas clasificaciones de los sistemas de drenaje urbano, de acuerdo a su planteamiento se tiene:

2.2.3.1 Sistemas Convencionales.

“Son el enfoque tradicional que se utiliza para gestionar las aguas pluviales de la ciudad, se basa en desalojar las aguas pluviales a través de canales superficiales y un drenaje a base de tuberías, y a su vez es mediante un sistema de drenaje combinado, donde las aguas pluviales se mezclan con las aguas de descarga doméstica e industriales”(Hidalgo, 2019).

Este tipo de sistemas al igual que la urbanización altera el funcionamiento normal de la cuenca y del ciclo hidrológico, ya que el agua al ser transportada por tuberías o conductos genera el aumento del caudal pico, el cual llega en menos tiempo a la parte baja de la cuenca, provocando inundaciones y contaminación aguas abajo.

2.2.3.2 Sistemas no Convencionales o Sostenibles.

Son sistemas diseñados para sustituir o complementar los sistemas de drenaje convencionales, permiten controlar y aprovechar el volumen de escorrentía durante las precipitaciones, y son una alternativa amigable con el medio ambiente ya que tratan de recuperar o simular el ciclo natural del agua.

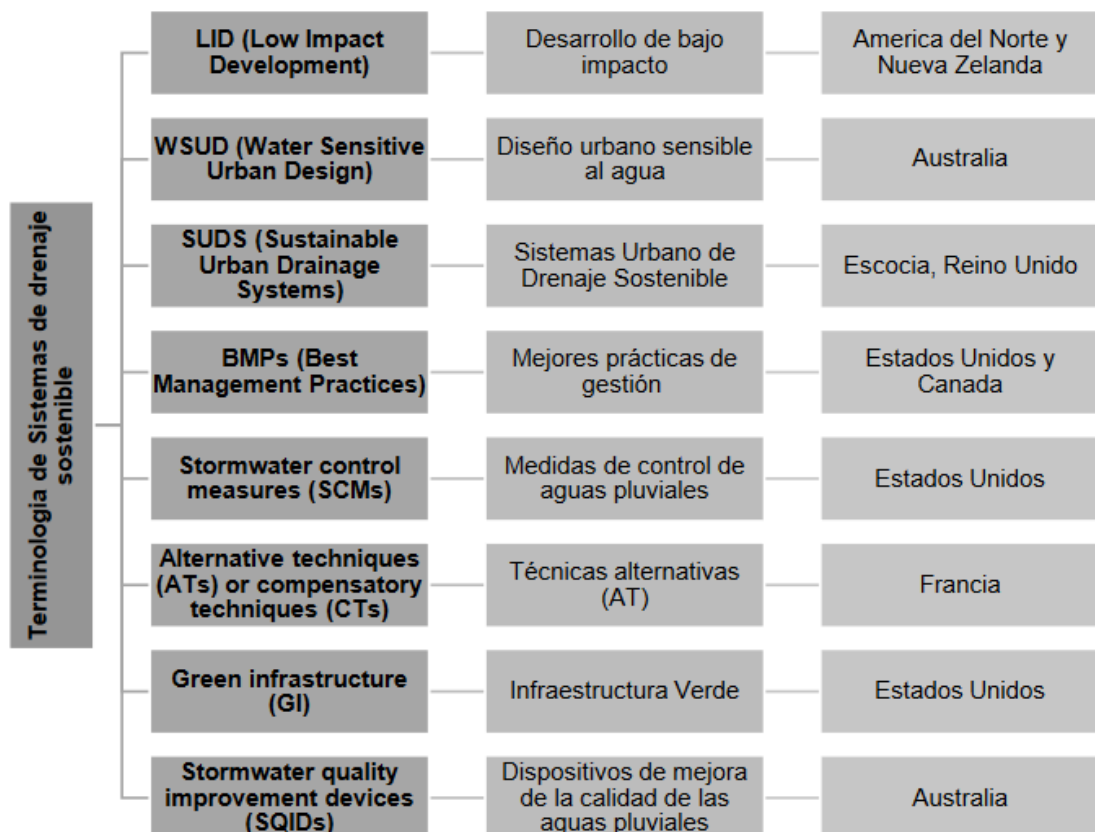
En este contexto es necesaria la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, la cual “promueve una transformación del modelo de gestión a través de cambios en la gobernanza, de modo que los sistemas de agua urbanos puedan transitar de un enfoque

lineal no integrado a sistemas de agua urbanos que estén imbricados en los nuevos desarrollos urbanos sostenibles”(Hidalgo, 2019).

Hidalgo (2019) afirma que en la actualidad se vienen aplicando en varios países técnicas de sistemas de drenaje sostenible bajo diferentes terminologías, pero con la misma finalidad tal y como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Esquema de la terminología empleada para sistemas de drenaje sostenible



Nota: Tomado de (Hidalgo, 2019).

A través del empleo de estas técnicas varias ciudades en el mundo optimizan el uso de sus redes de drenaje aliviando la carga pluvial circulante en el sistema de alcantarillado, mejorando la calidad del agua y optimizando costosos gastos en la gestión de las aguas pluviales urbanas.

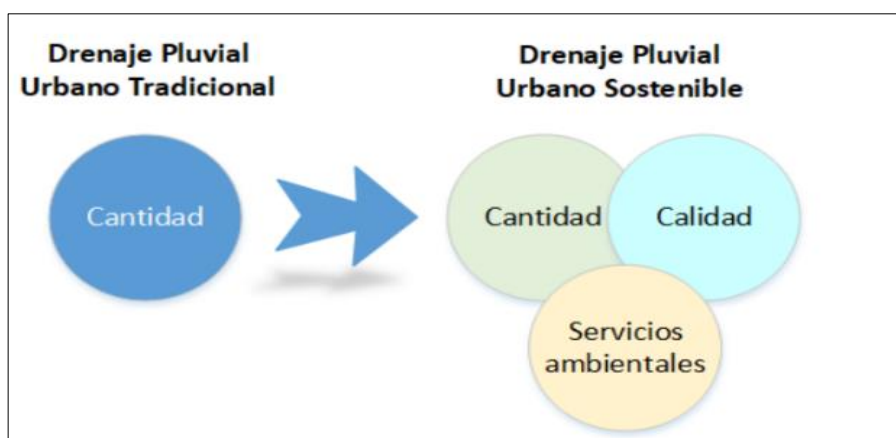
2.2.4 Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS)

La filosofía de los SUDS es reproducir, el ciclo natural del agua antes de la urbanización, reduciendo los efectos en cuanto a cantidad y calidad de la escorrentía superficial, así como también mejorar la integración paisajística y los valores socioambientales (Perales & Doménech, 2007).

Acorde con lo expresado anteriormente, la concepción moderna a que deben apuntar los estudios ambientales asociados al drenaje urbano se señala en la Figura 8 (Sardón, 2018).

Figura 8

Tendencias actuales que apuntan a la sostenibilidad de drenaje urbano



Nota: Tomada de (Sardon, 2018).

2.2.4.1 Clasificación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

Para realizar una primera clasificación según su principio de funcionamiento, es necesario conocer las posibles funciones hidrológicas que pueden realizar los SUDS:

- *Filtración:* Retención de sedimentos presentes en el agua de lluvia mediante procesos físicos, al hacer pasar la escorrentía a través de medios porosos, suelo artificialmente creado o vegetación.

- *Detención:* Almacenamiento temporal de la escorrentía y descarga laminada de esta a la red o punto de vertido, reduciendo de este modo los caudales pico y favoreciendo la sedimentación.

- *Tratamiento:* Se favorecen procesos físicos y biológicos, como la fitorremediación o las colonias bacterianas para metabolizar contaminantes presentes en la escorrentía y mejorar su calidad.

- *Retención:* Almacenamiento a medio plazo de la escorrentía para usos no potables o recreativos.

- *Infiltración:* Se favorece el flujo vertical y la recarga de acuíferos, permitiendo que la escorrentía fluya a través del subsuelo.

Es habitual que los SUDS no cumplan una única función, sino que, por sus características, puedan realizar dos o más. Incluso, variaciones en la configuración del sistema pueden hacer que una técnica SUDS se comporte de un modo u otro.

Además de clasificarlos según su funcionalidad, es habitual dividir a los SUDS en dos grupos atendiendo a la tipología de actuación a realizar, Perales & Doménech (2007) nos muestra la siguiente clasificación:

Medidas no Estructurales.

Las medidas no estructurales son las que previenen, la contaminación del agua además logra reducir la circulación de la escorrentía superficial hacia aguas abajo y su contacto con contaminantes.

Estas medidas serían:

- Educación y programas de participación ciudadana.
- Planificar y diseñar minimizando las superficies impermeables.
- Limpieza frecuente de superficies impermeables.
- Controlar la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.
- Controlar las zonas en obras para evitar el arrastre de sedimentos.
- Limitar el riesgo de que la escorrentía entre en contacto con contaminantes.

Medidas Estructurales.

Estas medidas son las que reducen en mayor grado la escorrentía superficial además de que se requiere de dos criterios urbanísticos importantes para su aplicación en las ciudades las cuales son: La situación del área del proyecto y el uso urbano existente. La situación limitará el uso de sistemas que mejoren aún más la infiltración, la filtración, la retención o la reutilización, y el uso del suelo determinará el tipo de SUDS a emplear en función de los objetivos y beneficios perseguidos por el sistema.

Rodríguez et al. (2017) presenta una síntesis de la información necesaria para elegir el SUDS más adecuado en función de la situación (Tabla 2) y del uso del suelo (Tabla 3).

Tabla 2









Integración de los SUDS en el medio urbano en función de la situación del área del proyecto

1. En las partes altas y medias de la ciudad deben utilizarse SUDS que fundamentalmente retengan e infiltren el agua pluvial, con el fin de reducir la cantidad y velocidad de la escorrentía que llega a las zonas bajas.
2. En las partes bajas de la ciudad deben implantarse sobre todo sistemas que infiltren el agua sobrante de la cuenca, con el fin de disminuir la frecuencia y gravedad de las inundaciones.
3. En aquellos lugares que se encuentren degradados y que tengan problemas de contaminación , deben utilizarse SUDS específicos para mejorar la calidad del paisaje y depurar el agua pluvial.
4. En todos los casos deben buscarse alternativas para reutilizar el agua infiltrada y retenida en usos no consuntivos o en la recarga de acuíferos, aumentando la cantidad de recursos disponibles

Nota: La situación del área del proyecto nos condiciona los objetivos que deben cumplir los tipos de SUDS a usar. Tomada de (Rodríguez et al., 2017).

Tabla 3

Integración de los SUDS en el medio urbano en función del uso urbano existente

USO	SUDS	DESCRIPCIÓN Y BENEFICIOS	EJEMPLO	OBJETIVOS
Edificación	Cubiertas vegetadas	-Sistemas multicapa instalados en los techos de las edificaciones, diseñados para retener el agua de lluvia, mejorar su calidad y permitir su reutilización en usos no consuntivos. Pueden ser intensivas (con vegetación de gran porte) o extensivas (de menor porte). - Mejoran el paisaje, disminuyendo la temperatura del edificio e implican al usuario en la gestión del agua.		
	Depósitos domésticos	-Depósitos de agua adosados a los edificios y conectados a sus cubiertas, que almacenan el agua de lluvia procedente de ellas permitiendo su reutilización en usos no consuntivos. -Aumentan los recursos hídricos disponibles e implican al usuario en la gestión del agua.		
	Pozos de infiltración	-Estructuras verticales generalmente subterráneas que infiltran el agua de escorrentía procedente de superficies impermeables (pavimentos, cubiertas...). -Disminuyen la temperatura del suelo y el riesgo de inundación.		
	Zanjas de infiltración	-Estructuras longitudinales generalmente rellenas con material granular, que infiltran el agua de escorrentía procedente de superficies impermeables (pavimentos, cubiertas...), transportándola a lugares para su infiltración. -Disminuyen la temperatura del suelo y el riesgo de inundación.		
Acera	Pavimentos adoquinados o modulares	-Superficies que retienen e infiltran el agua de escorrentía a través del espacio existente entre piezas. -Disminuyen la temperatura del suelo y el riesgo de inundación.		
	Jardines de lluvia	-Elementos vegetados insertados en las aceras que retienen, tratan e infiltran el agua de escorrentía procedente de la calzada. -Regeneran el paisaje, disminuyen la temperatura del suelo y el riesgo de inundación.		
Calzada	Pavimentos continuos	-Superficies que retienen e infiltran el agua de escorrentía a través de sus poros. -Disminuyen la temperatura del suelo y el riesgo de inundación.		
Calzada	Drenes	-Zanjas de material granular (pueden estar recubiertas por geotextiles), que depuran e infiltran el agua de escorrentía procedente de zonas impermeables. -Aumentan los recursos subterráneos y disminuyen el riesgo de inundación.		
Estacionamiento	Pavimentos de geoceldas	-Superficies que retienen e infiltran el agua de escorrentía a través del espacio existente entre piezas. -Disminuyen la temperatura del suelo y el riesgo de inundación.		
	Zanjas filtrantes	-Suelos de granulometría mixta con vegetación que retienen e infiltran el agua de escorrentía procedente de superficies impermeables. -Aumentan los recursos subterráneos y disminuyen el riesgo de inundación.		

Espacio libre	Cunetas verdes	<ul style="list-style-type: none"> -Canales vegetados anchos y poco profundos que infiltran y transportan el agua de escorrentía hasta las zonas de infiltración. -Regeneran el paisaje, aumentan los recursos subterráneos y disminuyen el riesgo de inundación. 		
	Estanques de retención	<ul style="list-style-type: none"> -Embalses superficiales que retienen, infiltran y depuran el agua de escorrentía procedente de otras zonas. -Regeneran el paisaje, aumentan los recursos subterráneos y disminuyen el riesgo de inundación. 		
	Humedales	<ul style="list-style-type: none"> -Estanques superficiales con una reserva permanente de agua que retienen, infiltran y depuran el agua de escorrentía procedente de otras zonas. -Regeneran el paisaje, aumentan los recursos subterráneos y mejoran la calidad del agua. 		
	Depósitos de infiltración	<ul style="list-style-type: none"> -Estructuras que infiltran, retienen y reutilizan el agua de escorrentía. -Aumentan los recursos subterráneos, recargan los acuíferos y disminuyen el riesgo de inundación. 		
OBJETIVOS: INFILTRACIÓN  DEPURACIÓN  RETENCIÓN  REUTILIZACIÓN 				

Nota: Para tener éxito con las medias propuestas, es necesario realizar un plan de mantenimiento para asegurar la conservación de los SUDS. Tomada de (Rodríguez et al., 2017).

2.2.5 Modelo de Gestión de Aguas Pluviales EPA SWMM 5.2 (Storm Water Management Model)

El modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM) de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) es un modelo dinámico de simulación de lluvia y escorrentía que se utiliza para la simulación de un solo evento o a largo plazo (continua) de la cantidad y calidad de la escorrentía principalmente en áreas urbanas (Rossman & Simon, 2022)

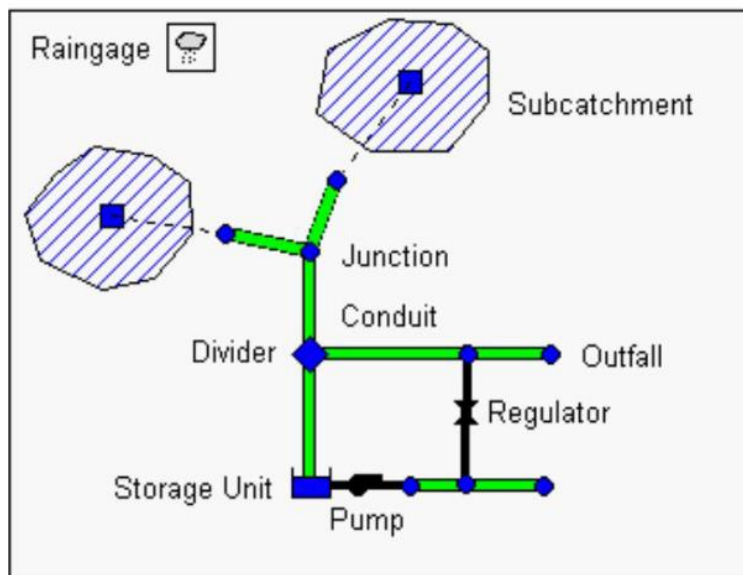
El software SWMM está conformado principalmente por dos componentes los cuales usan objetos físicos para su representación (Figura 9): El componente de

escorrentía de SWMM funciona con una serie de áreas de subcuencas que reciben lluvias y generan cargas de escorrentías y contaminantes. El segundo componente es el enrutamiento de SWMM, el cual transporta esta escorrentía a través de tuberías, canales, sistemas de instalaciones de almacenamiento/tratamiento, bombas y reguladores, etc.

Por otra parte, SWMM es capaz de rastrear la cantidad y la calidad de la escorrentía generada dentro de cada subcuenca, y la tasa de flujo, la profundidad del flujo y la calidad del agua en cada tubería y canal durante un período de simulación.

Figura 9

Objetos físicos utilizados para modelar un sistema de drenaje en SWMM

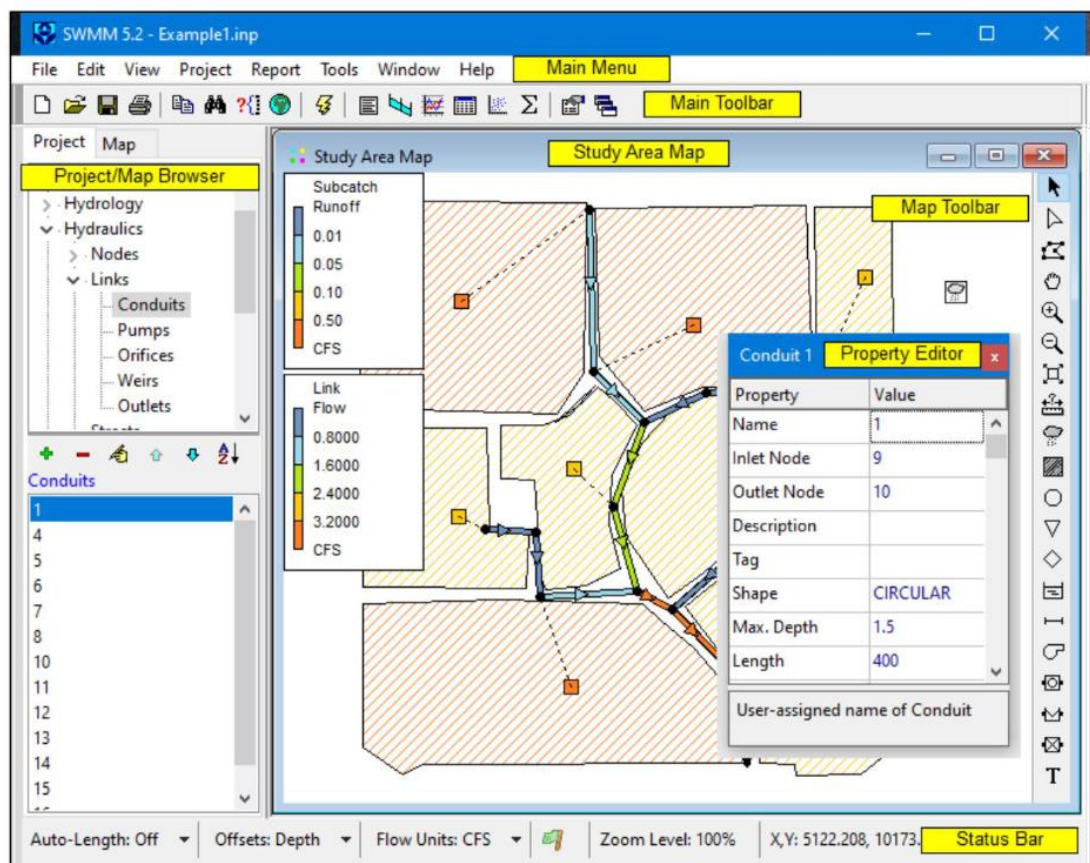


Nota: Los objetos físicos a usar para representar un sistema de drenaje pluvial dependerán de las características de la zona de estudio. Tomado de (Rossman & Simon, 2022).

La ventana principal de EPA SWMM se muestra en la Figura 10. Consta de los siguientes elementos de la interfaz de usuario: un menú principal, una barra de herramientas principal, una barra de estado, la ventana del mapa del área de estudio que contiene una barra de herramientas del mapa, un panel del navegador y una ventana del editor de propiedades.

Figura 10

Ventana principal de EPA SWMM



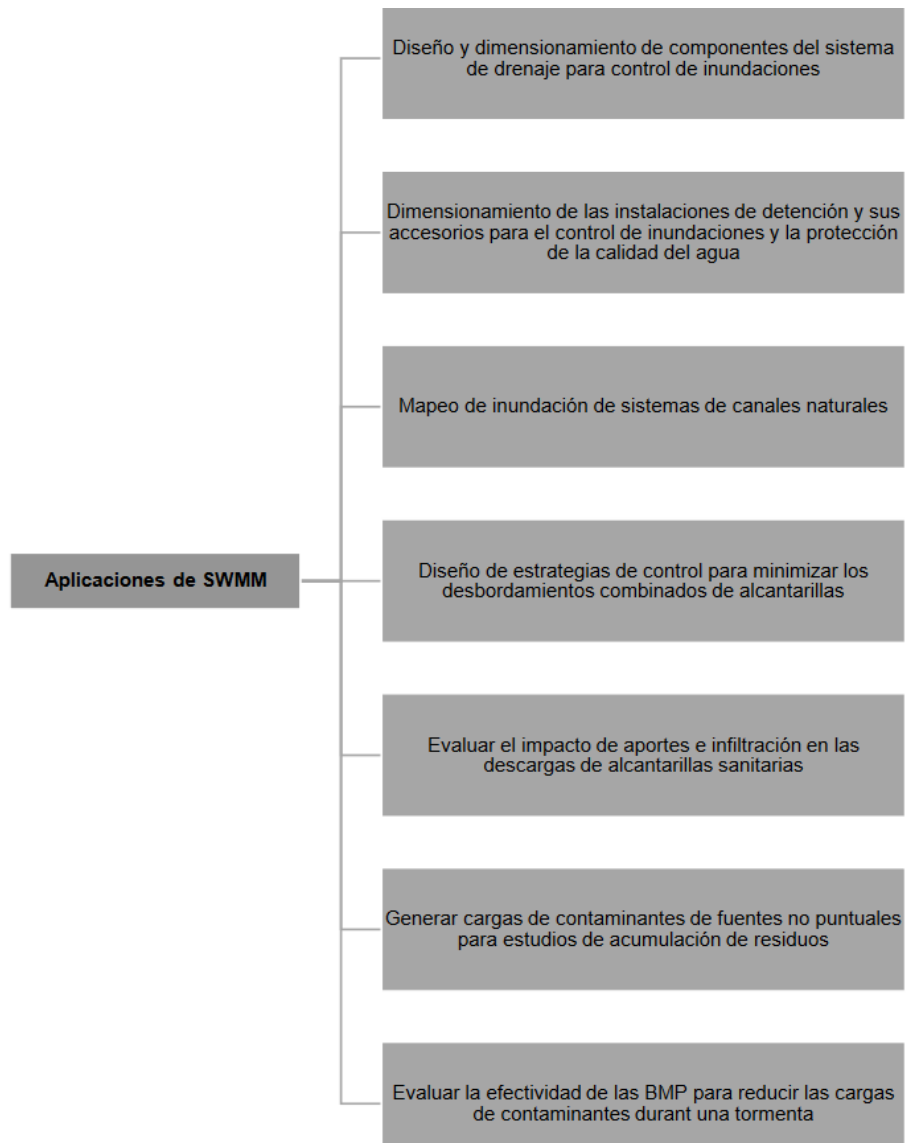
Nota: Tomado de (Rossman & Simon, 2022).

2.2.5.1 Aplicaciones Típicas de SWMM.

Desde sus inicios, SWMM se ha utilizado en estudios del área de alcantarillado y gestión de aguas pluviales en el mundo. Las aplicaciones típicas incluyen:

Figura 11

Esquema de las aplicaciones de SWMM



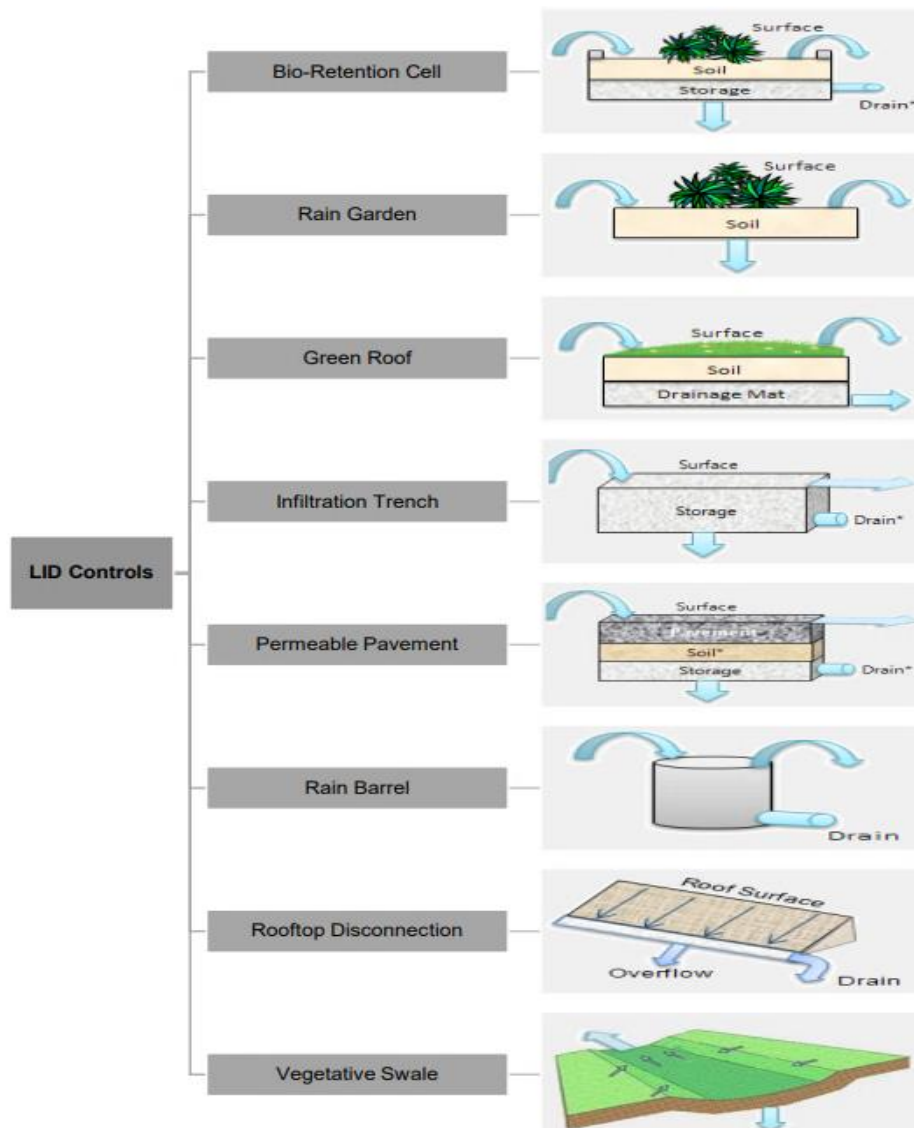
Nota: Tomado de (Hidalgo, 2019).

2.2.5.2 LID controls de SWMM.

El software SWMM 5.2 dispone de ocho tipos de LID Controls, cada una con características diferentes.

Figura 12

Tipos de LID controls disponibles en SWMM 5.2



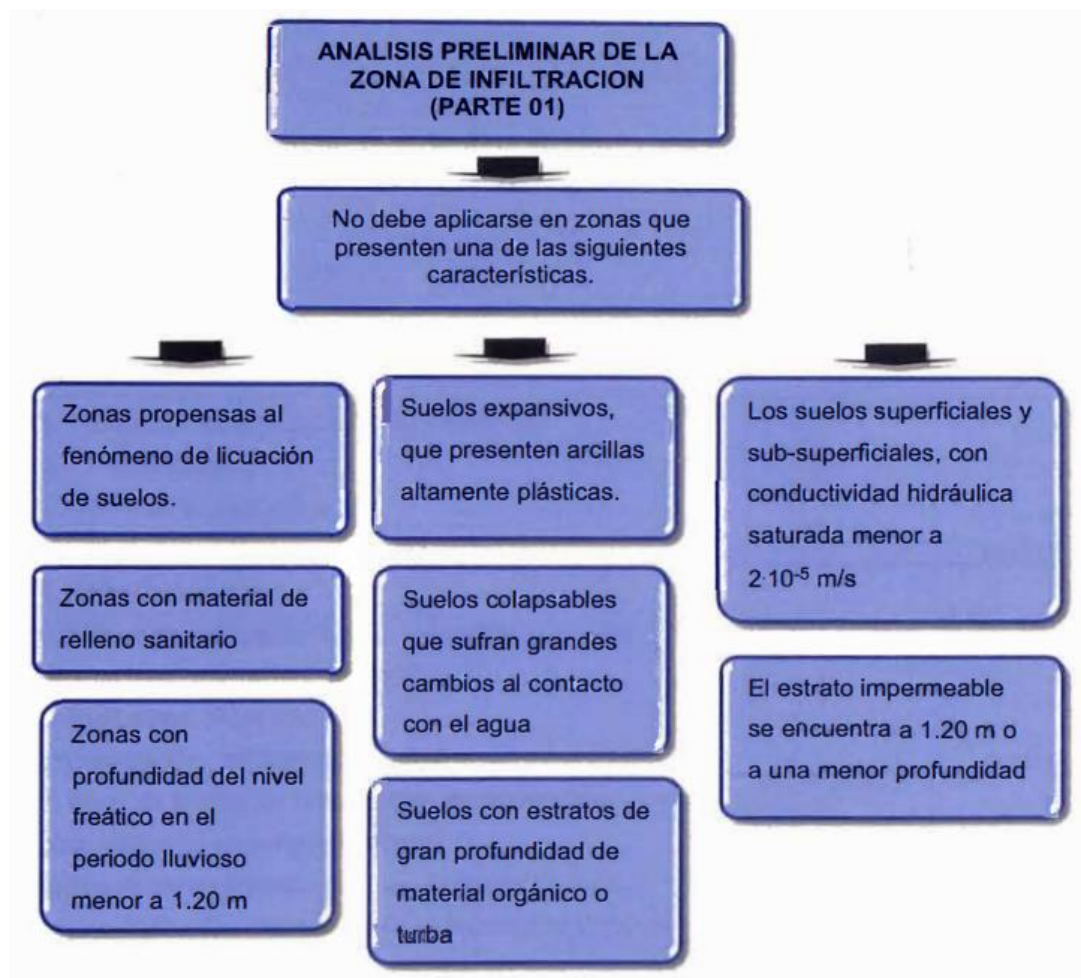
Nota: Tomado de (Rossman & Simon, 2022).

2.2.6 Tipos de SUDS a usar para la Presente Investigación

Para la elección del tipo de SUDS a usar en el área de estudio se debe tener en cuenta los criterios urbanísticos recomendados en el ítem 2.2.4.1 y las restricciones de la Figura 13; El uso del software SWMM 5.2 resulta ser otra limitante debido a que permite el modelado explícito de ocho tipos de SUDS (Figura 12).

Figura 13

Restricciones para la aplicación de una estructura de infiltración



Nota: Tomado de (Morales, 2014).

2.2.6.1 Pavimento Permeable Continuo.

Los pavimentos permeables continuos permiten que la esorrentía ingrese a las áreas de almacenamiento subterráneo, a la vez que permite el paso de personas o vehículos sobre ellos (Figura 14). El almacenamiento puede constituirse por grava, celdas o cajas reticulares, desde donde la esorrentía puede infiltrarse en el suelo o drenarse de manera controlada (Perales et al., 2021).

Características Principales.

- Permite reducir y mejorar la calidad de la esorrentía superficial debido a su capacidad de infiltración y retención de contaminantes.
- No son recomendables en zonas con gran producción de sedimentos finos ya que podría obstruir los poros del pavimento.
- No son aconsejables para zonas con intenso tráfico, etc.

Criterios de Diseño.

- En general han de tener una permeabilidad de 4.500 mm/h como mínimo.
- La pendiente longitudinal no debe exceder el 5%, siendo preferible que quede por debajo del 2%, para facilitar la captación.
- Para la infiltración, la permeabilidad del terreno debe ser $\geq 10^{-6}$ m/s y el nivel freático debe estar a más de 3 m por debajo de la base de la instalación.
- El tipo o capa de pavimento a usar dependerá de las cargas de tráfico a la cual estará expuesta este sistema.

Mantenimiento.

El pavimento de concreto permeable correctamente instalado y mantenido tiene una vida útil significativa, es por ello que según Laura & Quispe (2019), se pueden tomar las siguientes medidas de mantenimiento especificadas en la Tabla 4.

Tabla 4

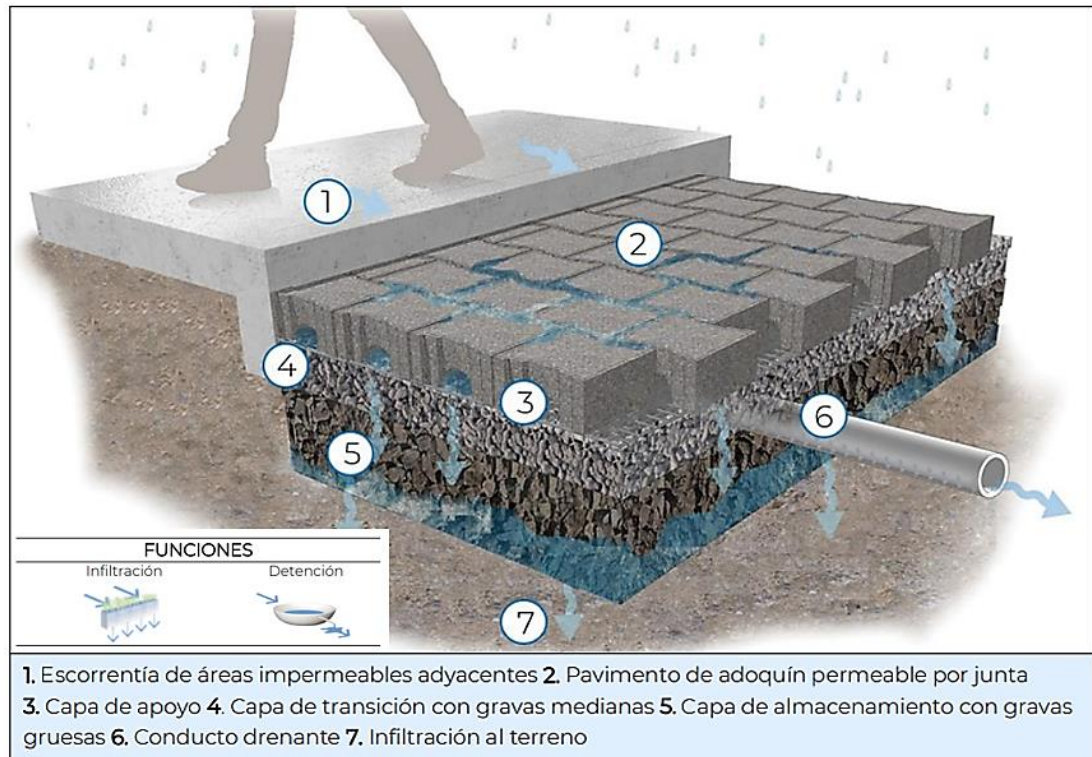
Actividades típicas de mantenimiento para el pavimento de concreto permeable

Actividad	Programa
Asegúrese de que no haya tierra sobre el pavimento	Mensual
Asegúrese de que el área este limpia de sedimentos	
Reparación de grietas y defectos que comprometan la seguridad vial	Cuando sea necesario
Siembra de vegetación en el área de aguas arriba	
Limpie con aspiradora para mantener la superficie libre de sedimentos	
Inspeccione la superficie para localizar los deterioros, astillamientos y acumulación de sedimentos.	Anualmente

Nota: Tomado de (Laura & Quispe, 2019)

Figura 14

Componentes del pavimento permeable



Nota: Tomada de (Perales et al., 2021).

2.2.6.2 Zanjas de Infiltración.

Las zanjas de infiltración son sistemas de drenaje que recogen, filtran y almacenan temporalmente la escorrentía para su posterior infiltración al suelo (Figura 15). Esta capacidad de almacenamiento lo consiguen al estar rellenos con materiales de alta porosidad. También deben incluir un geotextil superficial para facilitar el mantenimiento (Perales et al., 2021).

Características Principales.

- Reducen de manera significativa el volumen de escorrentía, infiltrándolo al terreno y mejorando la recarga de los acuíferos.
- No se recomienda en zonas muy cercanas a árboles y plantaciones, ya que la intrusión de raíces puede afectar negativamente al sistema.
- Para evitar la colmatación se recomienda colocar una capa superficial de 20 cm de gravas y un geotextil de sacrificio que se pueda limpiar y reemplazar si es necesario.

Criterios de Diseño.

- En cuanto a la geometría, la pendiente de las zanjas no debe exceder el 3 %, siendo mejor cuanto más horizontal, puede incluirse un tubo dren que facilite la distribución de la escorrentía a lo largo del sistema.
- La infiltración al terreno se puede considerar si la permeabilidad es mayor de 10⁻⁶ m/s y si el nivel freático se encuentra 1 m por debajo de la zona de depósito.

Mantenimiento.

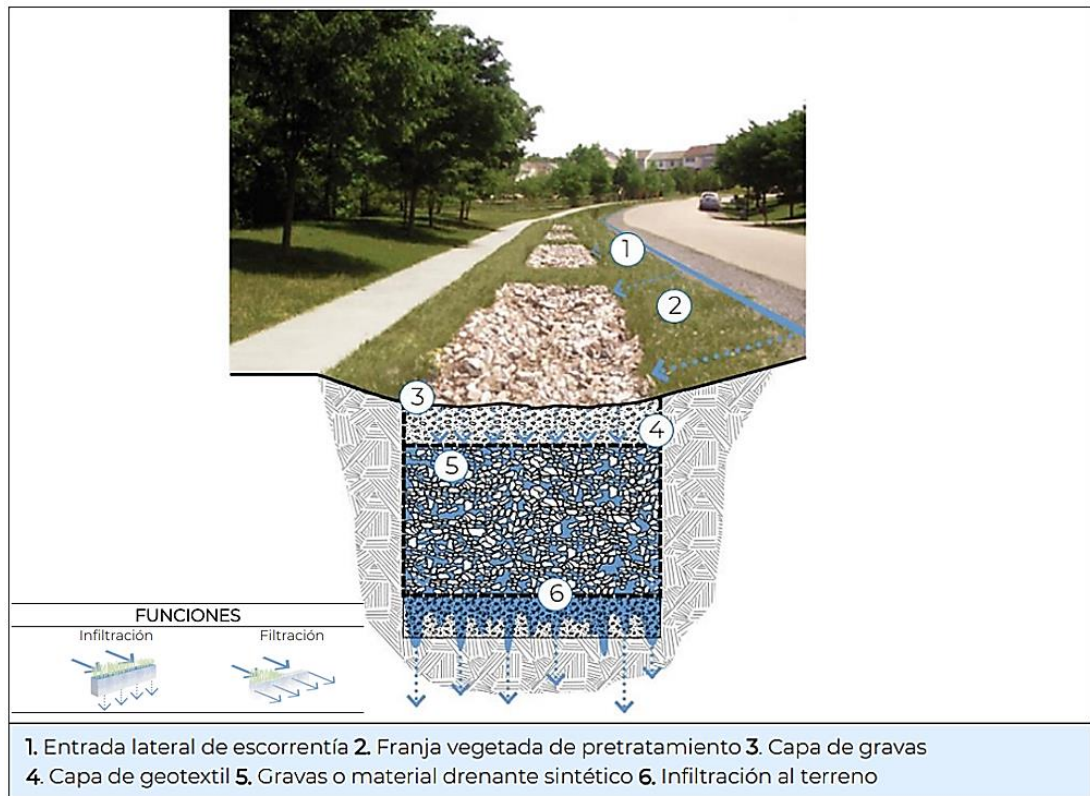
Según el Abellan et al. (2021), las principales tareas a realizar en el mantenimiento de estos sistemas son:

- Limpieza de áreas aportantes y de las capas filtrantes.
- Si hay vegetación cerca habrá que revisar que no le alcancen las raíces.
- Sustituir el geotextil en caso de rotura.

- Sacar y lavar el relleno en caso haga falta.

Figura 15

Componentes de la zanja de infiltración



Nota: Las zanjas suelen colocarse junto a elementos lineales como caminos o viales.

Tomada de (Perales et al., 2021).

2.2.7 Criterios de diseño para el pavimento permeable y la zanja de infiltración

El diseño es similar para ambas estructuras de infiltración, se divide, en las siguientes etapas: Ensayos de suelo, diseño estructural y diseño hidrológico.

Ensayos de suelo:

Se tiene que extraer muestras del terreno natural y someterlas a ensayos insitu de capacidad de carga y permeabilidad.

Diseño estructural:

En el caso del pavimento permeable se debe de seguir las indicaciones de la Figura 16, para la zanja de infiltración debido a que no soporta cargas de tráfico solo se debe de hacer ensayos de laboratorio con el fin de determinar la calidad del material que lo compone.

Diseño hidrológico:

Para el diseño hidrológico del pavimento permeable se usan los criterios recomendados en la guía técnica para el diseño de los SUDS en el Área Metropolitana de San Salvador (Abellan et al., 2021). El dimensionamiento hidrológico de la superficie permeable depende del volumen de precipitación necesario retener y/o infiltrar además de la conductividad hidráulica el cual debe ser elevado.

El dimensionamiento del volumen de almacenamiento se puede realizar mediante un balance de masas según la Ecuación 1:

$$V_A = V_E - V_S \quad (1)$$

Donde:

V_A : Volumen de almacenamiento (m³).

V_E : Volumen de entrada que equivale a la suma del volumen precipitado directamente sobre el pavimento permeable y los aportes del suelo impermeable (m³).

V_S : Volumen de salida del sistema (m3).

La salida de las aguas del sistema puede ser por infiltración total (toda el agua se infiltra), por infiltración parcial (sólo se infiltra una parte) o por dren colector (nada del agua se infiltra y sale conducida hacia el punto de vertido). La Ecuación 2 muestra la relación de estos conceptos.

$$V_S = V_I - V_D \quad (2)$$

Donde:

V_S : Volumen de salida (m3).

V_I : Volumen infiltrado en el suelo (m3)

V_D : Volumen de drenaje (m3)

La capacidad total de almacenamiento del sistema puede incluir la capacidad de la superficie porosa (concreto permeable), la de la base (capa filtrante) y la sub-base (depósito de almacenamiento) e incluso la de una lámina de almacenamiento sobre la superficie, es así que la Ecuación 3 representa de manera general el volumen de almacenamiento.

$$V_A = A_P * (H_{LA} + H_{CP} * \phi_{CP} + H_{CB} * \phi_{CB} + H_{CA} * \phi_{CA}) \quad (3)$$

Donde:

A_P : Área del pavimento permeable (m2).

H_{LA} : Altura de la lámina de agua sobre la superficie (m).

H_{CP} : Altura del concreto permeable (m).

Φ_{CP} : Porosidad del concreto permeable.

H_{CB} : Altura de la base (m).

Φ_{CB} : Porosidad de la base.

H_{CA} : Altura de la sub-base (m)

Φ_{CA} : Porosidad de la sub-base.

Verificación de las dimensiones de la base y súbase:

El cálculo del volumen de almacenamiento según el balance de masas presentado en la Ecuación 1 se puede desarrollar mediante el software SWMM 5.2 ya que realizarlo manualmente resultaría un tanto complicado debido a la cantidad de parámetros hidrológicos, hidráulicos y ambientales que involucra su proceso.

Según la guía técnica para el diseño de los SUDS en el Área Metropolitana de San Salvador (Abellan et al., 2021), generalmente se dimensiona para que todo el volumen de almacenamiento se acumule en la sub-base (depósito de almacenamiento), quedando las capas superiores sin saturar. Esto requiere dimensiones mayores, pero deja un margen de seguridad.

Asimismo, para el diseño hidrológico de las zanjas de infiltración se puede realizarse tal y como se indica en el diseño hidrológico del pavimento permeable. Las zanjas de infiltración están restringidas a lugares con pendientes menores a 6%, ya que se requieren velocidades bajas para promover la infiltración. Según la guía técnica para el diseño de los SUDS en el Área Metropolitana de San Salvador (Abellan et al., 2021),

para no perder mucha capacidad de almacenamiento, es conveniente dividir la zanja a lo largo en tramos de longitud máxima, mediante la Ecuación 4.

$$L_{max} = \frac{H_z}{2S} \quad (4)$$

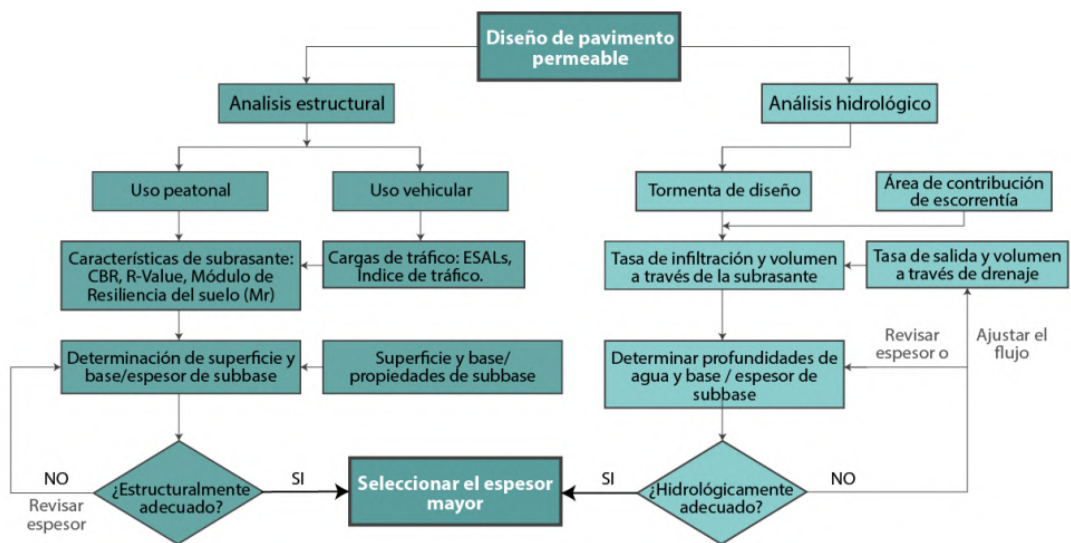
Donde:

H_z = Profundidad de la zanja

S = Pendiente del terreno (m/m)

Figura 16

Esquema para el diseño de pavimentos permeables



Nota: Tomado de la guía técnica para el diseño de los SUDS en el Área Metropolitana de San Salvador (Abellan et al., 2021).

2.2.8 Delimitación de una cuenca urbana

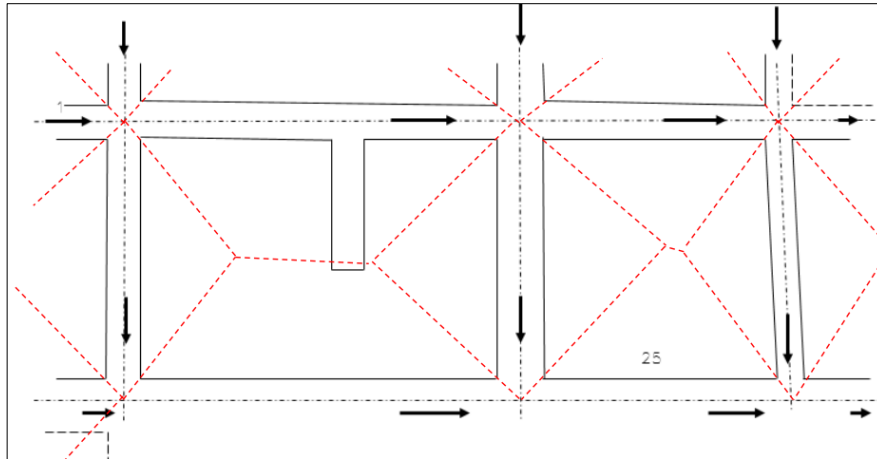
Una cuenca urbana se da debido a la urbanización en las cuencas naturales, lo que modifica su respuesta hidrológica frente a un determinado evento meteorológico (precipitación).

Para la delimitación de una cuenca urbana es necesario disponer de un plano catastral o de manzaneo, elaborado por el municipio que rige la ciudad. Esto permite calcular áreas y pendientes (sentido de flujo). Para el desarrollo de la presente investigación se usará el método de la “Aplicación por vías” (Figura 17), este método se utiliza para determinar las áreas tributarias para cada vía en su zona perimetral.

El método de aplicación por vías consiste en trazar bisectrices en las esquinas de las manzanas y prolongándolas hasta que se intercepten al interior de ellas. Para facilitar el trazado se utilizan como límite los ejes de las calles. Una vez delimitadas las áreas se indica el sentido del flujo en todas las calles, utilizando flechas.

Figura 17

Ejemplo de delimitación de cuenca urbana por el método de aplicación por vías



Nota: Las bisectrices inician desde la intersección de los ejes viales hasta que se intercepten dentro de la manzana. Elaboración propia.

2.2.9 Modelación Hidrológica

2.2.9.1 Tiempo de concentración

Según la Norma Técnica CE.0.40 (2021), “es el tiempo que demora una gota de lluvia desde el punto más alejado de la cuenca al punto de interés”, así también la norma específica que no debe ser menor a 10 minutos.

Para determinar este parámetro la Norma Técnica CE.0.40 (2021) indica los distintos métodos y formulas a usarse, siendo una de estas la ecuación de Kirpich (1940) (Tabla 5).

Tabla 5

Método de Kirpich para la estimación del tiempo de concentración

METODO Y FECHA	FORMULA PARA t_c (min)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0,01947 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$ $t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$ L : Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m S : Pendiente promedio de la cuenca, m/m	Desarrollada a partir de información del SCS de siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3% a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto, multiplicar t_c por 0,4; para canales de concreto, multiplicar por 0,2; sin ajustes para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.

Nota: El tiempo de concentración nos permite obtener el máximo valor de intensidad de precipitación. Tomado de (Norma Técnica CE. 0.40, 2021).

2.2.9.2 Curva Intensidad -Duración-Periodo de retorno (IDT).

La curva IDT representa el comportamiento pluviométrico de una zona. Una curva IDT establece la relación intensidad media máxima para cada duración de precipitación, en un determinado nivel de probabilidad o periodo de retorno.

Para generar la familia de curvas de intensidad-duración-período de retorno (IDT), es necesario contar con registros pluviograficos continuos sin embargo estos son escasos, lo común es contar con registros pluviométricos los cuales registran datos de lluvias diarias medidas cada 24 horas. Por lo tanto, es importante desarrollar métodos tendientes a obtener relaciones de intensidad, duración y período de retorno basados en datos de precipitación diaria (Villón, 2012).

Para el desarrollo de las curvas IDT se usa el modelo de discretización de Grobe, también conocido como Dyck y Peschke, el cual permite a partir de datos de

precipitaciones máximas diarias generar las curvas de intensidad-duración-período de retorno (IDT) mediante la Ecuación 5:

$$P_D = P_{24h} \times \left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25} \quad (5)$$

Donde:

P_D = precipitación máxima de duración D, en mm

P_{24h} = precipitación máxima de 24 horas, en mm

D = duración de la precipitación, en horas

Para obtener la ecuación general de las curvas IDT se aplica la Ecuación 6:

$$I_{max} = \frac{K \times T^m}{D^n} \quad (6)$$

Donde:

I_{max} : Intensidad máxima, en mm/hr.

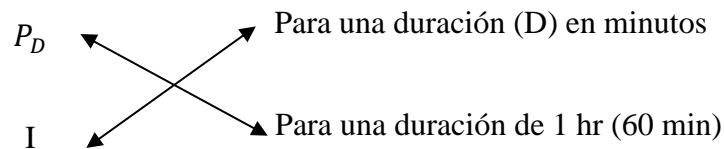
T: periodo de retorno, en años.

D: Duración en min.

Los pasos para generar la familia de curvas de intensidad-duración-período de retorno (IDT) son los siguientes:

- Recopilar información de precipitaciones máximas de 24 horas.
- Descomponer la precipitación de 24 horas, en diferentes duraciones.
- Transformar la precipitación máxima en mm a intensidades en mm/hora.

Dado que la intensidad máxima representa la precipitación máxima en milímetros durante una hora (60 minutos), se aplica la “Regla de tres” para convertir la intensidad máxima:



De donde se obtiene la Ecuación 7:

$$I = \frac{60 \times P_D}{D} \quad \text{en mm/hr} \quad (7)$$

- En base a los datos anteriores definir la familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación de estudio, a partir de los puntos con igual periodo de retorno.

2.2.9.3 Tormenta de Diseño

En ocasiones no basta con tener el dato de la precipitación máxima (P_{max}) para cierto lapso de tiempo (h) con un determinado periodo de retorno (T), ya que es posible que se requiera saber la evolución de esa precipitación máxima (P_{max}) a lo largo de ese lapso de tiempo (h); Para esto se requiere de elaborar un hietograma de diseño, el cual representara gráficamente la distribución de las precipitaciones producidas a lo largo de ese lapso de tiempo (h) con un determinado periodo de retorno (T).

Para elaborar el hietograma de diseño se usa el método de bloques alternos el cual se basa en el uso de las curvas de intensidad – duración – periodo de retorno (IDT).

Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño y tener la curva IDF, se lee en ella la intensidad para cada intervalo de duración y se calcula la profundidad de precipitación multiplicando la intensidad y la duración. Luego, la cantidad de precipitación correspondiente a cada intervalo de duración es la diferencia entre los valores sucesivos de profundidad de precipitación. Y para formar el hietograma de diseño los bloques o incrementos se redistribuyen de forma ordenada, de manera que el bloque de lluvia de mayor intensidad quede en el centro de la duración total y los demás se ubican en forma alternada hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central (Hidalgo, 2019).

2.2.9.4 Infiltración

2.2.9.4.1 Modelo de Horton.

En 1933 Horton propuso una de las primeras ecuaciones de infiltración, observó que la infiltración comienza en una determinada tasa f_0 y decrece exponencialmente hasta alcanzar una tasa constante f_c tal y como se muestra en la Ecuación 8:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) * e^{-kt} \quad (8)$$

Donde:

f_t : Capacidad de infiltración en el instante t en mm/h

f_c : Valor constante de la capacidad de infiltración en estado de saturación del suelo en mm/h.

f_0 : Valor máximo de la capacidad de infiltración al comienzo de la lluvia en mm/h.

k : Constante de decaimiento, conductividad (1/h)

t : Tiempo transcurrido desde el comienzo de la lluvia en horas (h).

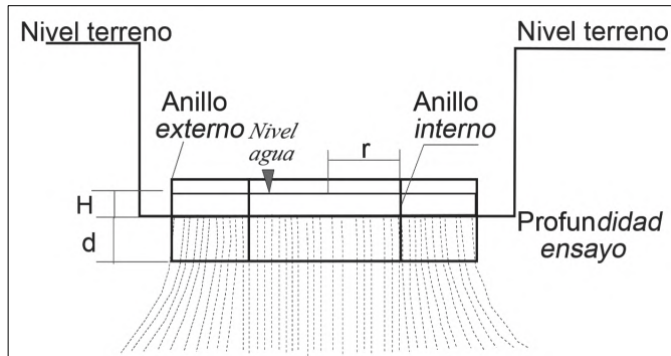
Según la Ecuación 4, la capacidad de infiltración f_t disminuye con el tiempo transcurrido desde el inicio de la precipitación, tendiendo hacia la capacidad de infiltración en estado de saturación del suelo (capacidad mínima de infiltración, f_c).

2.2.9.4.2 Método del Anillo de Infiltración Doble.

Según el instructivo del Programa de Servicios Agrícolas Provinciales de Argentina (PROSAP, 2019), el método de anillo de infiltración doble consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos y luego medir el cambio en el nivel del agua en el cilindro interior (Figura 18), es probable que el suelo este seco o semihúmedo al comienzo del experimento y por lo tanto en condiciones no saturadas los valores inicialmente muy elevados disminuirán rápidamente debido a la presión ejercida por la columna de agua.

Figura 18

Esquema de ensayo del doble anillo



Nota: Donde H = altura de lámina de agua, d = profundidad de hincado de anillos y r = radio anillo interno (líneas punteadas indican direcciones asumidas para las líneas de flujo). Tomada de (Macías et al., 2018).

Es recomendable realizar hasta tres ensayos simultáneamente en sitios adyacentes con propiedades de suelo similares; esto elimina los efectos de la variabilidad espacial del suelo en mayor medida que si solo se realizara un ensayo. Se debe buscar emplazamientos a menos de 10 metros de distancia y, a ser posible, cerca de una calicata descrita y así disponer de información detallada acerca del suelo (PROSAP, 2019).

El procedimiento estándar adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), puede ser revisado en la norma D 3385 – 9403.

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

▪ **Caudal:** Es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente. Se pueden relacionar el caudal (Q) con la velocidad (V) a través del área transversal de flujo (A)” (Mataix 1986, p. 92).

▪ **Drenaje urbano convencional:** Morales (2014) explica que los drenajes urbanos denominado convencionales, son aquellos sistemas que buscan la evacuación rápida de las aguas pluviales a un cuerpo receptor mediante sumideros y redes colectoras.

▪ **Escorrentía superficial:** Castro et al. (2005) considera que la escorrentía superficial es el caudal que transita sobre el terreno y sobre las edificaciones, es decir, la porción de agua que no ha sido infiltrada por el suelo, ni se ha evaporado a la atmósfera, y es por consiguiente lo que se desea evacuar.

▪ **Intercepción:** “Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora” (Castro et al., 2005).

▪ **Periodo de retorno:** Intervalo medio de recurrencia de un evento medio de igual o mayor magnitud (Norma Técnica CE.0.40, 2021).

▪ **Precipitación:** Es el fenómeno atmosférico que incluye la contribución de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo (Jimenez & Galizia 2012, pag 69).

▪ ***Sistema de Drenaje urbano:*** Vásquez (2016) Indica que un sistema de drenaje pluvial urbano es un conjunto de acciones, materiales o no, que tiene como fin evitar, que las aguas pluviales causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana.

▪ ***Tasa de infiltración:*** La tasa de infiltración es la velocidad que tarda el agua en infiltrarse en el suelo y se expresa en (mm/h) (Castro et al., 2005).

▪ ***Tiempo de concentración:*** Tiempo que demora una gota de lluvia desde el punto más alejado de la cuenca al punto de interés (Norma Técnica CE.0.40, 2021).

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION

3.1.1 Tipo de Investigación

Busca conocer, evaluar y modificar una realidad problemática a su vez describe sistemáticamente las características de una población o área de interés, por lo tanto, corresponde a una investigación del tipo Aplicada-Descriptiva (Borja, 2012).

3.1.2 Nivel de Investigación

Es perceptual, ya que implica conocimiento externo y superficial del evento, para precisar aquellos elementos que resultan evidentes además corresponde a una investigación cuyos objetivos corresponden a la exploración del área de estudio y describir algún problema de investigación (Borja, 2012).

3.2 POBLACION Y MUESTRA

3.2.1 Población

Según Levin & Rubin (1996), la población es el conjunto de todos los elementos que hemos estudiado, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones; bajo esta premisa la presente investigación tiene como población a la junta vecinal Jesús María ubicada en el Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad del distrito de Tacna, Provincia de Tacna, departamento de Tacna y a la expansión del área de influencia de estudio que involucra las calles y viviendas adyacentes a la junta vecinal

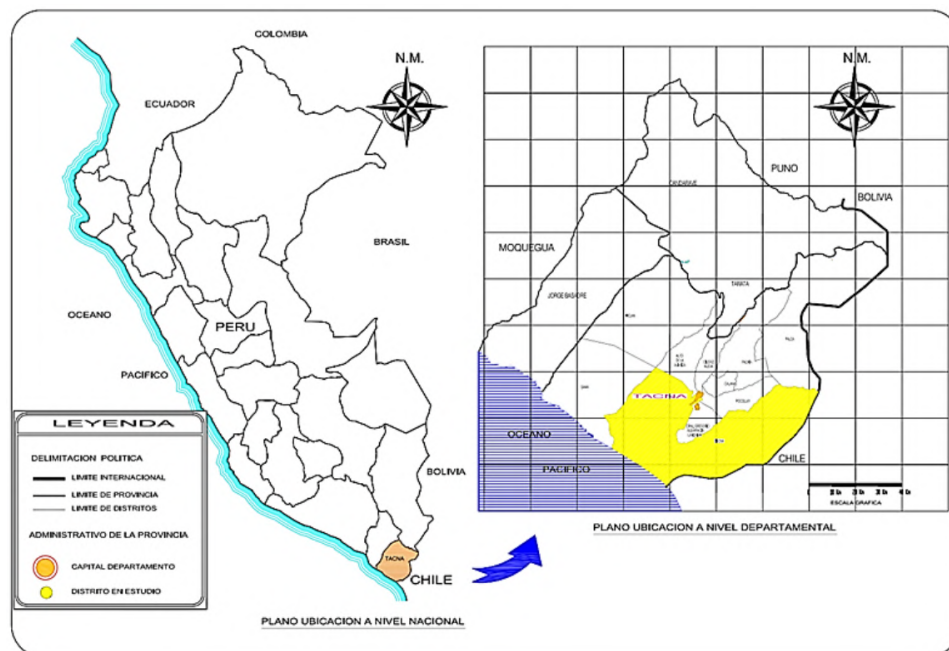
Jesús María donde se estudiará sus características físicas y precipitaciones para diseñar un SUDS que drene todas las aguas de lluvia (Figura 20).

3.2.2 Muestra

Según Levin & Rubin (1996), "Una muestra debe ser definida en base de la población determinada, y las conclusiones que se obtengan de dicha muestra solo podrán referirse a la población en referencia"; Bajo esta premisa la muestra será la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad debido a que se considera todo el caudal que escurrirá por las calles y viviendas. La zona a estudiar comprende un área de 222 560.25 m² o 22.25 Ha.

Figura 19

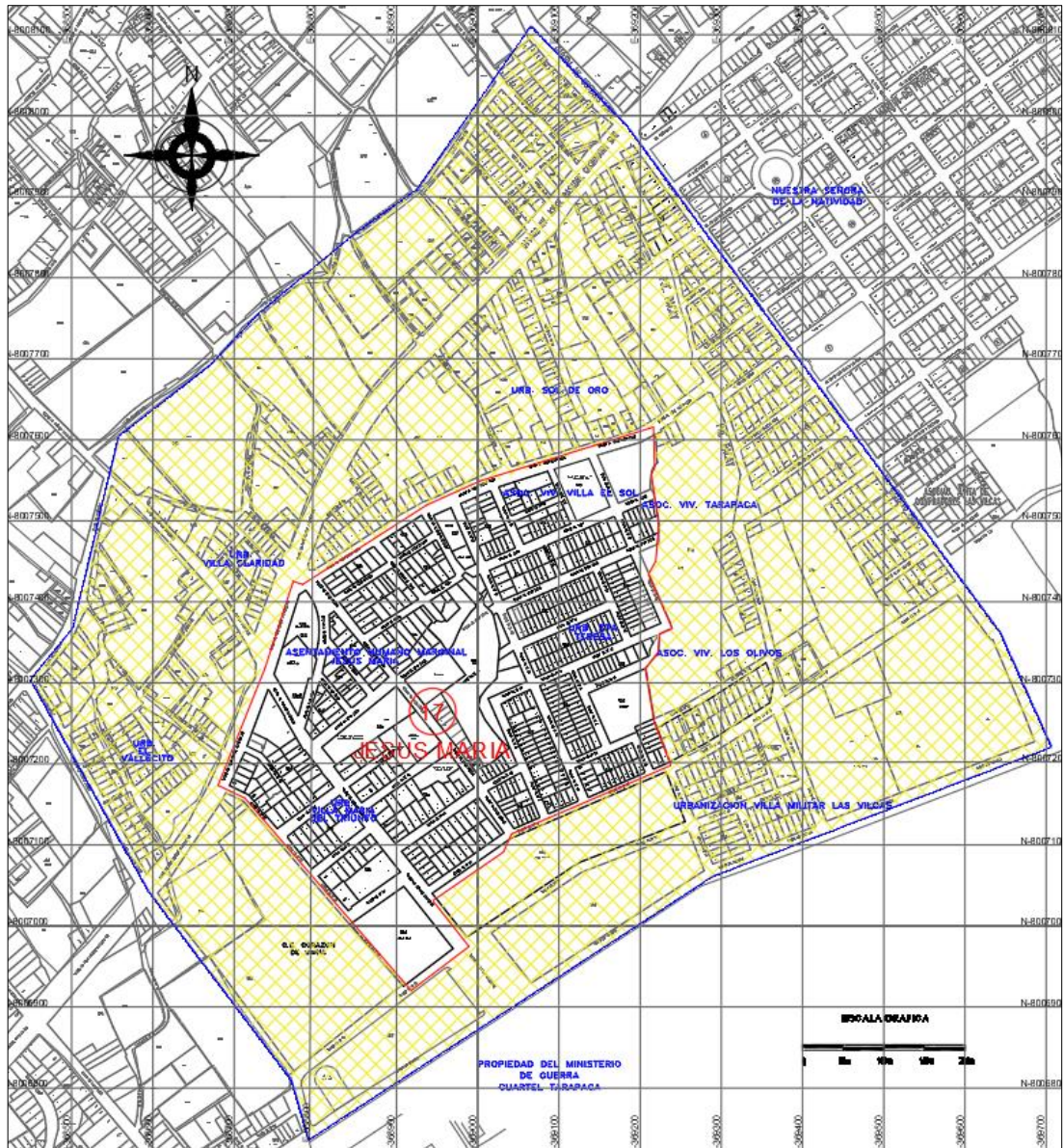
Ubicación a nivel macro de la zona de estudio- distrito de Tacna



Nota: Elaboración propia.

Figura 20

Ubicación a nivel micro de la zona de estudio -Junta Vecinal Jesús María



Nota: La figura representa la zona de estudio (contorno rojo) y la expansión de área a considerar para su análisis (textura amarilla con contorno azul). Tomado del Plano catastral 2018 - distrito de Tacna-Tacna.

3.3 IDENTIFICACION DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente

Parámetros de diseño.

3.3.1.1 Dimensiones.

- Parámetros hidrológicos
- Parámetros hidráulicos
- Parámetros ambientales (Topografía, suelo, vegetación, etc.).

3.3.1.2 Indicadores.

- Intensidad de precipitación
- Tasa de infiltración
- Caudal de diseño
- Área de estudio e influencia
- Pendiente de las vías
- Áreas impermeables.

3.3.2 Variable Dependiente

Diseño de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible.

3.3.2.1 Dimensiones.

- Zanja de infiltración
- Pavimento permeable continuo.

3.3.2.2 Indicadores.

- Pendiente del terreno
- Área del SUDS
- Volumen de almacenamiento
- Permeabilidad.

3.3.3 Características de las Variables

Tabla 6

Características de las variables independientes y dependientes de la investigación

Características de las variables				
Variable	Dimensión	Indicadores	Nivel de medición	
Independiente	Parámetros hidrológicos	Intensidad de precipitación	mm/h	
	Parámetros de diseño	Parámetros hidráulicos	Tasa de infiltración	mm/h
			Caudal de diseño	m ³ /s
		Parámetros ambientales (clima, topografía, suelo, vegetación, etc.).	Área de estudio e influencia	m ²
			Pendiente del terreno	m/m
Dependiente	Zanjas de infiltración	Áreas impermeables	%	
		Pendiente del terreno	m/m	
		Área	m ²	
	Diseño de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible	Pavimento permeable continuo	Volumen de almacenamiento	m ³
			Área	m ²
			Volumen de almacenamiento	m ³
Permeabilidad			mm/h	

Nota: Elaboración propia.

3.4 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Recopilación de Información

La recopilación de información se obtuvo de distintas fuentes ya sean de entidades públicas, obras ejecutadas por entidades públicas dentro de la zona de estudio o de distintos estudios realizados en el lugar.

- Plano catastral del distrito de Tacna. Obtenido de (Municipalidad Provincial de Tacna).

- Plano catastral de alcantarillado-2017. Obtenido de (Entidad Prestadora de Servicio de Saneamiento de Tacna, EPS Tacna)
- Plano de zonificación de uso de suelos del Plan de Desarrollo Urbano de Tacna – 2015 (PDU). Obtenido de (Municipalidad Provincial de Tacna).
- Plano de secciones viales de la provincia de Tacna aprobadas según PDU-PAT (2015-2025). Obtenido de (Municipalidad Provincial de Tacna).
- Plano topográfico y estudio de suelos del área de intervención de la presente investigación. Obtenido de (Oficina de gerencia, infraestructura y obras de la municipalidad provincial de Tacna).
- Datos de precipitación de la estación metereologica Jorge Basadre Grohmann. Obtenido de (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI).
- Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial – 2021. Obtenido de (Página web del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, MVCS).

3.4.1.1 Información Catastral.

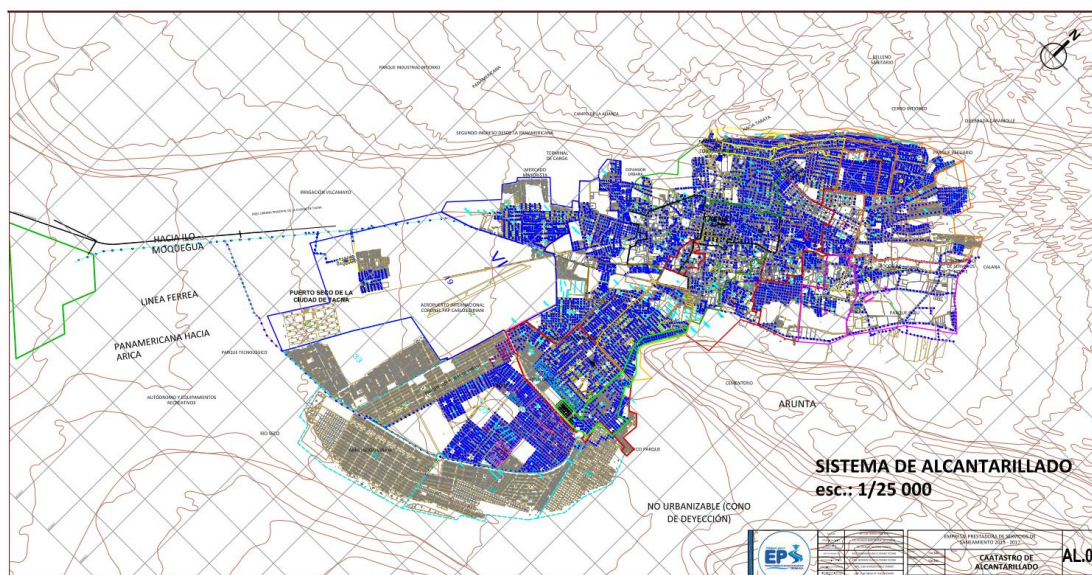
La información catastral se ha recopilado de distintas entidades como se describe en el ítem 3.4.1, es así que se tiene la siguiente información: Plano catastral de alcantarillado – 2017 (Figura 21), plano de catastro del distrito de Tacna, zonificación de uso de suelos de la ciudad de Tacna (Figura 22), plano de secciones viales de la ciudad de Tacna (Figura 23), planos topográficos, secciones viales, pendiente de vías y estudios de suelos. Estos últimos se obtuvieron de los expedientes

técnicos de obras dentro de la zona de estudio ejecutados bajo la modalidad de administración directa por parte de la MPT.

- “Mejoramiento del servicio de transitabilidad peatonal y vehicular de la asociación de vivienda urbanización Villa María del triunfo de la junta vecinal Jesús María de la ciudad de Tacna, distrito de Tacna, provincia de Tacna-Tacna” -2018.
- “Mejoramiento y ampliación del servicio de agua potable y alcantarillado en la urbanización villa maría del triunfo del distrito de Tacna, provincia de Tacna – Tacna” -2018.

Figura 21

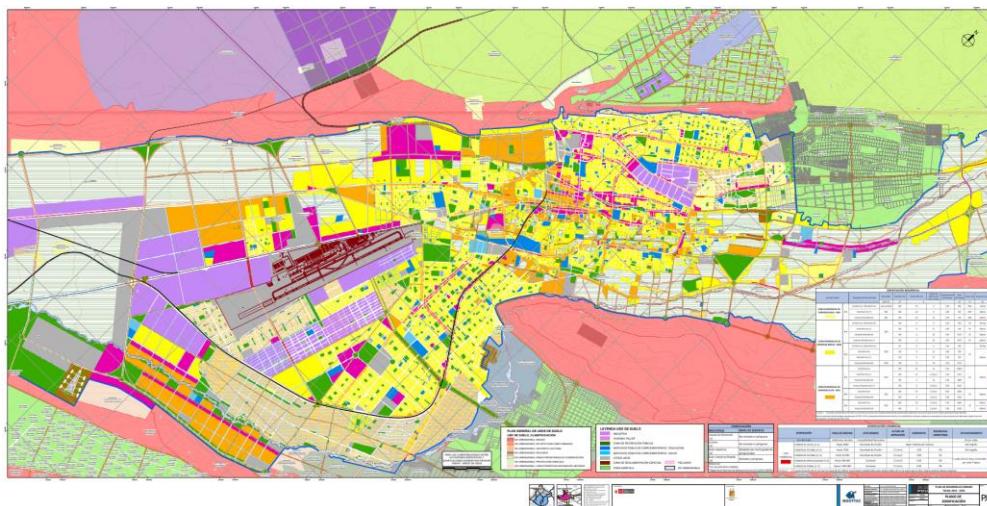
Plano catastral de alcantarillado de la ciudad de Tacna



Nota: En este plano se muestra la ubicación de los buzones con sus respectivas cotas de fondo y cotas de tapa.

Figura 22

Plano de zonificación de uso de suelos de la ciudad de Tacna



Nota: Zonas de uso de suelo según plan de desarrollo urbano PDU (2015 - 2025).

Figura 23

Plano de secciones viales de la ciudad de Tacna



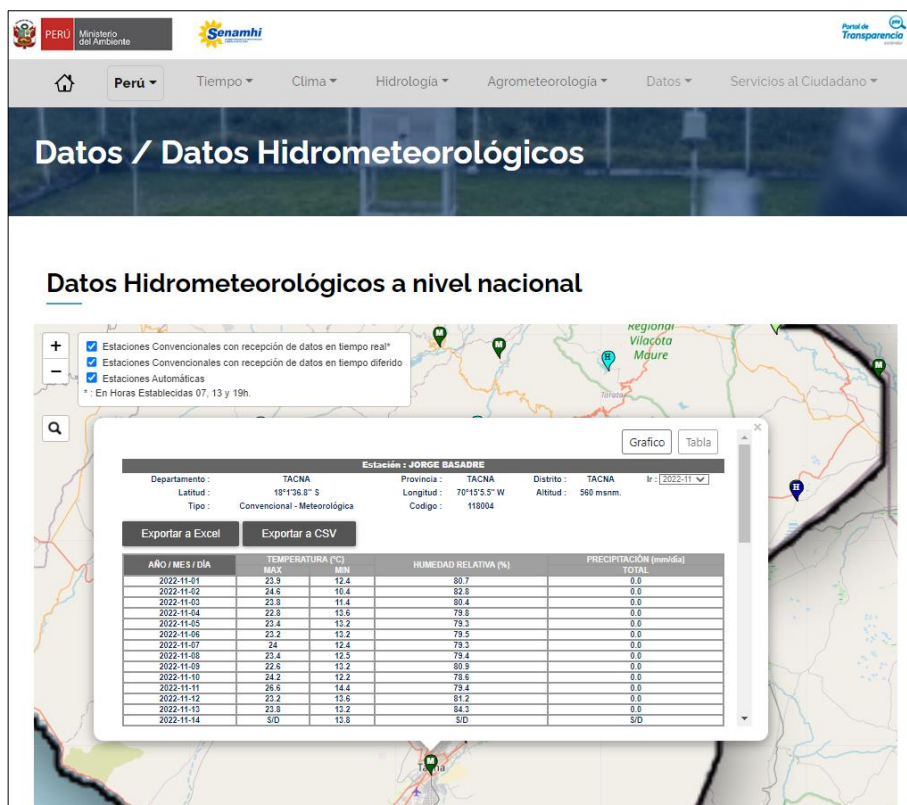
Nota: Detalles de las secciones viales aprobadas según el plan de desarrollo urbano PDU (2015 - 2025) con sus respectivas dimensiones.

3.4.1.2 Hidrológica y Meteorológica.

Para obtener los datos hidrológicos y meteorológicos en referencia a la estación meteorológica Jorge Basadre se ingresó a la página web “<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>”, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (Figura 24), con la información recopilada se realizará el análisis hidrológico de la zona de estudio.

Figura 24

Portal web de la página del SENAMHI



Nota: Este portal cuenta con diferentes estaciones hidrometeorológicas distribuidas a lo largo del Perú y es de acceso libre. Elaboración propia.

3.4.2 Trabajos de Campo

El trabajo realizado en campo consta de dos etapas las cuales se detallan a continuación:

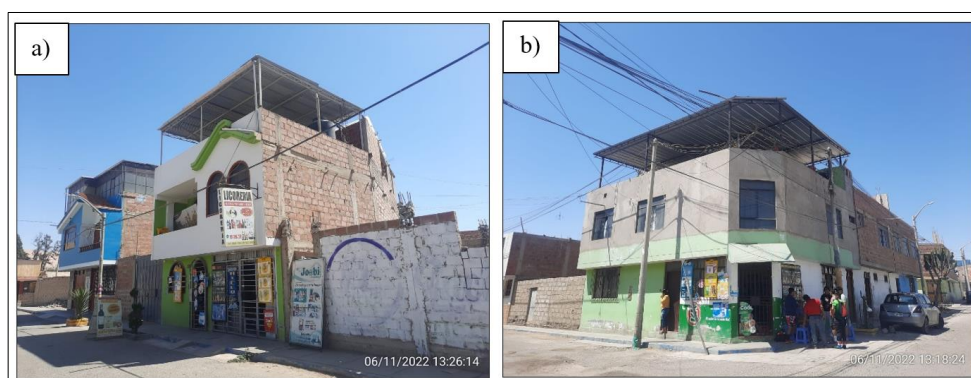
Primera etapa:

En una primera etapa se realizó el reconocimiento del lugar usando los planos obtenidos a través de la recopilación de información para verificar las siguientes características urbanas:

▪ ***Viviendas existentes:*** Se constató que algunas viviendas cuentan con sistemas de drenaje como son las coberturas metálicas en la azotea (Figura 25a y Figura 25b), este sistema de drenaje es eficaz para evitar la inundación dentro de las viviendas sin embargo aporta caudal hacia las calles por lo que es necesario desarrollar un sistema de drenaje pluvial que busque el control de la escorrentía superficial.

Figura 25

Características de viviendas existentes



Nota: En su mayoría las viviendas dentro de la zona de estudio no cuentan con sistemas de drenaje pluvial en sus viviendas. Elaboración propia.

▪ **Estado actual de las vías:** Se constató que en la zona de estudio las vías están en su mayoría pavimentadas (Figura 26a), pero también existe la presencia de vías sin pavimentar (Figura 26b), por lo que se tuvo en consideración estos aspectos durante su modelado en el software SWMM 5.2.

Figura 26

Estado actual de las vías existentes en la zona de estudio



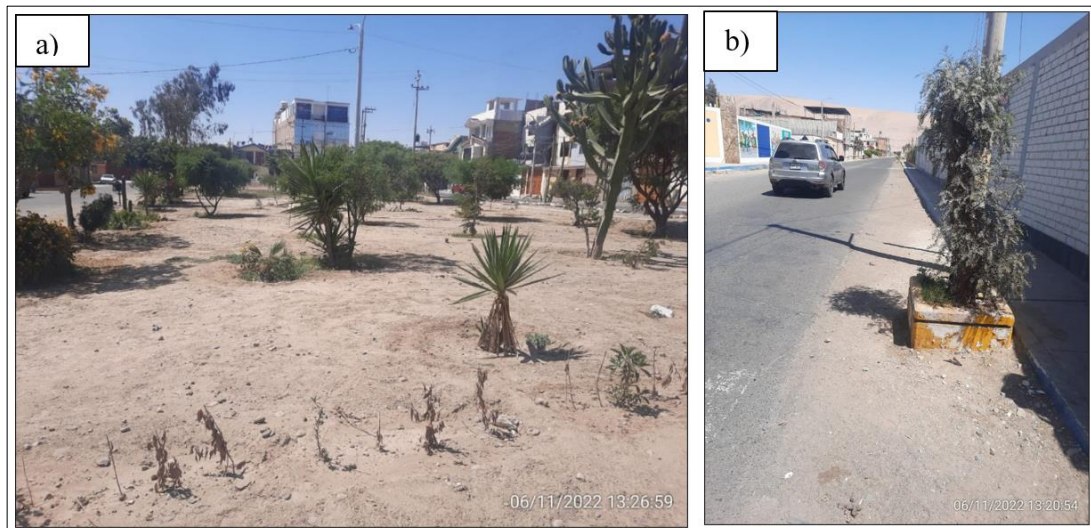
Nota: Un aspecto a tener en cuenta son las dimensiones de las vías ya que en la zona de estudio existen vías principales (avenidas), vías secundarias, pasajes vecinales y vías sin pavimentar. Elaboración propia.

▪ **Ubicación de las posibles áreas para la aplicación del SUDS:** Dentro de la zona de estudio existen posibles áreas para la aplicación de los SUDS como son las

zanjas de infiltración alrededor del perímetro de las áreas destinadas a parques recreativos (Figura 27a), también se observaron espacios disponibles alrededor de las vías para la posible aplicación de pavimentos permeables (Figura 27b), la ubicación de los SUDS dependerá del modelado hidráulico en SWMM de la zona de estudio.

Figura 27

Espacios disponibles para la aplicación de los SUDS dentro de la zona de estudio



Nota: Los espacios disponibles para la aplicación de los SUDS no deben pertenecer a propiedades privadas. Elaboración propia.

Segunda etapa:

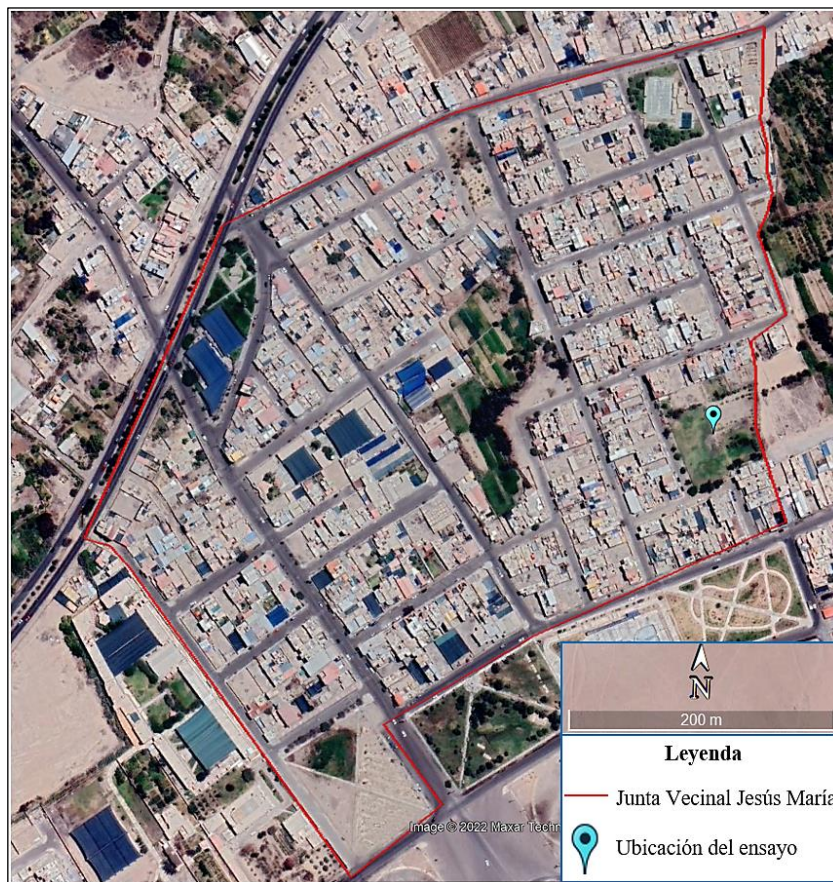
En la segunda etapa se hizo la visita a la zona de estudio con el fin de realizar el ensayo de infiltración del anillo doble según la Norma ASTM D 3385-03, para determinar la tasa de infiltración para su posterior evaluación en gabinete.

A continuación, se describe la secuencia para la realización del ensayo.

Elección de la ubicación para realizar el ensayo de anillo de infiltración doble.

Figura 28

Ubicación del ensayo de infiltración en la zona de estudio



Nota: El ensayo se realizó en el parque de la urbanización Santa Teresa. Elaboración propia.

Colocación, llenado de agua y toma de medidas.

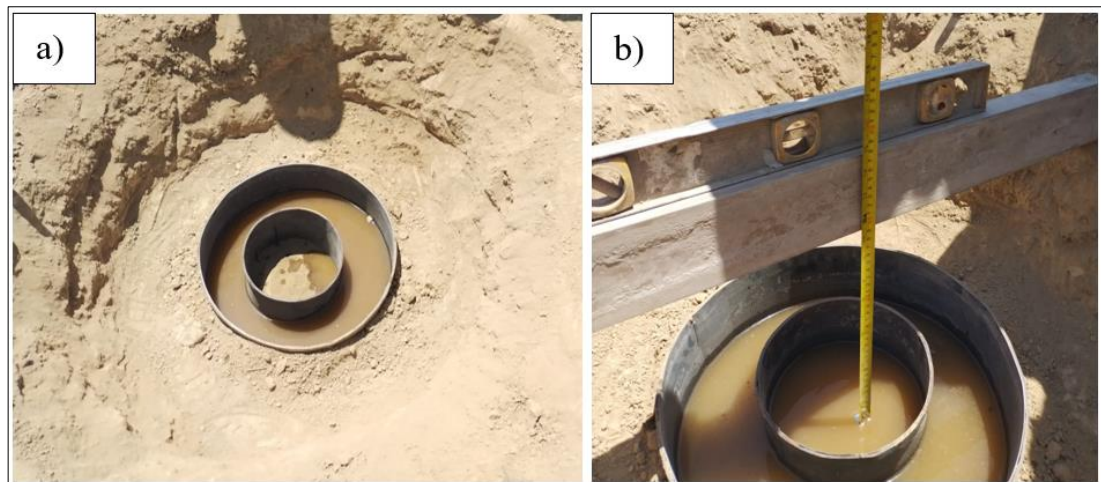
Los materiales e instrumentos requeridos para su desarrollo son los siguientes:

- Anillos de infiltración
- Mazo de goma de 2 Kg

- 1 balde de 10 L
- Cronómetro
- Flexómetro
- Nivel de mano
- Agua.

Figura 29

Colocación, llenado de agua y toma de medidas



Nota: a) Colocación de los anillos de infiltración a 60 cm debajo del terreno natural y llenado de agua, b) Toma de medidas en intervalos de 2 min. Elaboración propia.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

3.5.1 Método de análisis de datos

- Se determinó la dirección del flujo mediante planos de pendiente de vías y plano de cotas de buzones existentes.

- Se hizo el trazo de la dirección de flujo con ayuda de los planos topográficos y planimetría de la zona estudiada.
- Se recolectó datos pluviométricos de la estación meteorológica Jorge Basadre y se hizo un análisis hidrológico de la cuenca urbana a intervenir mediante los softwares (Hidroesta 2, Easyfit).
- Se realizó el ensayo de infiltración en campo mediante el método del anillo doble y se determinó la tasa de infiltración del suelo en lugares dentro de la zona de estudio para tener información más exacta a la realidad.
- Se realizó el cálculo del funcionamiento de la red de drenaje con simulaciones en el software de modelo de gestión de aguas pluviales SWMM 5.2.

3.5.2 Técnicas e instrumentos

3.5.2.1 Técnicas

Consiste en las actividades tendientes a recopilar, clasificar, analizar e interpretar la información y literatura disponible en materia de drenaje urbano, haciendo énfasis en las técnicas alternativas en drenajes urbanos desde una perspectiva sostenible y amigable con el ambiente. En la presente investigación se usó como técnica de recolección de datos la observación.

3.5.2.2 Instrumentos

Los Instrumentos que se emplearon en la presente investigación son:

- Ficha de reporte o de gabinete tendrá la función del procesamiento de los datos obtenidos con el uso de programas de cálculo Microsoft Excel.

- Norma ASTM D 3385-03 “Método de prueba estándar para la tasa de infiltración de suelos en el campo usando un Infiltrómetro de doble anillo”.
- Norma técnica CE.040 drenaje pluvial del reglamento nacional de edificaciones. 54
- Planos topográficos, de suelos, y parámetros hidrológicos que permite tener todas las características del diseño del sistema de drenaje pluvial y la zona donde se implementará.
- Herramientas de dibujo (AutoCAD, Civil 3D), herramientas SIG Qgis 3.24.1, herramientas de complemento (Generar_SWMM_inp), herramientas Lisp (Ronatelo).
- Software Storm Water Management Model SWMM 5.2 para el modelado del sistema urbano de drenaje sostenible.

3.5.3 Descripción de la Zona de Estudio

La municipalidad Provincial de Tacna (MPT) administra 64 Juntas Vecinales según el plano catastral de la MPT, para la presente investigación se consideró como zona de estudio la Junta Vecinal N°17 Jesús María de 22.2216 hectáreas de superficie ubicado en el distrito de Tacna - Provincia de Tacna - Región Tacna.

La Junta Vecinal Jesús María está comprendida por los siguientes agrupamientos de viviendas:

- Urbanización Villa María del Triunfo.
- Asentamiento Humano Marginal Jesús María.

- Urbanización Santa Teresa.
- Asociación de vivienda Villa el Sol.

3.5.4 Perímetro y Área de la Cuenca Urbana

El área de estudio de la presente investigación se encuentra dentro del distrito de Tacna, para obtener los datos del perímetro y área de la cuenca urbana se hizo uso del plano catastral del distrito de Tacna – 2018, además se ha realizado la georreferenciación topográfica para posteriormente delimitar la cuenca urbana con ayuda de la herramienta de dibujo AutoCAD y el lips (Ronatelo).

3.5.4.1 Área de Influencia Extendida

Es el área de estudio sumado al área de influencia considerado debido al aporte pluvial de las zonas aledañas al área de estudio, la Tabla 7 muestra características y propiedades georreferenciadas y en la Figura 30 se muestra gráficamente su forma geométrica.

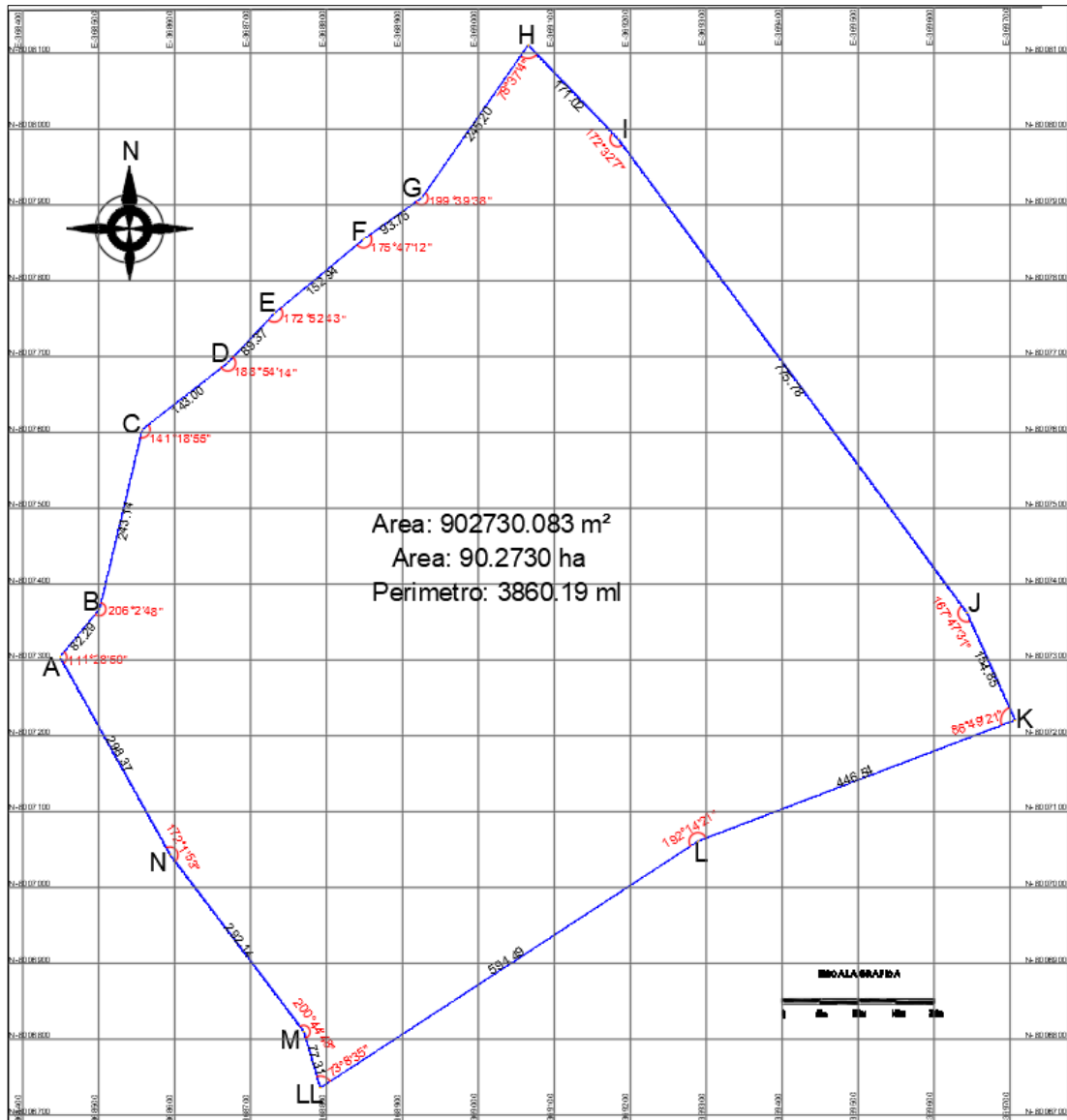
Tabla 7*Datos geométricos de la zona del área de influencia de la zona de estudio*

Vértice	Lado	Distancia (m)	Angulo Interior	Coordenadas (WGS-84-19S)	
				Este (X) m	Norte (Y) m
A	A-B	82.29	111°28'50"	368448.615	8007303.471
B	B-C	243.14	206°02'48"	368500.875	8007367.036
C	C-D	143	141°18'55"	368557.132	8007603.573
D	D-E	89.37	188°54'14"	368669.914	8007691.489
E	E-F	152.94	172°52'43"	368731.045	8007756.680
F	F-G	93.76	175°47'12"	368848.682	8007854.412
G	G-H	245.20	199°39'38"	368925.010	8007908.868
H	H-I	171.02	78°37'04"	369065.066	8008110.134
I	I-J	775.78	172°32'07"	369183.406	8007986.663
J	J-K	154.85	167°47'31"	369642.891	8007361.602
K	K-L	446.54	86°49'21"	369706.149	8007220.263
L	L-LL	594.49	192°14'21"	369289.089	8007060.718
LL	LL-M	77.31	73°08'35"	368791.490	8006735.431
M	M-N	292.14	200°44'48"	368769.771	8006809.625
N	N-A	298.37	172°01'53"	368593.698	8007042.748
Perímetro		3860.19 ml			
Área		902730.083 m2			

Nota: Los datos fueron obtenidos en base a la herramienta de dibujo AutoCAD y el complemento "Ronatelo". Elaboración propia.

Figura 30

Forma geométrica de la poligonal del área de influencia



Nota: La figura representa gráficamente la forma geométrica del área de influencia.

Elaboración propia.

3.5.4.2 Área de Estudio

Es el área en la cual se intervino mediante la propuesta de diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. La Tabla 8 muestra las características y propiedades geométricas georreferenciadas y la Figura 31 muestra gráficamente su forma geométrica.

Tabla 8

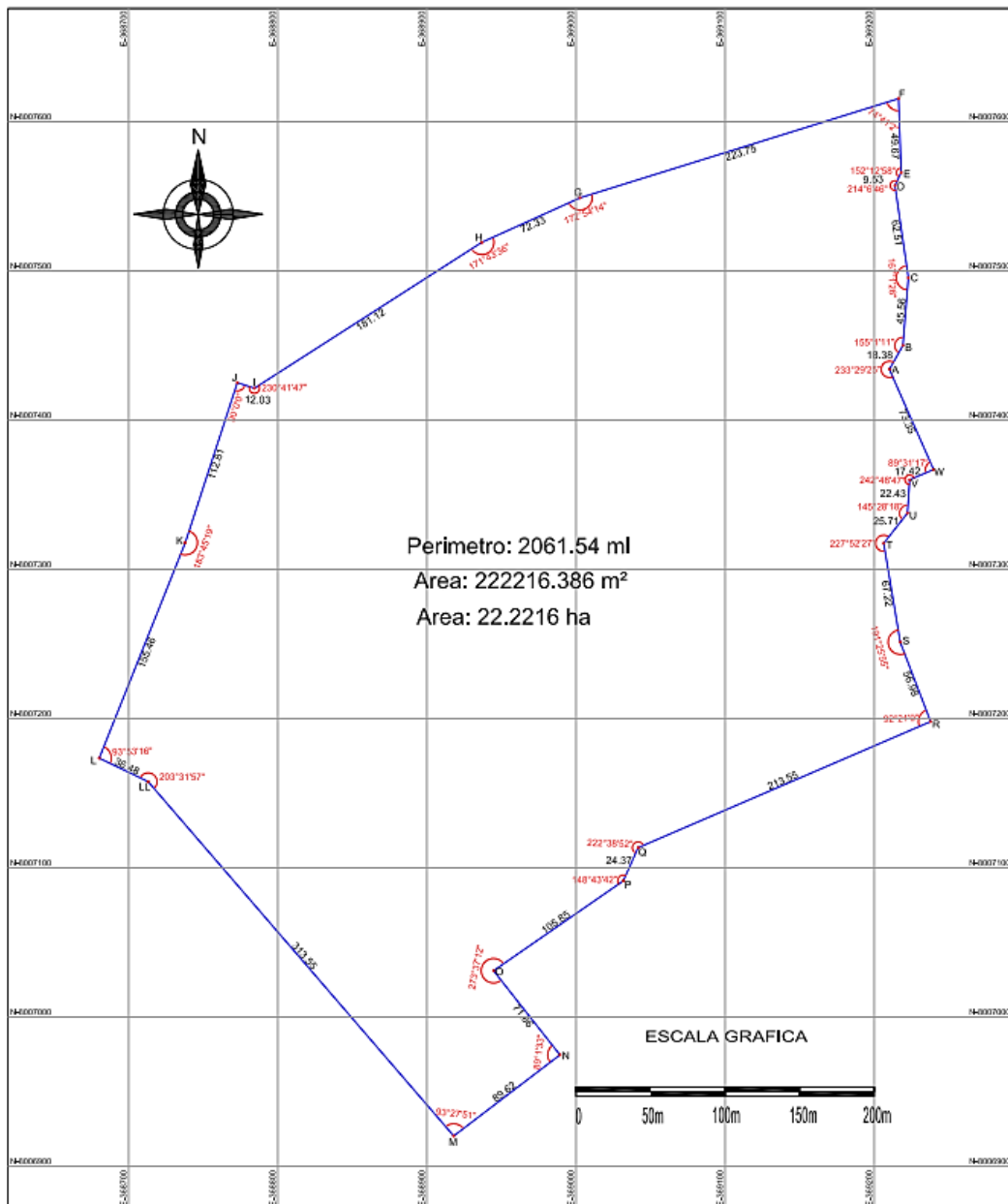
Datos geométricos de la zona de estudio

Vertice	Lado	Distancia (m)	Angulo Interior	Coordenadas (WGS-84-19S)	
				Este (X) m	Norte (Y) m
A	A-B	18.38	233°29'25"	369210.115	8007434.112
B	B-C	45.56	155°01'11"	369219.211	8007450.089
C	C-D	62.51	167°01'26"	369222.921	8007495.499
D	D-E	9.53	214°06'46"	369213.892	8007557.357
E	E-F	49.67	152°12'58"	369218.042	8007565.938
F	F-G	223.75	74°41'02"	369216.329	8007615.582
G	G-H	72.33	172°54'14"	369002.689	8007549.075
H	H-I	181.12	171°43'36"	368936.814	8007519.210
I	I-J	12.03	230°41'47"	368784.330	8007421.463
J	J-K	112.81	89°59'60"	368772.889	8007425.188
K	K-L	155.46	183°45'19"	368737.964	8007317.923
L	L-LL	36.48	93°53'16"	368680.254	8007173.569
LL	LL-M	313.55	203°31'57"	368713.129	8007157.763
M	M-N	89.62	93°27'51"	368917.967	8006920.365
N	N-O	71.86	89°01'33"	368989.232	8006974.704
O	O-P	105.85	273°37'12"	368944.694	8007031.101
P	P-Q	24.37	148°43'42"	369031.738	8007091.327
Q	Q-R	213.55	222°38'52"	369041.670	8007113.582
R	R-S	56.98	92°21'09"	369237.803	8007198.063
S	S-T	67.22	191°25'55"	369217.430	8007251.273
T	T-U	25.71	227°52'27"	369206.314	8007317.570
U	U-V	22.43	145°28'18"	369222.269	8007337.732
V	V-W	17.42	242°48'47"	369223.766	8007360.110
W	W-A	73.35	89°31'17"	369239.761	8007367.018
Perimetro		2061.54 ml			
Area		222216.386m2			

Nota: Elaboración propia

Figura 31

Forma geométrica de la poligonal del área de estudio



Nota: La figura representa gráficamente la forma geométrica del área de estudio.

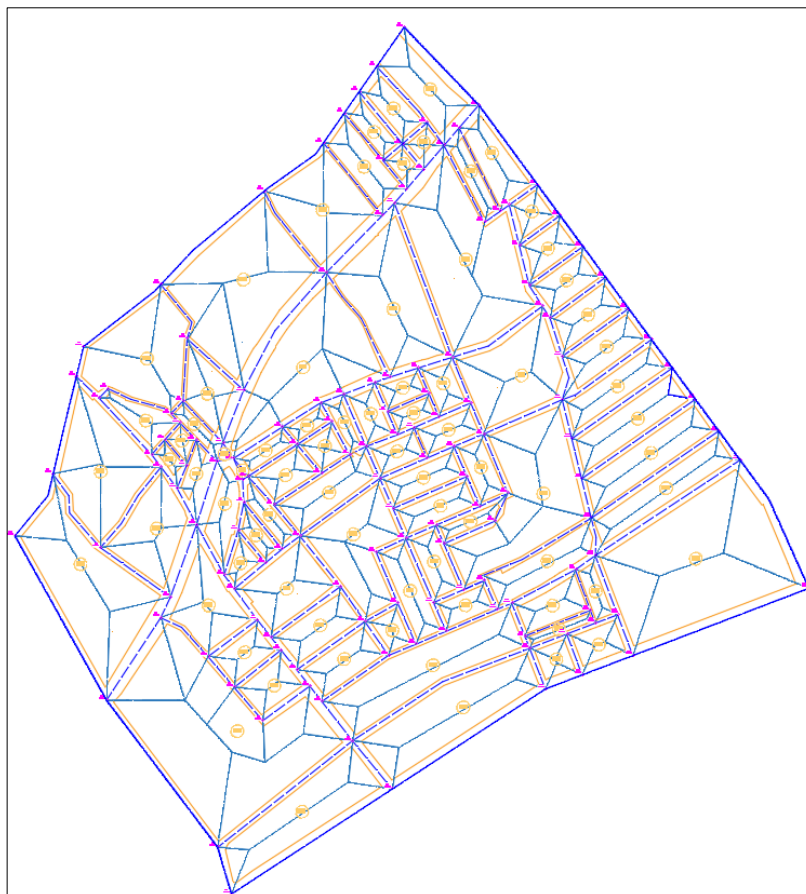
Elaboración propia.

3.5.5 Delimitación de la Cuenca Urbana

Para la delimitación de las subcuencas que conforman la zona de estudio tal y como se muestra en la Figura 32 se hizo uso del plano de secciones viales de plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tacna, así como también de ciertos criterios debido a que la forma de las manzanas dentro de la zona de estudio es de geometría irregular.

Figura 32

Subcuencas del área de influencia



Nota: Se muestra las formas geométricas de las subcuencas delimitadas por el método de aplicación por vías. Elaboración propia con el software AutoCAD.

3.5.6 Secciones Viales

Por tratarse de un sistema urbano de drenaje sostenible SUDS en el cual no se hacen uso de tuberías o sistemas de concreto armado sino más bien se busca el control y reducción de la escorrentía superficial mediante la infiltración al suelo y además que la zona de estudio es una cuenca urbana en su mayoría con vías pavimentadas, es que es necesario conocer la sección transversal de las vías dentro de la zona de estudio puesto que estas van a actuar como canales naturales las cuales transportaran la escorrentía superficial hacia algún elemento receptor y posteriormente infiltrar la escorrentía al suelo, las secciones de las vías y espacios existentes condicionarán las dimensiones de los SUDS.

Dentro de la zona de estudio existen varios tipos de secciones viales según el plano de secciones viales de la ciudad de Tacna aprobadas según el plan de desarrollo urbano PDU - plan de acondicionamiento territorial PAT - (2015 - 2025) y el expediente técnico "Mejoramiento del servicio de transitabilidad peatonal y vehicular de la asociación de vivienda urbanización Villa María del triunfo de la junta vecinal Jesús María de la ciudad de Tacna, distrito Tacna, provincia Tacna – Tacna”.

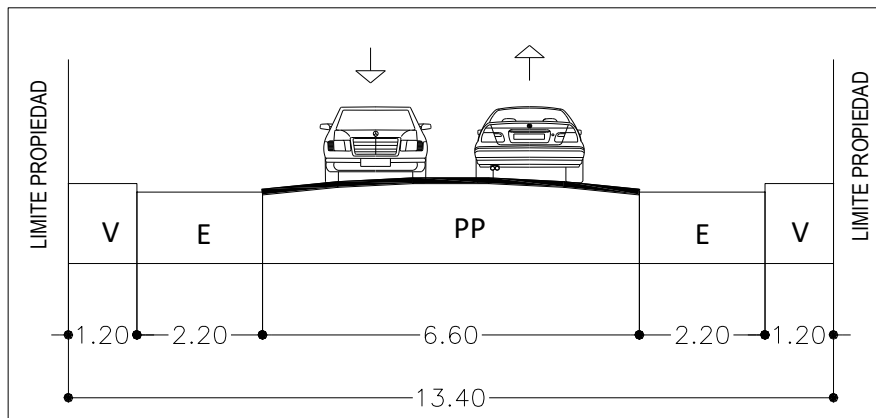
Es por ello que se han considerado cuatro tipos de secciones viales dentro de la zona de estudio con el fin de simplificar los cálculos manteniendo un contraste con la realidad. Estas secciones son: Sección vial típica, sección vial N° 50, sección vial N° 16 y sección vial N° 13.

Sección vial típica:

Esta sección vial corresponde a las vías secundarias dentro de la zona de estudio de similar dimensión (ancho de plataforma), y se compone de una calzada en doble sentido de 6.60 m de ancho, además en ambos extremos contempla una berma de 2.20 m y una vereda de 1.20 m de ancho (Figura 33).

Figura 33

Sección vial típica para vías dentro de la zona de estudio



Nota: Esta sección vial representa la mayor cantidad de vías dentro de la zona de estudio. Tomado del Plano de secciones viales de la ciudad de Tacna PDU (2015-2025).

Para el modelado de la sección vial en el Software SWMM 5.2 se requirió de coordenadas en un plano cartesiano (Tabla 9), puesto que es una sección irregular, es por ello que mediante la herramienta de dibujo AutoCAD y el software Ms Excel se puede obtener un modelado previo (Figura 34).

Tabla 9

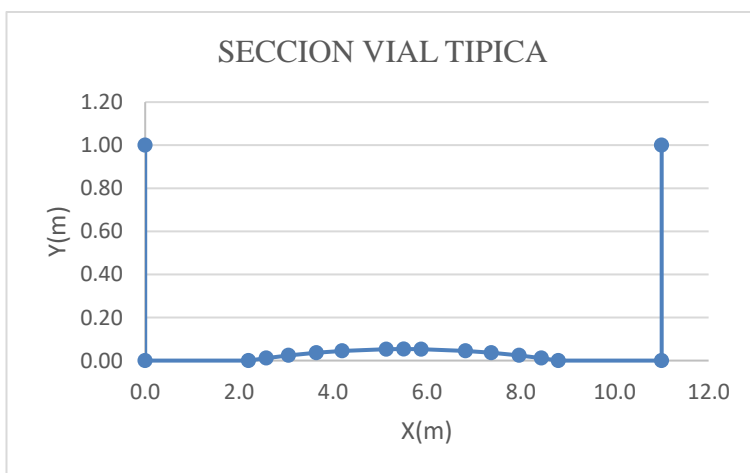
Puntos cartesianos de la sección vial típica

Puntos cartesianos	
X (m)	Y (m)
0.0000	1.0000
0.0000	0.0000
2.2003	0.0000
2.5794	0.0115
3.0527	0.0240
3.6461	0.0365
4.1940	0.0450
5.1376	0.0528
5.5093	0.0535
5.8810	0.0528
6.8246	0.0450
7.3725	0.0365
7.9659	0.0240
8.4392	0.0115
8.8000	0.0000
11.0000	0.0000
11.0000	1.0000

Nota: Estos datos son los que se ingresarán al software SWMM 5.2.

Figura 34

Modelado previo de la sección vial típica en el software Ms Excel



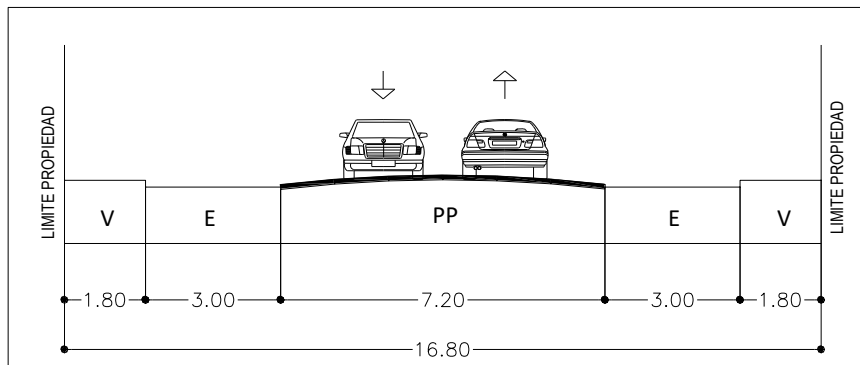
Nota: Representación gráfica de los puntos cartesianos de la sección vial típica.

Sección vial N° 50:

Esta sección vial corresponde a las avenidas secundarias y/o calles principales dentro de la zona de estudio de similar dimensión (ancho de plataforma). Esta sección vial se compone de una calzada en doble sentido de 7.20m de ancho además en ambos extremos contempla una berma de 3.00 m y una vereda de 1.80 m de ancho (Figura 35).

Figura 35

Sección vial N°50 para avenidas secundarias dentro de la zona de estudio



Nota: Tomado del Plano de secciones viales de la ciudad de Tacna PDU (2015-2025).

Para el modelado de la sección vial en el Software SWMM 5.2 se requirió de coordenadas en un plano cartesiano (Tabla 10), puesto que es una sección irregular, es por ello que mediante la herramienta de dibujo AutoCAD y el software Ms Excel se puede obtener un modelado previo (Figura 36).

Tabla 10

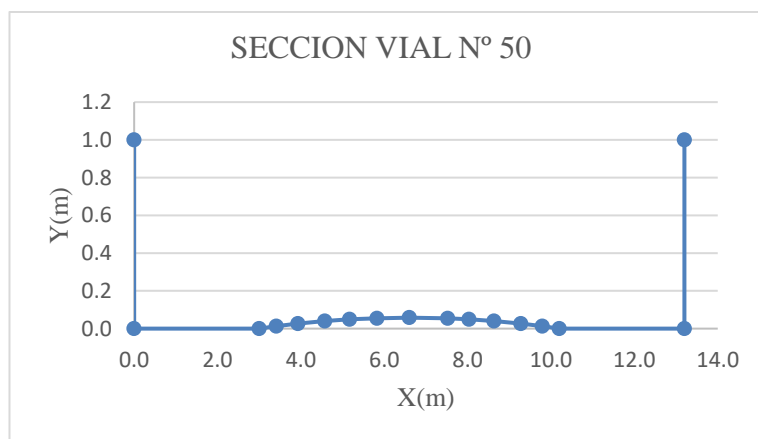
Puntos cartesianos de la sección vial N° 50

Puntos cartesianos	
X (m)	Y (m)
0.0000	1.0000
0.0000	0.0000
2.9999	0.0000
3.4128	0.0126
3.9282	0.0262
4.5743	0.0398
5.1710	0.0491
5.8273	0.0545
6.6033	0.0583
7.5218	0.0545
8.0356	0.0491
8.6322	0.0398
9.2784	0.0262
9.7938	0.0126
10.2000	0.0000
13.2000	0.0000
13.2000	1.0000

Nota: Estos datos son los que se ingresarán al software SWMM 5.2.

Figura 36

Modelado previo de la sección vial N° 50 en el software Ms Excel



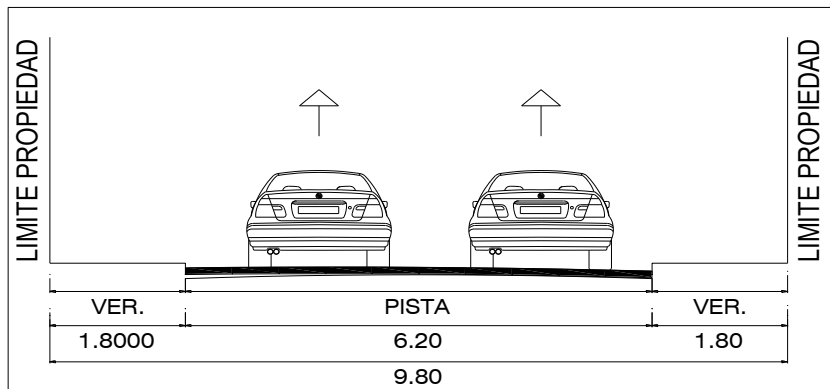
Nota: Representación gráfica de los puntos cartesianos de la sección vial N° 50.

Sección vial N° 16:

Esta sección vial corresponde los pasajes vecinales, vías sin asfaltar y calles en un sentido dentro de la zona de estudio de similar dimensión (ancho de plataforma), y se compone de una calzada en un sentido de 6.20 m de ancho y en ambos extremos contempla una vereda de 1.80 m de ancho (Figura 37).

Figura 37

Sección vial N°16 para pasajes vecinales, vías sin asfaltar y calles en un sentido dentro de la zona de estudio



Nota: La sección vial N° 16 representa la mayor cantidad de vías dentro de la zona de estudio luego de la sección vial Típica. Tomado del expediente técnico "Mejoramiento del servicio de transitabilidad peatonal y vehicular de la asociación de vivienda urbanización Villa María del triunfo de la junta vecinal Jesús María de la ciudad de Tacna, distrito Tacna, provincia Tacna – Tacna".

Tabla 11

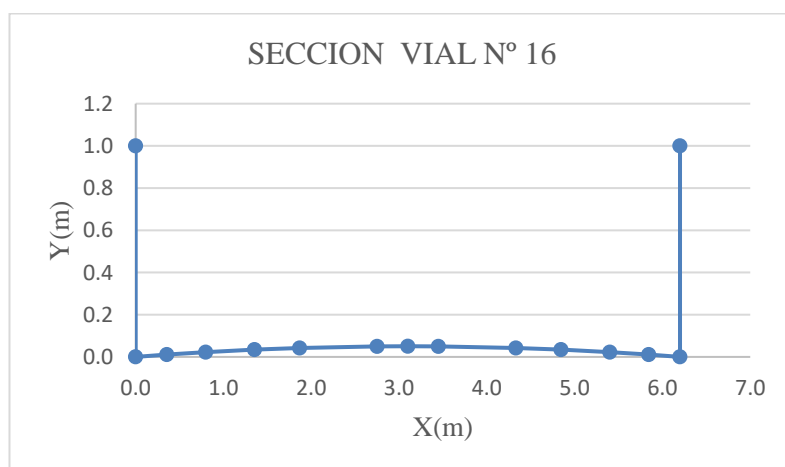
Puntos cartesianos de la sección vial N° 16

Puntos cartesianos	
X (m)	Y (m)
0.0000	1.0000
0.0000	0.0000
0.3552	0.0109
0.7986	0.0225
1.3545	0.0343
1.8678	0.0422
2.7517	0.0495
3.1000	0.0502
3.4482	0.0495
4.3322	0.0422
4.8455	0.0343
5.4014	0.0225
5.8448	0.0109
6.2000	0.0000
6.2000	1.0000

Nota: Estos datos son los que se ingresarán al software SWMM 5.2.

Figura 38

Modelado previo de la sección vial N° 16 en el software Ms Excel



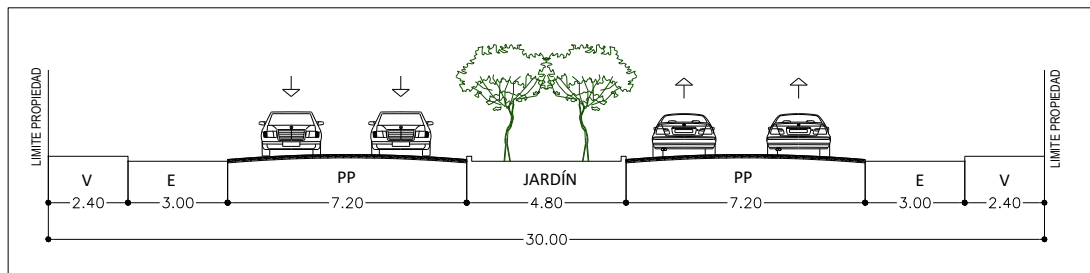
Nota: Representación gráfica de los puntos cartesianos de la sección vial N° 16.

Sección vial N° 13:

Esta sección vial corresponde a las avenidas principales dentro de la zona de estudio, y se compone de dos calzadas en ambos sentidos de 7.20 m de ancho, en el centro consta de una mediana (jardín) y en ambos extremos contempla una berma de 3.00 m y una vereda de 2.40 m de ancho (Figura 39).

Figura 39

Sección vial N° 13 para las avenidas principales dentro de la zona de estudio



Nota: Existe una avenida principal dentro de la zona de estudio el cual es la Av. Jorge Basadre. Tomado del Plano de secciones viales de la ciudad de Tacna PDU (2015-2025).

De la misma manera que en las anteriores secciones viales para el modelado de la sección vial en el software SWMM 5.2 se requieren de datos de entrada (Tabla 12), la Figura 40 representa gráficamente estos datos.

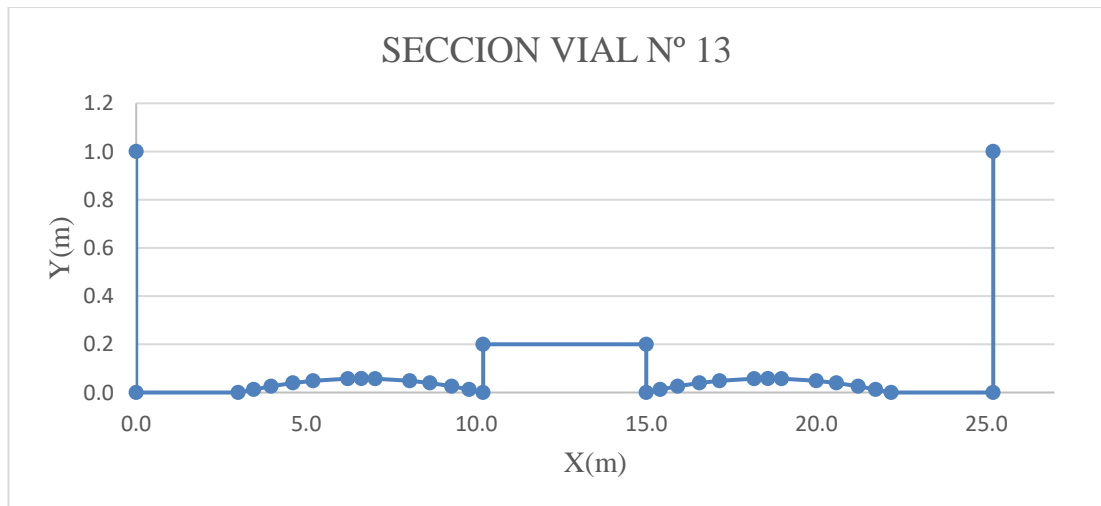
Tabla 12*Puntos cartesianos de la sección vial N° 13*

Puntos cartesianos	
X (m)	Y (m)
0.0000	1.0000
0.0000	0.0000
3.0000	0.0000
3.4579	0.0125
3.9693	0.0260
4.6106	0.0395
5.2027	0.0487
6.2224	0.0571
6.6241	0.0579
7.0258	0.0571
8.0455	0.0487
8.6376	0.0395
9.2788	0.0260
9.7903	0.0125
10.2000	0.0000
10.2000	0.2000
15.0000	0.2000
15.0000	0.0000
15.4097	0.0125
15.9212	0.0260
16.5624	0.0395
17.1545	0.0487
18.1742	0.0571
18.5759	0.0579
18.9776	0.0571
19.9973	0.0487
20.5894	0.0395
21.2307	0.0260
21.7421	0.0125
22.2000	0.0000
25.2000	0.0000
25.2000	1.0000

Nota: Estos datos son los que se ingresarán al software SWMM 5.2.

Figura 40

Modelado previo de la sección vial N° 13 en el software Ms Excel



Nota: Representación gráfica de los puntos cartesianos de la sección vial N° 13.

Elaboración propia.

Estas secciones viales representan “canales naturales” dentro de la cuenca urbana (zona de estudio), es por ello que es necesario detallar minuciosamente los puntos cartesianos que representen gráficamente estas secciones viales.

Para el gráfico de las secciones viales se consideró hasta las bermas puesto que las veredas representan los límites de estos “canales naturales” de 0.15 m de altura, en los gráficos de las secciones viales realizados en el software Ms Excel se presentan estos límites con una altura de 1.00 m para tener una representación más estética de las secciones viales, para el ingreso de datos dentro del software SWMM 5.2 se va a considerar la altura real de la vereda que corresponde a 0.15 m.

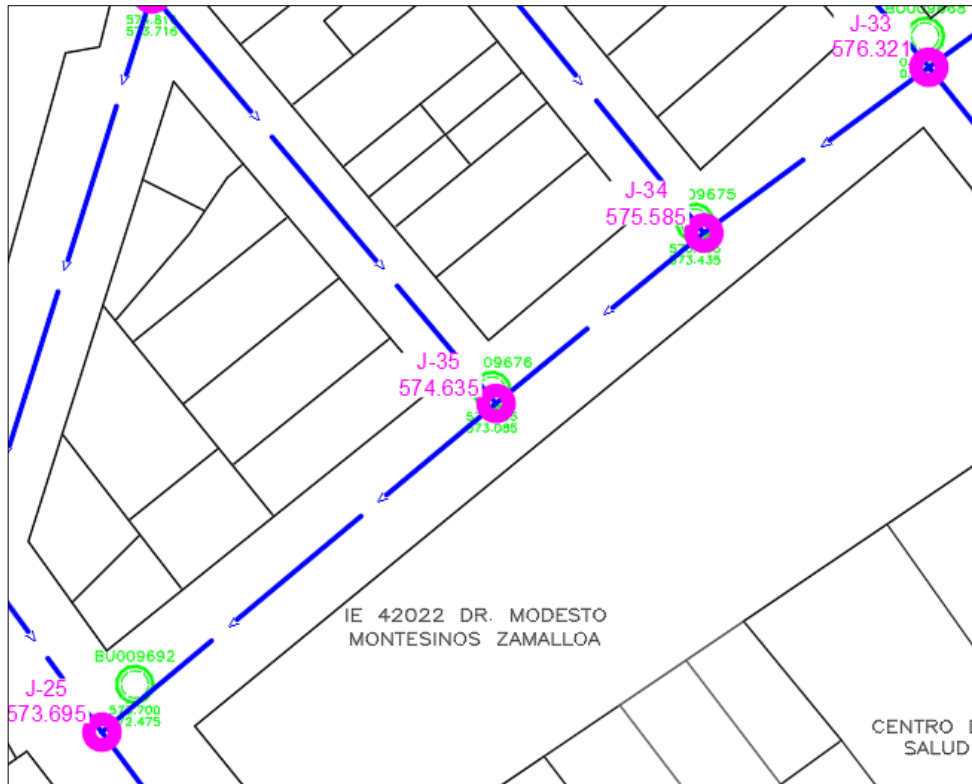
3.5.7 Sentido de Flujo

Con ayuda de los planos topográficos y los planos de pendiente de vías existentes de los expedientes técnicos de obras ejecutadas dentro de la zona de estudio, se estimó el recorrido y dirección de la escorrentía superficial. Además, fue indispensable contar con el plano catastral de alcantarillado actualizado proporcionado por la Entidad Prestadora de Servicios – EPS, ya que de acuerdo a la diferencia de cotas de las tapas de buzones y distancia horizontal que existe entre buzones es que se pudo determinar el grado de inclinación de las vías existentes, en las vías, pasajes y zonas que no cuenten con buzones se usó el plano de vías existentes y/o el plano topográfico como apoyo para la corroboración de datos.

En la Figura 42, se muestra el perfil longitudinal de una vía dentro de la zona de estudio, se puede apreciar que el sentido del flujo fue desde el nodo J-33 hacia el nodo J-25 mismo que resulta de la diferencia de cotas de las tapas de buzones (Figura 41). Se siguió el mismo procedimiento para todas las vías dentro de la zona de estudio, por lo que de manera resumida podemos decir que el cambio de dirección de flujo se determina en base a las cotas de los nodos con etiquetas de prefijo “J-” enumeradas a lo largo de la zona de estudio desde el 1 hasta el 142, la dirección de flujo está representada por conductos o Links los cuales están entrelazadas mediante los nodos, se representan mediante etiquetas con prefijo “Condu-” y están enumeradas a lo largo de la zona de estudio desde el 1 al 221.

Figura 41

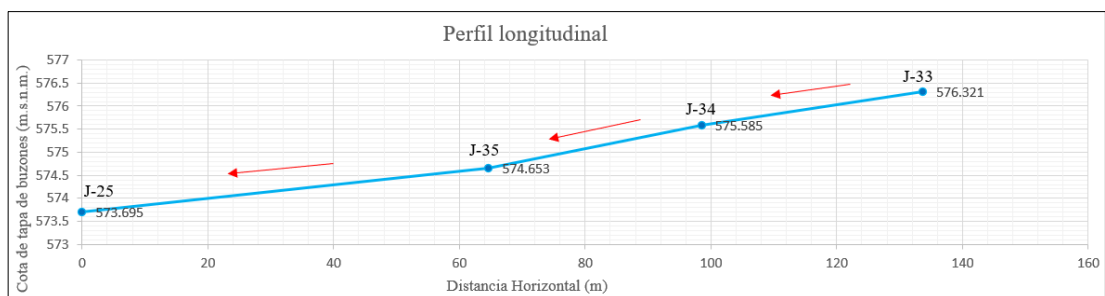
Sentido de flujo dentro de la zona de estudio



Nota: El sentido del flujo está condicionado por las cotas de tapa de buzones.

Figura 42

Sentido de flujo desde el nodo J-33 hacia el nodo J-25 de la zona de estudio



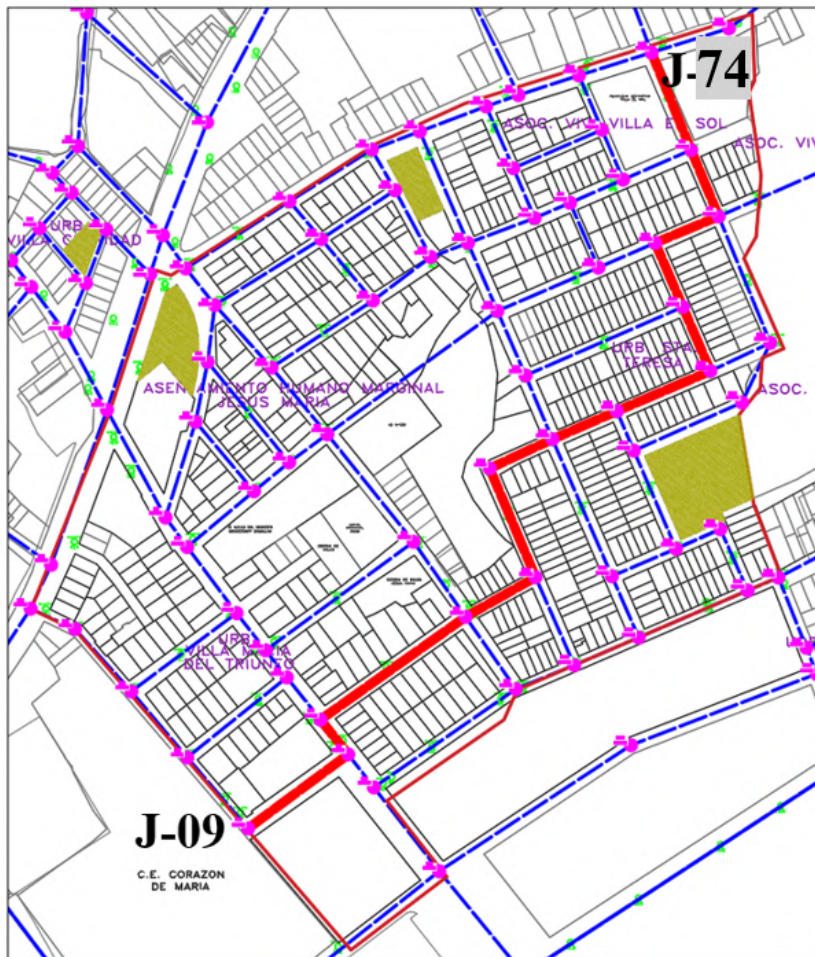
Nota: Se muestra la dirección del flujo el cual depende de las cotas de tapa de buzones.

3.5.8 Longitud de Recorrido más Largo

La longitud de recorrido más largo se determinó mediante el análisis del sentido y dirección de flujo por lo que se pudo constatar de que es el recorrido desde la zona más alejada de la cuenca hasta la salida de la cuenca urbana (Figura 43).

Figura 43

Recorrido más largo del flujo dentro de la zona de estudio



Nota: La figura muestra el recorrido más largo del flujo (línea gruesa de color rojo) dentro de la zona de estudio. Elaboración propia.

Por lo tanto, de acuerdo a la Figura 43 se pudo describir que el recorrido más largo del flujo se dio desde el nodo J-74 (586.601 m.s.n.m.) hasta el nodo J-09 (571.982 m.s.n.m.), con una longitud total de 871.03 ml.

3.5.9 Análisis Hidrológico de la Zona de Estudio

3.5.9.1 Tiempo de Concentración.

Tomando en cuenta los datos anteriormente calculados en el Ítem 3.5.6 se obtuvo los siguientes valores de longitud (L) y pendiente (S), este último se calculó mediante la Ecuación 9.

Los datos son los siguientes: Cota superior (586.601 m.s.n.m.), cota inferior (571.982 m.s.n.m.), longitud de recorrido más largo 871.03 ml.

$$S = \frac{(\text{Cota superior} - \text{Cota inferior})}{\text{Longitud de recorrido más largo}} \quad (9)$$

$$S = \frac{(586.601 - 571.982)}{871.038} = 0.016783 \text{ m/m}$$

Aplicando los datos obtenidos, en la ecuación de Kirpich (Ecuación 10) se tiene:

$$t_c = 0.0195 * L^{0.77} * S^{-0.385} \quad (10)$$

$$t_c = 0.0195x(871.038)^{0.77}x(0.016783)^{-0.385} = 17.2698 \text{ min.}$$

Según las observaciones de Kirpich propuestas en la Norma Técnica CE.0.40, para la escorrentía superficial que transita por superficies de concreto o asfalto, se debe multiplicar al tiempo de concentración t_c por un factor de 0.40, entonces tenemos:

$$t'_{c=} (17.1826 \text{ min})x0.40 = 6.87304 \text{ min.}$$

Se observa que el tiempo de concentración $t'_c < 10 \text{ min}$, entonces teniendo en cuenta lo especificado por la Norma Técnica CE.0.40 Drenaje Pluvial (2021) se usó como tiempo de concentración $t_{c'} = 10$ minutos.

3.5.9.2 Cálculo de la Intensidad Máxima.

Para calcular la intensidad máxima, se hizo uso de la data de las precipitaciones máximas en 24 horas (máximas Anuales) (Tabla 13), considerándose data de 29 años (1993-2021) de la estación meteorológica Jorge Basadre Grohmann.

Tabla 13

Registro de precipitación máximas de 24 horas (mm)

REGISTRO DE PRECIPITACION MAXIMA DE 24 HORAS (mm)														
ESTACION	: JORGE BASADRE			DEPARTAMENTO	: TACNA			LATITUD	: 18°01'36" S"					
CODIGO	: 110901			PROVINCIA	: TACNA			LONGITUD	: 70°15'2.4" W"					
				DISTRITO	: TACNA			ALTURA	: 560 m.s.n.m.					
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PP MAX.	TOTAL
1993	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0.6	5	5.6
1994	5.4	0	0	1.3	0.7	0.8	1	2	0.4	0.3	0.5	0.2	5.4	12.6
1995	0.3	0	4.8	0	0.1	0	0.5	0.4	0.9	0.2	0	0	4.8	7.2
1996	0	0.8	0	0	0	1.4	0.2	1	0.5	0	0.1	0	1.4	4
1997	9	2.1	0	0	5	1.5	3.6	2.9	2.7	1.5	1.8	2.3	9	32.4
1998	4.6	0.2	0	0	0	0.3	0.7	3.1	0.7	0.4	0	0.4	4.6	10.4
1999	0.4	0	0.5	0	0	0	0.8	0	1.2	0.9	0.6	3	3	7.4
2000	3.4	0.2	0.6	0.1	0	2	4.2	4	0.8	2.2	0	0	4.2	17.5
2001	1.9	5.8	4.2	0.5	0	1.2	0.4	1.1	1	0.3	0	1.2	5.8	17.6
2002	0	0.5	2.3	0.8	0	0.1	6.9	1.3	0.5	0.9	0	0	6.9	13.3
2003	2.5	0	0	0.2	0.2	0	1.8	0.9	2.9	0	0.3	0	2.9	8.8
2004	0	0.4	0	0	0	0	1.2	1.1	0.5	0.4	0	0	1.2	3.6
2005	0.3	0.1	0	0.5	0.5	0	0.2	1.3	0.9	0	0	0.4	1.3	4.2
2006	0.4	0	0	0	0	1.5	0.7	1.7	0.8	0	S/D	0	1.7	5.1
2007	0	0.6	S/D	0	0.3	0.6	0.4	1.7	1.8	0.4	0.8	0	1.8	6.6
2008	1.2	0	1.2	0	0	1.1	0.2	1.1	1.6	0.6	0.3	0.7	1.6	8
2009	0	0.5	0	0	0	0	1.9	1.7	1	0.8	1.9	2.5	2.5	10.3
2010	0.1	0	0	0.9	1.1	1	0	0.3	0.9	0	0	0.1	1.1	4.4
2011	0.8	4	0	0	0.4	1.5	1.4	1.6	1.2	0.1	0.5	0.6	4	12.1
2012	4.5	0.6	0.5	0.2	0	0.4	0.6	1.6	1.8	0.6	0	0	4.5	10.8
2013	0	0.2	0.8	0	0.2	0.2	0.9	0.5	0.4	0.1	0.2	0	0.9	3.5
2014	0	0	0	0	0.3	1.1	1.2	0.5	2.3	0.5	0.9	0.8	2.3	7.6
2015	0.4	0.5	1.3	0	1.6	0	2.5	3.8	1.4	2.3	1.2	0.9	3.8	15.9
2016	S/D	0	0	0.1	0	0.1	1.8	0.8	0.5	0.1	0	0	1.8	3.4
2017	0.1	1.6	0	0	0.2	1.8	2.8	1.4	2.5	0.8	5.1	0	5.1	16.3
2018	0.1	0.2	0	0	0.2	1.3	1.1	0.5	0.1	1.6	0.3	0.8	1.6	6.2
2019	9.8	3.1	0	0.2	0.3	0.6	1.8	0.3	1.1	1.5	0.5	0	9.8	19.2
2020	16.4	23.8	0	S/D	S/D	S/D	0	1.4	0.3	0.7	0.6	7.8	23.8	51
2021	1.3	0	0	0	0.8	0.2	1.2	2	1.4	0.9	0	1.3	2	9.1
MEDIA	2.2	1.6	0.6	0.2	0.4	0.7	1.6	1.4	1.1	0.6	0.6	0.8	4.3	
DES. EST.	3.81	4.49	1.22	0.33	0.96	0.66	1.61	1.03	0.76	0.65	1.02	1.57	4.41	
MAXIMO	16.4	23.8	4.8	1.3	5	2	6.9	4	2.9	2.3	5.1	7.8	23.8	
MINIMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	
N° DATOS	28	29	28	28	28	28	29	29	29	29	28	29	29	

Nota: Elaboración propia en base a los datos obtenidos del SENAMHI.

Figura 44

Gráfico de la distribución de precipitación máxima anual en 24H



Nota: Representación gráfica de la distribución de precipitación máxima anual en 24 horas. Elaboración propia

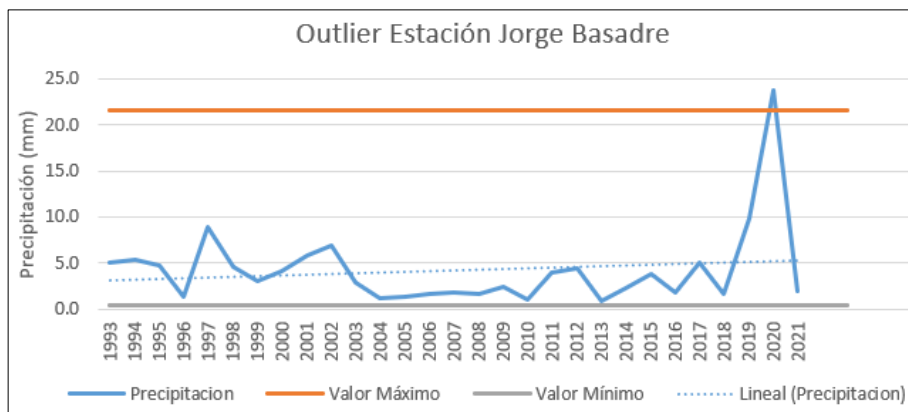
3.5.9.3 Análisis de datos Dudosos (Outlier) en Precipitaciones Máximas de 24 Horas.

Los datos dudosos son aquellos valores atípicos que se apartan significativamente de la tendencia de los datos restantes y se realizan cuando no se dispone de información o solo se cuenta con una estación en la zona de estudio.

Realizando el análisis de datos dudosos (Outlier), para las precipitaciones máximas de 24h de la estación metereologica “Jorge Basadre”, se obtuvo como dado dudoso la precipitación máxima ocurrida en el año 2020 con un valor de 23.8 mm (Figura 45), para lo cual se cambió este dato por el valor de 0 quedando como precipitación máxima para ese año un valor de 16.4 mm (Figura 46).

Figura 45

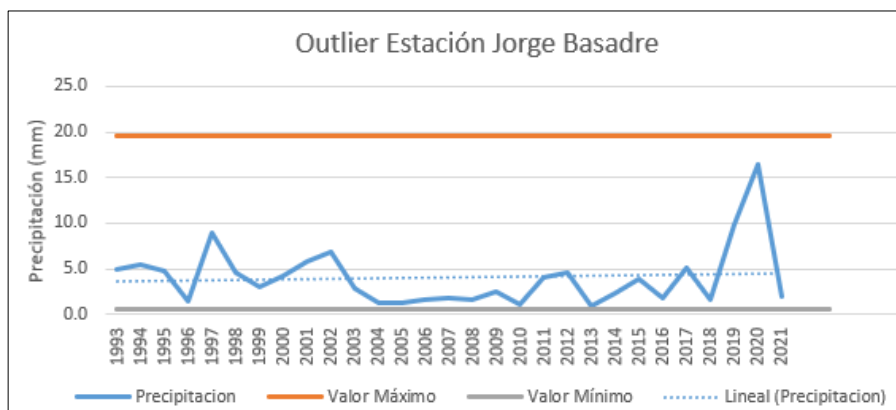
Análisis de dato dudoso (Outlier) inicial



Nota: Elaboración propia.

Figura 46

Análisis de dato dudoso (Outlier) Final



Nota: Elaboración propia.

Según la Organización Meteorológica Mundial OMM (2011), recomienda multiplicar por 1.13 a las cantidades máximas anuales de lluvia diaria u horaria, con el fin de producir valores que se aproximen mucho a los que se obtendrán de un análisis de los máximos reales.

Tabla 14*Precipitaciones máximas anuales en 24 horas*

PRECIPITACION MAXIMA 24 H			
Nº	Año	PP máx. (mm)	PP máx. corregida
1	1993	5	5.65
2	1994	5.4	6.10
3	1995	4.8	5.42
4	1996	1.4	1.58
5	1997	9	10.17
6	1998	4.6	5.20
7	1999	3	3.39
8	2000	4.2	4.75
9	2001	5.8	6.55
10	2002	6.9	7.80
11	2003	2.9	3.28
12	2004	1.2	1.36
13	2005	1.3	1.47
14	2006	1.7	1.92
15	2007	1.8	2.03
16	2008	1.6	1.81
17	2009	2.5	2.83
18	2010	1.1	1.24
19	2011	4	4.52
20	2012	4.5	5.09
21	2013	0.9	1.02
22	2014	2.3	2.60
23	2015	3.8	4.29
24	2016	1.8	2.03
25	2017	5.1	5.76
26	2018	1.6	1.81
27	2019	9.8	11.07
28	2020	16.4	18.53
29	2021	2	2.26

Nota: Se muestra las precipitaciones máximas anuales corregidas mediante el análisis de datos dudosos y el factor que recomienda la OMM (2021). Elaboración propia.

3.5.9.4 Prueba de Bondad de Ajuste (Kolmogorov – Smirnov).

Con ayuda del software HIDROESTA 2, hallamos los Δ Teóricos y Δ Tabulares para saber con certeza que distribución se ajusta mejor a nuestros datos, cabe resaltar que la distribución que menor valor tiene con respecto al Δ Teórico es quien mejor se ajusta a nuestros datos, en la Tabla 15 se muestra el resumen de las pruebas de bondad en donde la distribución Log Pearson tipo III fue que mejor se ajustó a los datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas.

Tabla 15

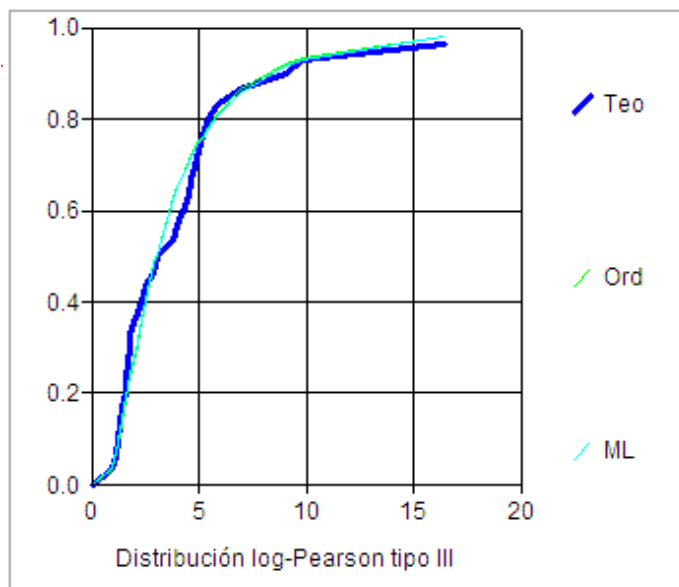
Resultados de la Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov – Smirnov

ESTACION	DISTRIBUCION	Prueba: SMIRNOV-KOLMOGOROV		
		Δ Teórico	Δ Tabular	¿Se ajusta?
JORGE BASADRE	Normal	0.1403	0.2525	si
	Log Normal 2 parámetros	0.1041	0.2525	si
	Log Normal 3 parámetros	0.1049	0.2525	si
	Gamma 2 parámetros	0.1116	0.2525	si
	Gamma 3 parámetros	No se ajusta		No
	LogPearson tipo III	0.09819	0.2525	si
	Distribución Gumbel	0.1201	0.2525	si
	Distribución LogGumbel	0.1447	0.2525	si

Nota: Las distribuciones son las recomendadas por el MTC para el caso de estudios hidrológicos. Elaboración propia.

Figura 47

Gráfico de la distribución Log-Pearson tipo III



Nota: La figura nos muestra el gráfico de la distribución Log-Pearson tipo III con respecto a los datos de precipitación máxima anual en 24 horas de la estación meteorológica “Jorge Basadre”. Elaboración propia en base al software Hidroesta 2.

3.5.9.5 Precipitación Máxima Anual.

Para el cálculo de la precipitación máxima anual se requiere de un periodo de retorno establecido, Villón (2002) dispone en la Tabla 16 periodos de retorno según tipo de estructura a diseñar, por lo que se consideró un periodo de retorno de 10 años teniendo en cuenta que se propuso diseñar un sistema de drenaje de tipo menor y además que en la ciudad de Tacna, las lluvias de larga duración no ocurren con frecuencia.

Tabla 16*Periodos de retorno para diferentes obras hidráulicas*

Tipo de estructura	Periodo de retorno (años)
Puentes sobre carretera importante	50-100
Puentes sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Alcantarilla sobre camino secundario	5-10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1-2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2-10
Drenaje agrícola	5-10
Muros de encauzamiento	2-50*

*Puede aumentar si estas obras protegen poblados de importancia

Nota: Estos valores son referenciales. Tomado de (Villón p.244, 2002).

Con el software Hidroesta 2 se obtuvieron los valores de precipitación máxima probable mediante la distribución probabilística Log-Pearson tipo III para distintos periodos de retorno como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17*Precipitaciones máximas según la distribución Log Pearson tipo III*

Estación Jorge Basadre		
Distribución	Periodo de Retorno (T)	Precipitación Máxima (mm)
Log Pearson tipo III	2	3.36
	5	6.45
	10	9.25
	25	13.80
	50	18.03
	75	20.87
	100	23.07
	500	38.46
	1000	46.94

Nota: Elaboración propia, en base a los datos del software Hidroesta 2.

3.5.9.6 Curva IDT (Intensidad – Duración – Periodo de Retorno).

Según el criterio de discretización de Dyck y Peschke mediante la aplicación de la Ecuación 5 requiere discretizar la precipitación en 24 horas (P_{24hr}) en diferentes duraciones, los resultados se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

Precipitaciones Máximas para Diferentes Tiempo de Duración de lluvias

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	3.36	6.45	9.25	13.80	18.03	20.87	23.07	38.46	46.94
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	Precipitación (mm)								
5	0.82	1.57	2.25	3.35	4.38	5.07	5.60	9.34	11.39
10	0.97	1.86	2.67	3.98	5.20	6.02	6.66	11.10	13.55
15	1.07	2.06	2.96	4.41	5.76	6.67	7.37	12.29	15.00
20	1.15	2.21	3.18	4.74	6.19	7.16	7.92	13.20	16.11
25	1.22	2.34	3.36	5.01	6.54	7.58	8.37	13.96	17.04
30	1.28	2.45	3.51	5.24	6.85	7.93	8.76	14.61	17.83
35	1.33	2.55	3.65	5.45	7.12	8.24	9.11	15.19	18.53
40	1.37	2.63	3.78	5.63	7.36	8.52	9.42	15.70	19.16
45	1.41	2.71	3.89	5.80	7.58	8.77	9.70	16.17	19.74
50	1.45	2.78	3.99	5.96	7.78	9.01	9.96	16.60	20.26
55	1.49	2.85	4.09	6.10	7.97	9.23	10.20	17.00	20.75
60	1.52	2.91	4.18	6.23	8.15	9.43	10.42	17.38	21.21
120	1.81	3.47	4.97	7.41	9.69	11.21	12.40	20.66	25.22
180	2.00	3.84	5.50	8.21	10.72	12.41	13.72	22.87	27.91
240	2.15	4.12	5.91	8.82	11.52	13.33	14.74	24.57	29.99
300	2.27	4.36	6.25	9.32	12.18	14.10	15.59	25.98	31.71
360	2.38	4.56	6.54	9.76	12.75	14.76	16.31	27.20	33.19
420	2.47	4.74	6.80	10.14	13.25	15.34	16.95	28.26	34.50
480	2.55	4.90	7.03	10.49	13.70	15.86	17.53	29.22	35.67
540	2.63	5.05	7.24	10.80	14.11	16.33	18.05	30.10	36.73
600	2.70	5.18	7.43	11.09	14.49	16.77	18.54	30.90	37.71
660	2.76	5.31	7.61	11.35	14.84	17.17	18.98	31.64	38.62
720	2.83	5.42	7.78	11.60	15.16	17.55	19.40	32.34	39.47
780	2.88	5.53	7.94	11.84	15.47	17.90	19.79	32.99	40.27
840	2.94	5.64	8.08	12.06	15.76	18.24	20.16	33.61	41.02
900	2.99	5.73	8.22	12.27	16.03	18.56	20.51	34.20	41.74
960	3.04	5.83	8.36	12.47	16.29	18.86	20.85	34.75	42.42
1020	3.08	5.92	8.49	12.66	16.54	19.15	21.16	35.28	43.06
1080	3.13	6.00	8.61	12.84	16.78	19.42	21.47	35.79	43.68
1140	3.17	6.08	8.73	13.02	17.01	19.69	21.76	36.28	44.28
1200	3.21	6.16	8.84	13.19	17.23	19.94	22.04	36.75	44.85
1260	3.25	6.24	8.95	13.35	17.44	20.18	22.31	37.20	45.40
1320	3.29	6.31	9.05	13.50	17.64	20.42	22.57	37.63	45.93
1380	3.32	6.38	9.15	13.65	17.84	20.65	22.83	38.05	46.44
1440	3.36	6.45	9.25	13.80	18.03	20.87	23.07	38.46	46.94

Nota: Elaboración propia.

Luego para transformar las lluvias máximas en intensidades máximas se aplicó la Ecuación 7, con ello se obtiene la Tabla 19.

Tabla 19

Intensidad de la lluvia (mm/hr) según Periodo de Retorno

Duracion (Horas)	Duracion (min)	Periodo de Retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
		Intensidad (mm/hr)								
0.083	5	9.79	18.79	26.94	40.20	52.52	60.79	67.20	112.03	136.73
0.167	10	5.82	11.17	16.02	23.90	31.23	36.15	39.96	66.61	81.30
0.250	15	4.29	8.24	11.82	17.63	23.04	26.67	29.48	49.15	59.98
0.333	20	3.46	6.64	9.53	14.21	18.57	21.49	23.76	39.61	48.34
0.417	25	2.93	5.62	8.06	12.02	15.71	18.18	20.10	33.51	40.89
0.500	30	2.55	4.90	7.03	10.49	13.70	15.86	17.53	29.22	35.67
0.583	35	2.27	4.37	6.26	9.34	12.20	14.13	15.62	26.03	31.77
0.667	40	2.06	3.95	5.66	8.45	11.04	12.78	14.13	23.55	28.74
0.750	45	1.88	3.62	5.19	7.74	10.11	11.70	12.93	21.56	26.31
0.833	50	1.74	3.34	4.79	7.15	9.34	10.81	11.95	19.92	24.32
0.917	55	1.62	3.11	4.46	6.66	8.70	10.06	11.13	18.55	22.64
1.000	60	1.52	2.91	4.18	6.23	8.15	9.43	10.42	17.38	21.21
2.000	120	0.90	1.73	2.48	3.71	4.84	5.61	6.20	10.33	12.61
3.000	180	0.67	1.28	1.83	2.74	3.57	4.14	4.57	7.62	9.30
4.000	240	0.54	1.03	1.48	2.20	2.88	3.33	3.69	6.14	7.50
5.000	300	0.45	0.87	1.25	1.86	2.44	2.82	3.12	5.20	6.34
6.000	360	0.40	0.76	1.09	1.63	2.12	2.46	2.72	4.53	5.53
7.000	420	0.35	0.68	0.97	1.45	1.89	2.19	2.42	4.04	4.93
8.000	480	0.32	0.61	0.88	1.31	1.71	1.98	2.19	3.65	4.46
9.000	540	0.29	0.56	0.80	1.20	1.57	1.81	2.01	3.34	4.08
10.000	600	0.27	0.52	0.74	1.11	1.45	1.68	1.85	3.09	3.77
11.000	660	0.25	0.48	0.69	1.03	1.35	1.56	1.73	2.88	3.51
12.000	720	0.24	0.45	0.65	0.97	1.26	1.46	1.62	2.70	3.29
13.000	780	0.22	0.43	0.61	0.91	1.19	1.38	1.52	2.54	3.10
14.000	840	0.21	0.40	0.58	0.86	1.13	1.30	1.44	2.40	2.93
15.000	900	0.20	0.38	0.55	0.82	1.07	1.24	1.37	2.28	2.78
16.000	960	0.19	0.36	0.52	0.78	1.02	1.18	1.30	2.17	2.65
17.000	1020	0.18	0.35	0.50	0.74	0.97	1.13	1.24	2.08	2.53
18.000	1080	0.17	0.33	0.48	0.71	0.93	1.08	1.19	1.99	2.43
19.000	1140	0.17	0.32	0.46	0.69	0.90	1.04	1.15	1.91	2.33
20.000	1200	0.16	0.31	0.44	0.66	0.86	1.00	1.10	1.84	2.24
21.000	1260	0.15	0.30	0.43	0.64	0.83	0.96	1.06	1.77	2.16
22.000	1320	0.15	0.29	0.41	0.61	0.80	0.93	1.03	1.71	2.09
23.000	1380	0.14	0.28	0.40	0.59	0.78	0.90	0.99	1.65	2.02
24.000	1440	0.14	0.27	0.39	0.58	0.75	0.87	0.96	1.60	1.96

Nota: Elaboración propia mediante el software Ms Excel.

El cálculo de la curva de Intensidad – Duración – Periodo de retorno (IDT) se realizó mediante la Ecuación de la Intensidad Máxima (Ecuación 6).

Los valores de los parámetros de ajuste K, m, n se determinaron mediante procedimiento de análisis de regresión múltiple por lo que se tiene:

Tabla 20

Estadística de la Regresión Potencial

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99600441
Coefficiente de determinación R ²	0.99202478
R ² ajustado	0.99197365
Error típico	0.05781963
Observaciones	315

Nota: Elaboración propia mediante el software Ms Excel.

Tabla 21

Cálculo de Parámetros de Ajuste K, m, n

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>
Intercepción	1.50629885	0.01269142
Variable X 1	-0.75	0.00449384
Variable X 2	0.39593492	0.00378282

Nota: Elaboración propia mediante el software Ms Excel.

Por lo tanto, la Ecuación 11 es la que relaciona la intensidad máxima (I_{max}) con el periodo de retorno (T) y la duración (D) para la estación metereologica “Jorge Basadre”:

$$I_{\max} = \frac{32.085 \times T^{0.396}}{D^{0.75}} \quad (11)$$

La Ecuación 11 permite el cálculo de la intensidad máxima (I_{max}), para una duración (D) y un periodo de retorno (T) dado.

Entonces, desarrollando la Ecuación 11 para los siguientes datos se tiene:

- Periodo de retorno = 10 años.
- Duración de lluvia = Tiempo de concentración = 10 min

$$I_{\max} = \frac{32.085 \times (10)^{0.396}}{(10)^{0.75}} = 14.2 \text{ mm/hr}$$

Para el gráfico de las Curvas de Intensidad - Duración - Periodo de retorno (IDT) (Figura 48), se usó la Ecuación 11, para lo cual fue necesario tener la Tabla 22 que nos muestra la distribución de los valores de las curvas IDT.

Tabla 22

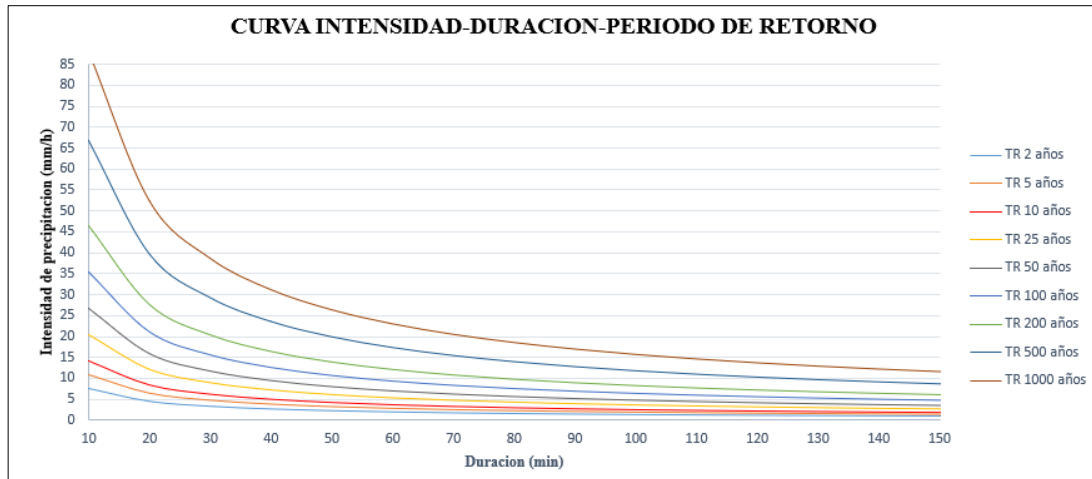
Distribución de Intensidad – Duración – Periodo de retorno para las Curvas IDT

Duracion (min)	Periodo de Retomo (Años)								
	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
	Intensidad (mm/hr)								
10	7.51	10.79	14.20	20.41	26.86	35.34	46.51	66.85	87.96
20	4.46	6.42	8.44	12.14	15.97	21.02	27.65	39.75	52.30
30	3.29	4.73	6.23	8.95	11.78	15.50	20.40	29.33	38.59
40	2.65	3.82	5.02	7.22	9.50	12.50	16.44	23.63	31.10
50	2.25	3.23	4.25	6.10	8.03	10.57	13.91	19.99	26.31
60	1.96	2.82	3.70	5.32	7.01	9.22	12.13	17.44	22.95
70	1.74	2.51	3.30	4.74	6.24	8.21	10.81	15.53	20.44
80	1.58	2.27	2.99	4.29	5.65	7.43	9.78	14.05	18.49
90	1.44	2.08	2.73	3.93	5.17	6.80	8.95	12.87	16.93
100	1.34	1.92	2.53	3.63	4.78	6.28	8.27	11.89	15.64
110	1.24	1.79	2.35	3.38	4.45	5.85	7.70	11.07	14.56
120	1.16	1.67	2.20	3.17	4.17	5.48	7.21	10.37	13.64
130	1.10	1.58	2.07	2.98	3.92	5.16	6.79	9.76	12.85
140	1.04	1.49	1.96	2.82	3.71	4.88	6.43	9.24	12.15
150	0.99	1.42	1.86	2.68	3.52	4.64	6.10	8.77	11.54
160	0.94	1.35	1.78	2.55	3.36	4.42	5.81	8.36	11.00
170	0.90	1.29	1.70	2.44	3.21	4.22	5.55	7.98	10.51
180	0.86	1.23	1.62	2.34	3.07	4.04	5.32	7.65	10.07
190	0.82	1.19	1.56	2.24	2.95	3.88	5.11	7.35	9.67
200	0.79	1.14	1.50	2.16	2.84	3.74	4.92	7.07	9.30
210	0.77	1.10	1.45	2.08	2.74	3.60	4.74	6.81	8.97
220	0.74	1.06	1.40	2.01	2.64	3.48	4.58	6.58	8.66
230	0.71	1.03	1.35	1.94	2.56	3.37	4.43	6.36	8.38
240	0.69	1.00	1.31	1.88	2.48	3.26	4.29	6.17	8.11

Nota: Elaboración propia.

Figura 48

Gráfico Intensidad - Duración -Periodo de retorno



Nota: Elaboración propia.

3.5.9.7 Análisis de la Tormenta de Diseño.

En la Tabla 23 se muestra los resultados de los cálculos de precipitaciones e intensidades para una duración de tormenta de 6 horas de lluvia y para un periodo de retorno de 10 años.

Finalmente, la Figura 49 muestra el hietograma de diseño resultado del análisis hidrológico de la zona de estudio, el hietograma de diseño fue necesario para realizar el modelado hidrológico en el software SWMM 5.2.

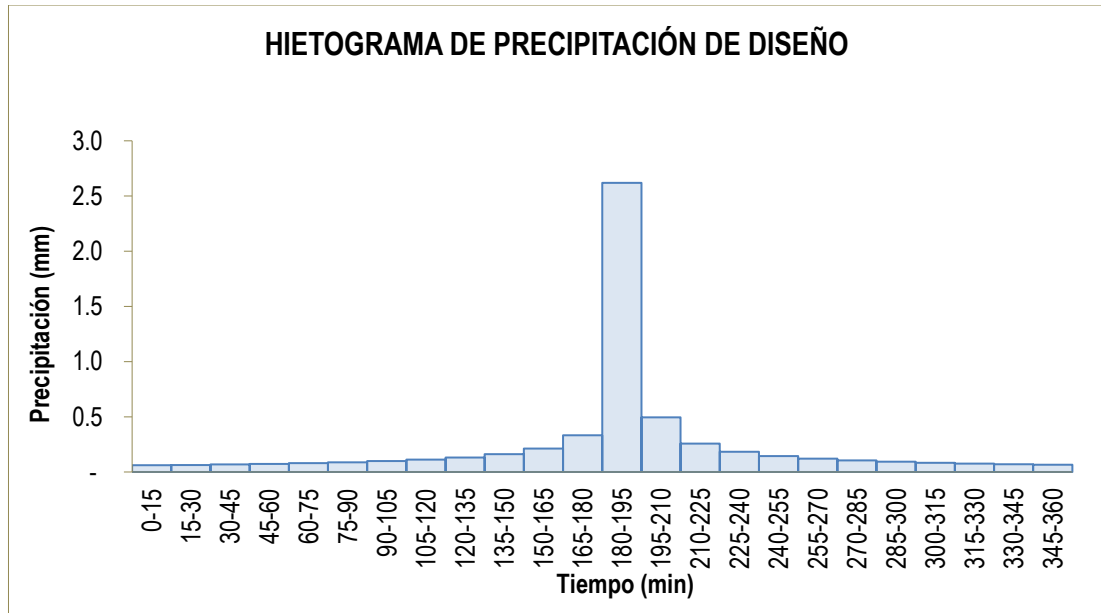
Tabla 23*Datos del Hietograma para T=10 años con duración de 6 Horas*

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
15	10.477	2.619	2.619	0-15	0.061
30	6.230	3.115	0.496	15-30	0.063
45	4.596	3.447	0.332	30-45	0.068
60	3.704	3.704	0.257	45-60	0.073
75	3.133	3.917	0.213	60-75	0.080
90	2.733	4.099	0.183	75-90	0.088
105	2.434	4.260	0.161	90-105	0.099
120	2.202	4.405	0.145	105-120	0.112
135	2.016	4.537	0.132	120-135	0.132
150	1.863	4.658	0.121	135-150	0.161
165	1.735	4.770	0.112	150-165	0.213
180	1.625	4.875	0.105	165-180	0.332
195	1.530	4.973	0.099	180-195	2.619
210	1.448	5.066	0.093	195-210	0.496
225	1.375	5.155	0.088	210-225	0.257
240	1.310	5.238	0.084	225-240	0.183
255	1.251	5.318	0.080	240-255	0.145
270	1.199	5.395	0.077	255-270	0.121
285	1.151	5.468	0.073	270-285	0.105
300	1.108	5.539	0.071	285-300	0.093
315	1.068	5.607	0.068	300-315	0.084
330	1.031	5.673	0.066	315-330	0.077
345	0.998	5.736	0.063	330-345	0.071
360	0.966	5.797	0.061	345-360	0.066

Nota: Los valores del hietograma son en base a la duración de tormenta de 6 horas en intervalos de 15 minutos y periodo de retorno de 10 años. Elaboración propia con el software Ms Excel.

Figura 49

Hietograma de diseño



Nota: El hietograma es el gráfico de la intensidad de la lluvia en función del tiempo.

Elaboración propia mediante el software Ms Excel.

Se definió una duración de lluvia de seis horas, aunque el tiempo de concentración y duración de tormenta en la zona de estudio es inferior. Lo anterior, con el objetivo de simular el caso más indeseable de una precipitación extensa.

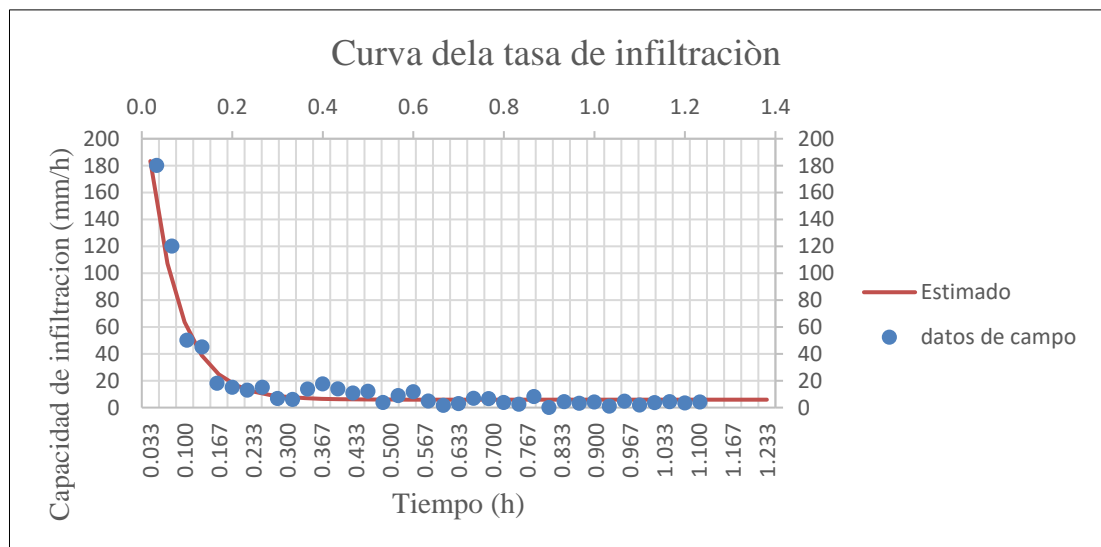
3.5.9.8 Cálculo de la tasa de infiltración del suelo.

Mediante la Ecuación 8 (ecuación de Horton), se determinó la tasa de infiltración del suelo con datos obtenidos en campo del ensayo de infiltración con el anillo doble, la Figura 50 muestra la gráfica de la tasa de infiltración de los datos

obtenidos en campo con respecto a los datos de la curva que mejor se ajusta a esos datos.

Figura 50

Grafica de la curva de la tasa de infiltración con datos obtenidos del ensayo en campo



Nota: En la gráfica se observa que en los primeros minutos el suelo alcanza su máxima capacidad de infiltración y a medida que pasa el tiempo la infiltración disminuye hasta alcanzar un valor constante. Elaboración propia.

El cálculo completo se encuentra en el “ANEXO 3: CALCULO DE LA INFILTRACION”, donde se encuentra la información detallada obtenida del ensayo de infiltración en campo y el cálculo de los parámetros por medio de la ecuación de Horton.

Tabla 24

Parámetros de Horton obtenidos

Parámetro	Valor	Unidad
fc	4.10	mm/h
fo	23.597	mm/h
k	0.240	1/h

Nota: Elaboración propia.

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación de Horton (Ecuación 4), se tiene la Ecuación 12 la cual que representa la capacidad de infiltración (mm/h) de la zona de estudio Junta vecinal Jesús María:

$$f_{(t)} = 4.10 + (23.597 - 4.10) * e^{-0.240t} \quad (12)$$

La capacidad de infiltración del suelo de la zona de estudio es de 4.10 mm/h, estos datos se ingresaron al software SWMM 5.2 ya que fue necesario para representar el grado de permeabilidad en las zonas permeables así mismo representa la capacidad de infiltración de las estructuras LID a usar para infiltrar la escorrentía superficial.

3.5.10 Determinación de Información para la Construcción del Modelo en EPA SWMM 5.2

Para el modelado del sistema de drenaje pluvial urbano sostenible en la zona de estudio se requieren de los siguientes componentes físicos como son: El pluviómetro, subcuencas, nodos de unión, conductos y nodos de salidas.

3.5.10.1 Pluviómetros (Rain gages).

Los pluviómetros son usados en SWMM 5.2 para establecer datos de precipitación para las subcuencas, las propiedades necesarias para su modelado son:

- **Nombre (Name):** Se estableció las iniciales de la estación metereologica “Jorge Basadre Grohmann” (EST-JBG).

- **Formato de lluvia (Rain Format):** Se eligió el formato de INTENSIDAD el cual indica que cada valor de lluvia es una tasa promedio en (mm/hora) durante el intervalo de registro.

- **Intervalo de tiempo (Time Interval):** Es el intervalo de tiempo de registro entre lecturas de medido en formato horas: minutos para lo cual se eligió 15 minutos como intervalo de tiempo.

- **Fuente de datos (Data Source):** Es la fuente de datos de lluvia; se eligió “TIMESERIE” ya que el usuario proporcionó los datos de series temporales establecidas en el hietograma de diseño hallado en el cálculo hidrológico.

- **Nombre de la serie (Series Name):** Se estableció las iniciales Jorge Basadre Grohmann (JBG).

- **Unidades de lluvia (Rain Units):** Se estableció como unidad de profundidad en milímetros (mm) para valores de lluvia.

3.5.10.2 Subcuencas (Subcatchment).

Las subcuencas son unidades hidrológicas de terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje dirigen la esorrentía superficial a un único punto de

descarga. Para lo cual se definió a la junta vecinal Jesús María y su área de influencia como una cuenca urbana, y para obtener un mejor comportamiento en los resultados se dividió en 367 subcuencas que representan sus áreas permeables e impermeables con sus respectivos puntos de salida. las propiedades necesarias para su modelado son:

- **Nombre (Name):** Se estableció la denominación de subcuencas mediante el prefijo “SC-” enumeradas desde el 1 hasta el 367.

- **Pluviómetro (Rain Gage):** Nombre del pluviómetro asociado con la subcuenca, se estableció el pluviómetro EST-JGB para todas las subcuencas.

- **Toma de corriente (Outlet):** El nombre del nodo a la que drena la subcuenca, para esto se hizo un análisis para cada subcuenca considerando que el nodo con cota más baja es a la que drena la subcuenca.

- **Área (Area):** Área de la subcuenca en hectáreas (ha), incluidos los controles LID, se calculó el área predeterminada a partir de las geometrías de todas las subcuencas mediante el software Qgis 3.24.1.

- **Porcentaje de impermeabilidad (% Imperv):** Porcentaje del área terrestre de la subcuenca (excluyendo el área utilizada para los controles LID) que es impermeable, se determinó en función de la superficie de cada subcuenca de la zona de estudio con ayuda de imágenes satelitales estimándose valores dentro de los rangos de 10% - 50% con presencia de zonas de recreación pública, 95% con presencia de zonas residenciales y equipamientos urbanos.

▪ **Ancho (*Width*):** Es el ancho de la ruta de flujo terrestre para la esorrentía de flujo laminar en metros (m). Según Ibáñez et al. (2010) el ancho de la cuenca se define como la relación entre el área (A) y la longitud del cauce principal (L) Ecuación 13, aplicando dicha ecuación se calculó los anchos para cada subcuenca.

$$W = \frac{A}{L} \quad (13)$$

Donde:

W: Ancho de cuenca (m)

A: Área de la cuenca (m²)

L: Longitud de cauce principal (m)

Debido a que la longitud de cauce principal (L) para cada sub cuenca es variable de se consideró una relación con el perímetro de la subcuenca urbana tomando un promedio de muestras elegidas al azar, la Ecuación 14 representa esta relación:

$$L = \frac{P}{3} \quad (14)$$

Donde:

L: Longitud de cauce principal (m)

P: Perímetro de la subcuenca (m)

▪ **Porcentaje de pendiente (% *Slope*):** Es el gradiente promedio en el que la subcuenca drena al nodo. Se hizo el cálculo del porcentaje de pendiente para cada subcuenca en la zona de estudio mediante el software Qgis 3.24.1 con ayuda del

modelo digital de elevación DEM a 12.5 m de resolución, obtenido del satélite ALOS PALSAR estimándose valores dentro de los rangos de 0% - 10%.

Datos para subáreas.

▪ **Rugosidad impermeable y permeable (N-Imperv y N-Perv):** Es el valor del coeficiente de rugosidad (n) de Manning para el flujo superficial sobre la parte impermeable y permeable de la subcuenca (Tabla 25). Debido a que el flujo de la escorrentía superficial tiene contacto con superficies de asfalto y concreto se consideró para superficies impermeables $n=0.012$, además por existir zonas agrícolas y de recreación pública se consideró para superficies permeables $n=0.13$.

Tabla 25

Coefficiente de Manning (n) - flujo superficial

Surface	n
Smooth asphalt	0.011
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Good wood	0.014
Brick with cement mortar	0.014
Vitrified clay	0.015
Cast iron	0.015
Corrugated metal pipes	0.024
Cement rubble surface	0.024
Fallow soils (no residue)	0.05
Cultivated soils	
Residue cover < 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Range (natural)	0.13
Grass	
Short, prairie	0.15
Dense	0.24
Bermuda grass	0.41

Nota: La rugosidad afecta a la velocidad de la escorrentía superficial. Tomado de (Rossman & Simon, 2022).

▪ **Profundidad de almacenamiento de depresión impermeable y permeable (*Dstore-Imperv* y *Dstore-Perv*):** Es la profundidad del almacenamiento superficial de la depresión en la parte impermeable y permeable de la subcuenca. Este parámetro se obtuvo de la Tabla 26 de los cuales se seleccionó de acuerdo al tipo de superficie y se transformó a milímetros ya que están dados en pulgadas teniendo como resultado para superficies impermeables $Dstore-Imperv = 1.905$ mm y para superficies permeables $Dstore-Perv = 5.08$ mm.

Tabla 26

Profundidad de almacenamiento de depresión

Impervious surfaces	0.05 - 0.10 inches
Lawns	0.10 - 0.20 inches
Pasture	0.20 inches
Forest litter	0.30 inches

Nota: Las depresiones se consideran como imperfecciones en la superficie, que generan la retención del flujo de esorrentía ocasionando encharcamiento o aniegos. Tomado de (Rossman & Simon, 2022).

▪ **Porcentaje de área impermeable sin almacenamiento en depresión (% *Zero-Imperv*):** Según Hidalgo (2019) y Rojas (2017) este valor es difícil de determinar en campo o usando fórmulas empíricas debido a que el agua se puede estancar en techos o terrazas con poca pendiente que no permitan su escurrimiento, por lo que su valor se sitúa entre 20% - 25%, para esta investigación se ha tomado un valor de 22.5%.

▪ **Enrutamiento de subárea (Subarea Routing):** Según Guanipa et al. (2020) es poco probable conocer de manera certera la dirección del flujo en el modelo de transporte interno ya que este parámetro se estima con ayuda de los planos de construcción del entorno urbano, por lo que se ha asignado la opción OUTLET la cual indica que existe flujo interno entre las áreas impermeable y permeable de las subcuencas y a su vez esta escorrentía desde ambas áreas fluye directamente hacia el nodo de salida de cada subcuenca.

▪ **Porcentaje enrutado (Percent Routed):** Este parámetro se encuentra enlazado a la opción anterior de “Subarea Routing”, se refiere a la cantidad de escorrentía que será transportado mediante la opción OUTLET; Se estableció el valor de 100% por que debido a las pendientes de las subcuencas la escorrentía fluye hacia las partes bajas.

Datos para Infiltración.

▪ **Método de infiltración (Infiltration Method):** Este parámetro especifica cómo se modelará la infiltración de lluvia en la zona superior del suelo en la subcuenca. Se estableció el modelo de HORTON.

▪ **Tasa máxima de infiltración (Max. Infil. Rate):** Es la tasa máxima de infiltración en el modelo de HORTON en milímetro/hora. Del ensayo realizado en campo se consideró como tasa máxima de infiltración $f_o = 23.597$ mm/h.

▪ **Tasa mínima de infiltración (Min. Infil. Rate):** Es la tasa mínima de infiltración en el modelo de HORTON en milímetro/hora. Del ensayo realizado en campo se consideró como tasa mínima de infiltración $f_c = 4.100$ mm/h.

▪ **Constante de decaimiento (Decay constant):** Es la constante de decaimiento para la curva de Horton también conocido como coeficiente de conductividad hidráulica en unidades 1/hora. Del ensayo realizado en campo se consideró como constante de decaimiento $k = 0.240$ 1/h.

▪ **Tiempo de secado (Drying Time):** Es el tiempo en días para que un suelo totalmente saturado se seque por completo. Según Rossman & Simon (2022) los valores oscilan entre 2 y 14 días además Guanipa et al. (2020) afirma que los valores típicos oscilan entre 5 y 10 días, por lo que se consideró como tiempo de secado 7 días ya que este parámetro es variable con respecto a los factores climáticos de la zona de estudio tales como temperatura, humedad relativa, vientos, intensidad y duración de la precipitación, etc.

▪ **Volumen máximo de infiltración (Max. Volume):** Volumen máximo de infiltración posible en milímetros. Se consideró que este parámetro no aplica por lo que se tomó 0 como valor.

3.5.10.3 Nodos de Unión (Junction).

Son las conexiones del sistema de drenaje en donde se conectan o distintos conductos. Para la presente investigación se cuenta con 142 nodos los cuales

representan las intersecciones de las calles y los puntos de descargas de las subcuencas en la zona de estudio, las propiedades necesarias para su modelado son:

- **Nombre (Name):** Se estableció la denominación de los nodos mediante el prefijo “J-” enumeradas desde el 1 hasta el 142.

- **Invertir elevación (Invert. Elv):** Es la elevación del nodo en metros. En la presente investigación las cotas de tapa de buzones representaron la elevación de los nodos y estas elevaciones se encontraron en el rango de 566.610 msnm – 596.51 msnm.

3.5.10.4 Conductos (Conduit).

Los conductos son canales que mueven el agua de un nodo a otro en el sistema de transporte. Para la presente investigación se contó con 221 conductos los cuales representan las calles con sus respectivas secciones transversales, las propiedades necesarias para su modelado son:

- **Nombre (Name):** Se estableció la denominación de los conductos mediante el prefijo “Condu-” enumeradas desde el 1 hasta los 221.

- **Nodo de entrada (Inlet Node):** Nombre del nodo en el extremo de entrada del conducto (normalmente el extremo a mayor altura). Se establecieron los valores siguiendo la dirección de flujo establecida por los las cotas de los nodos.

- **Nodo de salida (Outlet Node):** Nombre del nodo en el extremo de salida del conducto (normalmente el extremo en la elevación más baja). Se establecieron los valores siguiendo la dirección de flujo establecida por los las cotas de los nodos.

▪ **Longitud (Length):** Es la longitud del conducto en metros. Para la presente investigación se determinó la longitud inclinada del conducto mediante el software Qgis 3.24.1 en base a los nodos de entrada y salida con sus respectivas cotas.

▪ **Rugosidad (Roughness):** Es el coeficiente de rugosidad de Manning el cual está relacionado a la resistencia del flujo en un canal determinado. Los coeficientes de rugosidad de Manning fueron determinados a partir de la Tabla 27, proporcionada por el manual de SWMM, y fueron elegidas en función de las calles, vías y avenidas que están pavimentadas $n=0.013$ y las que no se encuentran pavimentadas $n=0.020$.

Tabla 27

Coefficientes de Rugosidad de Manning para canales abiertos

Channel Type	n
Lined Channels	
- Asphalt	0.013 - 0.017
- Brick	0.012 - 0.018
- Concrete	0.011 - 0.020
- Rubble or riprap	0.020 - 0.035
- Vegetal	0.030 - 0.40
Excavated or dredged	
- Earth, straight and uniform	0.020 - 0.030
- Earth, winding, fairly uniform	0.025 - 0.040
- Rock	0.030 - 0.045
- Unmaintained	0.050 - 0.140
Natural channels (minor streams, top width at flood stage < 100 ft)	
- Fairly regular section	0.030 - 0.070
- Irregular section with pools	0.040 - 0.100


























Nota: La rugosidad afecta a la velocidad de la escorrentía superficial. Tomado de (Rossman & Simon, 2022).

Datos para secciones transversales

▪ **Forma (Shape):** Representa la forma que va a adoptar el conducto, el software SWMM 5.2 dispone de varias formas geométricas para este parámetro (Tabla 28). Se usó la opción de sección IRREGULAR, esta opción requirió de coordenadas cartesianas para su modelado en el software SWMM 5.2, el canal abierto de forma irregular representó a las calles, vías y avenidas como conductos es por ello que se usaron los datos de las secciones viales definidas en el ítem 3.5.6.

Tabla 28

Formas de sección trasversal disponible en SWMM 5.2 para conductos

Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Full Height		Circular Force Main	Full Height, Roughness	
Filled Circular	Full Height, Filled Depth		Rectangular - Closed	Full Height, Width	
Rectangular - Open	Full Height, Width		Trapezoidal	Full Height, Base Width, Side Slopes	
Triangular	Full Height, Top Width		Horizontal Ellipse	Full Height, Max. Width	
Vertical Ellipse	Full Height, Max. Width		Arch	Full Height, Max. Width	
Parabolic	Full Height, Top Width		Power	Full Height, Top Width, Exponent	
Rectangular-Triangular	Full Height, Top Width, Triangle Height		Rectangular-Round	Full Height, Top Width, Bottom Radius	
Modified Baskethandle	Full Height, Bottom Width, Top Radius		Egg	Full Height	
Horseshoe	Full Height		Gothic	Full Height	
Catenary	Full Height		Semi-Elliptical	Full Height	
Baskethandle	Full Height		Semi-Circular	Full Height	
Irregular Channel	Transect Coordinates		Custom Closed Shape	Full Height, Shape Curve Coordinates	
Street or Roadway	See Section 3.3.6				

Nota: Tomado de (Rossman & Simon, 2022).

▪ **Nombre de la sección transversal (Shp_Trnsct):** Es el nombre de la sección [TRANSECTS] que describe la sección transversal o geometría de un canal irregular. Se usaron cuatro tipos de secciones transversales denominadas: Sección típica, sección 50, sección 16 y sección 13 los cuales representaron las secciones viales de las vías, pasajes, calles principales y avenidas dentro de la zona de estudio. Estas secciones fueron asignadas a cada conducto.

3.5.10.5 Salida (Outfall).

▪ **Nombre (Name):** Es el nombre del nodo de salida asignado por el usuario. Se consideró como nodos de salida dos Buzones denominados: Bz_Salida_1 y Bz_Salida_2, que se encuentra aledaño a la zona de estudio.

▪ **Elevación (Invert El.):** Elevación del nodo de salida en metros. Se consideró Bz_1= 567.12 m.s.n.m. y Bz_2= 565.060 m.s.n.m. como elevaciones para los nodos de salida.

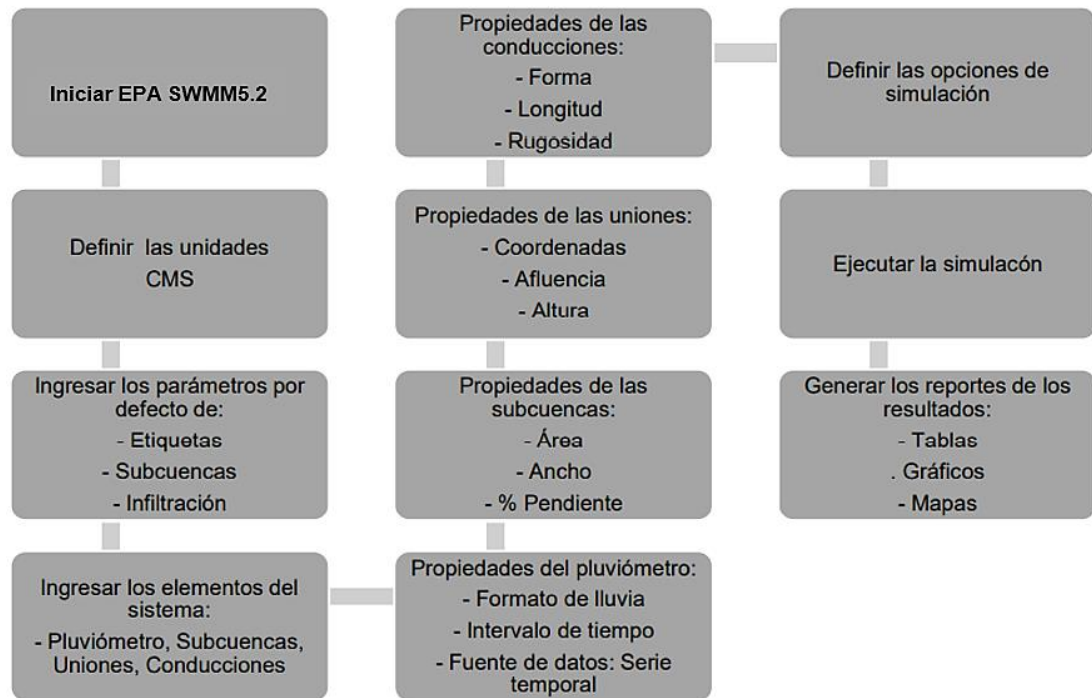
3.5.11 Modelación en EPA SWMM 5.2

3.5.11.1 Construcción del Modelo Hidrológico.

Una vez definidos los parámetros hidrológicos y las propiedades de las subcuencas, conductos, nodos y salidas, se construye el modelo en SWMM 5.2 siguiendo el proceso descrito en la Figura 51. La información completa que se ingresó para cada subcuenca, conducto, nodos y salidas se puede ver en el “ANEXO 4: PARAMETROS DE LAS SUBCUENCAS, CONDUCCIONES Y UNIONES”.

Figura 51

Proceso general para la construcción del modelo en EPA SWMM 5.2



Nota: Tomada de (Hidalgo, 2019)

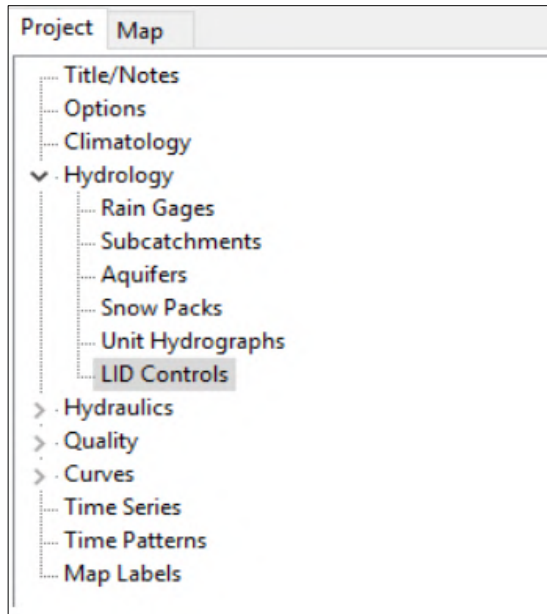
3.5.11.2 Modelado de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS.

Para dar solución al problema de la escorrentía superficial e inundaciones dentro de la zona de estudio se han planteado el uso de sistemas urbano de drenaje sostenible SUDS o también conocido como desarrollo de bajo impacto LIDS.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles se crean en la en la ventana “Project”, opción “Hydrology”, complemento “LID Controls” (Figura 52).

Figura 52

Menú para añadir SUDS en SWMM 5.2



Nota: Elaboración propia con el software SWMM 5.2.

Para la presente investigación se consideró dos de las ocho opciones de LID Controls que se encuentran disponibles en SWMM 5.2. Estas opciones se detallan en el Ítem 2.2.6 y son: Pavimento permeable continuo y zanjas de infiltración. Cada uno de los LID tienen sus propias capas, en los que se deben ingresar los valores requeridos de los diferentes parámetros.

3.5.11.2.1 Pavimentos Permeables Continuos.

Este sistema se utiliza en zonas de estacionamiento o en vías de bajo tránsito y resulta eficaz para reducir la escorrentía superficial y encharcamientos a continuación, se describen los componentes y parámetros considerados en su estructura.

Superficie (Surface)

Describe las características de la superficie del pavimento permeable continuo.

▪ ***Altura de berma (Berm Height)***: Se refiere a la altura máxima en la que el agua debe almacenarse sobre la superficie antes de desbordar, en milímetros. Se ha seleccionado una altura de 0 mm, ya que no existe almacenamiento en superficie.

▪ ***Fracción de volumen de vegetación (Vegetation Volumen Fraction)***: Se refiere al volumen dentro de la profundidad de almacenamiento llena de vegetación. No existe vegetación, es por ello que, este parámetro fue 0.

▪ ***Rugosidad de la Superficie (Surface Roughness)***: Es el coeficiente de rugosidad sobre la superficie del pavimento. Se adoptó el coeficiente de rugosidad de Manning $n=0.017$ por ser de concreto permeable sin acabado liso.

▪ ***Pendiente de la Superficie (Surface Slope)***: Es la pendiente con la cual el agua será transportada en el elemento (%). Se consideró 2% de pendiente para favorecer la infiltración en el suelo y por ubicarse en zonas de estacionamiento los cuales no tienen pendientes considerables.

Pavimento (Paviment)

Es la capa específica del pavimento el cual contiene las propiedades para el diseño de pavimentos permeables. Las propiedades de relación de vacíos, permeabilidad, entre otras, fueron tomadas del pavimento permeable diseñado en la tesis titulada “Diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos de bajo volumen de tránsito en la ciudad de Tacna” realizado por Laura & Quispe (2019).

▪ **Espesor (Thickness):** Se refiere a la altura de la capa del pavimento en milímetros. Se consideró un grosor de 100 mm.

▪ **Relación de vacíos (Void Ratio):** Es el volumen de espacios vacíos en relación con el volumen de sólidos en el pavimento. Según Rossman & Simon (2022) los valores típicos para pavimentos son 0.12 a 0.21. De acuerdo al pavimento permeable utilizado este valor fue de 0.15.

▪ **Fracción de superficie impermeable (Impervious Surface Fraction):** se refiere a la relación entre el área del material del pavimento permeable y el área total; según Rossman & Simon (2022) este valor es 0 para sistemas continuos de pavimento poroso

▪ **Permeabilidad (Permeability):** Permeabilidad del hormigón utilizado en sistemas continuos en milímetro/hora. De acuerdo al pavimento permeable utilizado este valor fue de 9000 mm/h.

▪ **Factor de obstrucción (Clogging Factor):** Indica el valor con el que se obstruye completamente el pavimento permeable, impidiendo el ingreso de la escorrentía. Según Abellán (2014), si se tiene la cantidad de años Y_{clog} que se necesitan para obstruir fraccionalmente el sistema hasta un grado F_{clog} , entonces el factor de obstrucción (CF) se puede calcular con la Ecuación 15:

$$CF = Y_{clog} * Pa * (1 + CR) * \frac{1+VR}{VR*(1-ISF)*T*F_{clog}} \quad (15)$$

Donde:

Pa : Es la cantidad de lluvia anual sobre el sitio (pulgadas/año)

CR: Es la tasa de captura del pavimento (área que contribuye con la escorrentía al pavimento dividida por el área del pavimento mismo)

VR: Es la relación de vacíos del sistema

ISF: Es la fracción de superficie impermeable

T: Es el espesor de la capa de pavimento (pulgadas)

Según Trujillo & Quiroz (2013) los sistemas de pavimento permeable continuo son propensos a la obstrucción de sus poros, alrededor de 3 años después de la instalación sin embargo con un mantenimiento eficiente se puede alcanzar los 5 años. Por lo que se tiene que se necesitan 5 años para obstruir por completo el sistema de pavimento permeable continuo que sirve a un área donde la precipitación anual es de 0.4535 pulgadas/año. Si el pavimento tiene un espesor de 4.72 pulgadas, tiene una relación de vacíos de 0.15 y tasa de captura de $CR = 1$, por lo que usando la Ecuación 11 se tiene que el factor de obstrucción es:

$$CF = 5 * 0.4535 * (1 + 1) * \frac{1 + 0.15}{0.15 * (1 - 0) * 4.72 * 1}$$

$$CF = 7.366$$

Almacenamiento (Storage)

Es la capa del material el cual va a almacenar agua e infiltrarlo al suelo esta capa puede estar compuesta de piedra triturada o grava comúnmente utilizada en los sistemas de pavimento permeables.

▪ ***Espesor (Thickness)***: Es la altura de la capa de suelo a colocar en milímetros.

La altura de la capa de piedra triturada o grava, comúnmente se encuentra en el rango

de (150 a 450 mm). Se consideró una como material grava con espesor de capa de 350 mm, con la finalidad de tener buena capacidad de almacenamiento, sin embargo, es un predimensionamiento ya que de acuerdo a los resultados del software SWMM 5.2 se obtuvo la dimensión exacta de esta capa.

▪ **Relación de vacíos (Void Ratio):** Es la relación entre el volumen de espacios vacíos con el volumen de sólidos. Según Hidalgo (2019) los valores típicos para lechos de grava varían de 0.5 a 0.75. Se consideró el valor de 0.63, el cual corresponde a una porosidad del 39%.

▪ **Tasa de infiltración (Seepage Rate):** Es la velocidad con la que el agua se infiltra en el suelo bajo la capa de almacenamiento en milímetros/hora. Según Hidalgo (2019), este valor sería la tasa mínima de infiltración para el modelo de Horton. Se consideró el valor de 4.10 mm/h según el ensayo realizado en campo.

▪ **Factor de obstrucción (Clogging Factor):** Es el valor con el que la capa de almacenamiento se obstruye completamente, impidiendo el ingreso de la escorrentía al suelo. Este parámetro se ignoró para la presente investigación considerándose un valor de 0.

Drenaje (Drain)

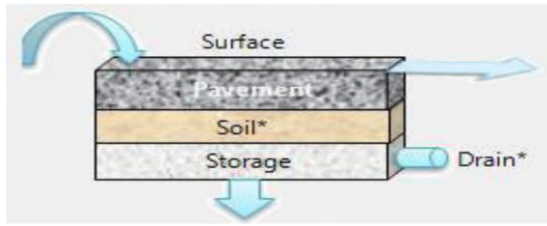
Es el drenaje que ayudará a vaciar el agua hacia el sistema de alcantarillado o hacia un nuevo elemento LID. De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación SWMM 5.2, no se requirió drenaje porque el agua no superó la capacidad de almacenamiento del elemento.

En resumen:

El pavimento permeable continuo se colocó en áreas correspondientes a bermas, debido a que no se cuentan con amplios espacios para su aplicación y se recomienda que este sistema no esté expuesto constantemente a cargas elevadas.

Tabla 29

Resumen de datos de entrada para LID Control del pavimento permeable continuo

PAVIMENTO PERMEABLE			
Consideraciones para el proyecto: Se situará en zonas de estacionamiento y según su necesidad en las vías.			
CAPA	DESCRIPCION	RECOMENDACIÓN	VALOR UTILIZADO
Surface	Berm Height	No aplica	0
	Vegetation volume fraction	0 a 0.2	0
	Surface Roughness	Revisar justificación	0.017
	Surface Slope	Revisar justificación	2%
Pavement	Thickness	Revisar justificación	100 mm
	Void Ratio	Revisar justificación	0.15
	Impervious Surface fraction	Revisar justificación	0
	Permeability	Revisar justificación	9000 mm/h
	Clogging factor	Revisar justificación	7.366
Soil		No se considera	
Storage	Thickness	Revisar justificación	350 mm
	Void Ratio	0.5 a 0.75	0.63
	Seepage Rate	Horton	4.10 mm/h
	Clogging factor	No aplica	0
Drain		No se considera	

Nota: Características del pavimento permeable continuo. Elaboración propia.

3.5.11.2.2 Zanjas de Infiltración.

Este sistema está compuesto de piedra triturada o grava, se utiliza en zonas de estacionamiento y alrededores de las edificaciones, son estructuras longitudinales capaz de reducir e infiltrar la escorrentía superficial, a continuación, se describen los componentes y parámetros considerados en su estructura.

Superficie (Surface)

Describe las características de la superficie de la zanja de infiltración.

▪ ***Altura de berma (Berm Height)***: Se ha seleccionado una altura de 0 mm, ya que no existe almacenamiento en superficie.

▪ ***Fracción de volumen de vegetación (Vegetation Volumen Fraction)***: No existe vegetación, es por ello que, este parámetro es 0.

▪ ***Rugosidad de la Superficie (Surface Roughness)***: Según Solano et al. (2020), el coeficiente de rugosidad de Manning es de $n=0.036$ para piedra triturada o gravas.

▪ ***Pendiente de la Superficie (Surface Slope)***: Se consideró 2% de pendiente para favorecer la infiltración en el suelo y por ubicarse en zonas de edificaciones y estacionamiento los cuales no tienen pendientes considerables.

Almacenamiento (Storage)

Es la capa del material el cual va a almacenar agua e infiltrarlo al suelo esta capa esta compuesta de piedra triturada o grava comúnmente utilizada en los sistemas de zanjas de infiltración.

▪ **Espesor (*Thickness*):** La altura de la capa de piedra triturada o grava, comúnmente se encuentra en el rango de (150 a 450 mm). Se consideró una capa de grava con espesor de 400 mm, debido a que es la única capa que actuara como dren para infiltrar la escorrentía.

▪ **Relación de vacíos (*Void Ratio*):** Según Hidalgo (2019) los valores típicos para lechos de grava varían de 0.5 a 0.75. Se consideró el valor de 0.63, el cual corresponde a una porosidad del 39%.

▪ **Tasa de infiltración (*Seepage Rate*):** Según Hidalgo (2019) este valor sería la tasa mínima de infiltración para el modelo de Horton. Se consideró el valor de 5.888 mm/h según el ensayo realizado en campo.

▪ **Factor de obstrucción (*Clogging Factor*):** Este parámetro se ignoró para la presente investigación considerándose un valor de 0.

Drenaje (Drain)

Es el drenaje que ayudará a vaciar el agua hacia el sistema de alcantarillado o hacia un nuevo elemento LID. De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación SWMM 5.2, no se requirió drenaje porque el agua no superó la capacidad de almacenamiento del elemento.

En resumen:

La zanja de infiltración se colocó en áreas con presencia de vegetación aledaño a parques recreativos por lo mismo que no se puede aplicar pavimentos permeables debido a la presencia de árboles y arbustos.

Tabla 30

Resumen de datos de entrada para LID Control de la zanja de infiltración

ZANJA DE INFILTRACION			
<p>Consideraciones para el proyecto: Se situará en zonas de estacionamiento, parques y jardines, zonas abiertas.</p>			
CAPA	DESCRIPCION	RECOMENDACIÓN	VALOR UTILIZADO
Surface	Berm Height	No aplica	0
	Vegetation volume fraction	0 a 0.2	0
	Surface Roughness	Revisar justificación	0.036
	Surface Slope	Revisar justificación	2%
Storage	Thickness	Revisar justificación	400 mm
	Void Ratio	0.5 a 0.75	0.63
	Seepage Rate	Horton	4.10 mm/h
	Clogging factor	No aplica	0
Drain		No se considera	

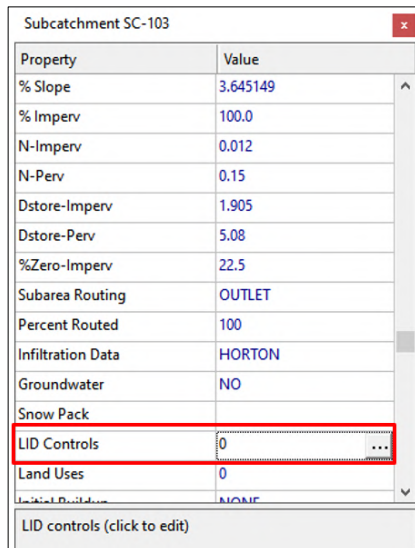
Nota: Características de la zanja de infiltración. Elaboración propia.

3.5.11.3 Aplicación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible creados se aplicaron manualmente en cada subcuenca a la cual se tuvo intervenir abriendo la ventana de propiedades y seleccionando la opción LID controls, de esta manera se desplegaron las opciones para agregar los LID's creados tal y como se muestran en la Figura 53 y Figura 54.

Figura 53

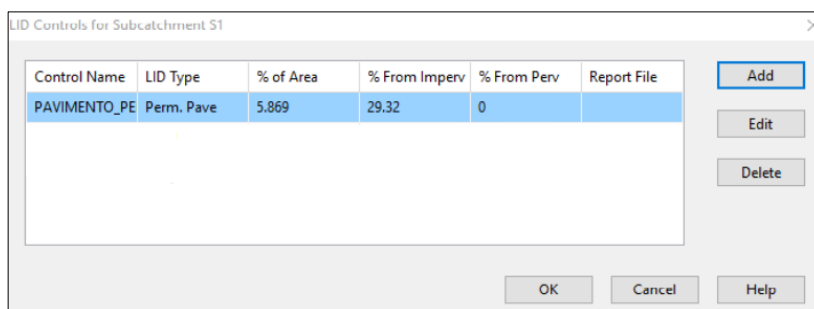
Ventana de propiedades de las subcuencas para agregar los SUDS



Nota: Elaboración propia a partir del software SWMM 5.2.

Figura 54

Ventana para agregar los SUDS



Nota: Elaboración propia a partir del software SWMM 5.2

A continuación, en la Tabla 31, se presentan las áreas que han sido intervenidas con la aplicación de los SUDS, presentando nombre de la subcuenca, área de los SUDS aplicados, y su correspondiente porcentaje de corrección separado por zonas.

Tabla 31*Subcuencas intervenidas con SUDS dentro de la zona de estudio*

Zona	Subcuenca	Medida de drenaje sostenible		% Corrección en área impermeable
		Pavimento permeable continuo (m2)	Zanja de infiltración (m2)	
Calle Gregorio Albarracín	SC-15	424.38		8.69
	SC-20	140.46		15.77
	SC-21	168.72		13.56
	SC-25	65.73		5.44
	SC-46	148.11		15.11
	SC-50	145.2		14.15
	SC-54	206.4		9.07
	SC-60	44.4		19.83
Calle N° 44	SC-76	174.63		23.36
	SC-24	171.16		8.8
Calle N° 07	SC-26	165.528		8.91
	SC-44	245.564		12.67
Calle N° 04	SC-47	238.524		7.99
	SC-49	244.882		8.06
	SC-51	251.68		7.95
	SC-217	95.062		10.1
Calle Jesús María	SC-218	93.83		12.79
	SC-57	62.194		7.24
	SC-58	73.084		5.97
	SC-59	111.078		5.76
	SC-62	106.304		12.36
	SC-66	46.618		16.9
	SC-69	50.27		17.26
Jirón 07 de junio	SC-209	312.07		8.07
	SC-210	301.18		6.53
	SC-61	119.262		11.89
	SC-64	62.458		16.45
	SC-72	57.772		12.37
	SC-73	64.614		39.94
	SC-74	70.972		10.19
	SC-75		102.652	21.07
Área total (m2) =		4523.34	102.652	16.9

Nota: Elaboración propia.

3.5.12 Diseño de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS

Para los diseños de los SUDS se debe de seguir las indicaciones mostradas en el Ítem 2.2.7.

3.5.12.1.1 Diseño del Pavimento Permeable Continuo.

Diseño estructural:

Los criterios para su diseño fueron tomados de la tesis titulada “Diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos de bajo volumen de tránsito en la ciudad de Tacna” realizado por Laura & Quispe (2019), entre los cuales tenemos:

Para el pavimento de concreto permeable: Está compuesto por cemento, agregado grueso (tamaño de 1/2") y agregado fino (arena gruesa), la dosificación se muestra en la Tabla 32, según Laura & Quispe (2019) esta dosificación alcanzó una resistencia de 153.64 kg/cm² a los 28 días (Figura 55).

Tabla 32

Dosificación por peso para el concreto permeable

Dosificación por peso para 1 m³ de concreto permeable		
Material	Cantidad	Unidad
Contenido de cemento	407.14	kg
Agregado fino	121.66	kg
Agregado grueso	1384.27	kg
Contenido de agua	125.64	kg

Nota: Tomado de (Laura & Quispe, 2019).

Figura 55

Gráfico de resistencia del concreto permeable



Nota: Tomado de (Laura & Quispe, 2019).

Para la base (capa filtrante): Esta compuesta por grava de 3/4" de tamaño con un espesor de 5 cm de capa y se ubica sobre la capa del depósito de almacenamiento.

Para la sub-base (depósito de almacenamiento): Está constituido por partículas con tamaños comprendidos entre el tamiz de 25 mm (1") y el de 75 mm (3"). Las partículas pueden ser angulares o redondeadas, no se requiere ninguna gradación especial, permitiéndose el uso de fragmentos de un solo tamaño, siempre y cuando se respeten las limitaciones de tamaño máximo y mínimo. Su espesor de capa es de 0.35 m.

Para el recubrimiento de la base y sub-base: Está constituido por una capa de tela filtrante de geotextil para separar el agregado grueso del suelo subyacente, tanto

en los laterales como en la parte inferior, evitando la migración de finos al depósito de almacenamiento.

Para el Suelo: Los fondos de la cama deben estar nivelados y sin compactar para permitir una infiltración uniforme y distribuida de aguas pluviales

Diseño hidrológico:

El concreto permeable a usar tiene una conductividad hidráulica de 9000 mm/h, el cual fue suficiente para permitir que la lluvia intensa la pueda atravesar sin dificultad.

Verificación de las dimensiones de la base y súbase:

El cálculo del volumen de almacenamiento según el balance de masas presentado en la Ecuación 1 se desarrolló mediante el software SWMM 5.2, es así que de acuerdo a los resultados obtenidos mediante la simulación del escenario 2 se tiene un volumen de infiltración de 750 m³ y para el escenario 1 se tiene un volumen de infiltración de 160 m³, por lo cual se concluye que la diferencia de ambos resultados es el volumen de precipitación captado e infiltrado por los SUDS el cual es 590 m³.

Es así que se tienen los siguientes datos para el cálculo de volumen de almacenamiento:

- Área del pavimento permeable (Tabla 31): 4523.34 m²
- Altura del pavimento permeable: 0.10 m
- Porosidad del pavimento permeable: 0.15
- Altura de la base: 0.05 m

- Porosidad de la base: 0.39
- Altura de la sub-base: 0.35 m
- Porosidad de la sub-base: 0.39

Reemplazando los datos en la Ecuación 14 se tiene que:

$$V_A = 4523.34 * (0.10 * 0.15 + 0.05 * 0.39 + 0.35 * 0.39)$$

$$V_A = 773.491 \text{ m}^3$$

Por lo tanto: $773.491 \text{ m}^3 > 590 \text{ m}^3$

3.5.12.1.2 Diseño de la Zanja de Infiltración.

Diseño estructural:

Para la capa filtrante: Su función es hacer de filtro, no almacenar agua, por lo que está compuesta por grava de 3/4" de tamaño y su espesor de capa es de 5 cm cuando se coloca sobre zanjas de infiltración.

Para el depósito de almacenamiento: Está constituido por partículas con tamaños comprendidos entre el tamiz de 25 mm (1") y el de 75 mm (3"). Las partículas pueden ser angulares o redondeadas, no se requiere ninguna gradación especial, permitiéndose el uso de fragmentos de un solo tamaño, siempre y cuando se respeten las limitaciones de tamaño máximo y mínimo. Además, cuenta con un espesor de capa es de 0.40 m.

Para el Geotextil: Está constituido por una tela filtrante de geotextil ya que su función es impedir que limos y partículas finas entren en las capas de almacenamiento

de gravas para que no se colmaten o la de servir como elemento de protección del sistema dentro del suelo.

Para el Suelo: Los fondos de la cama deben estar nivelados y sin compactar para permitir una infiltración uniforme y distribuida de aguas pluviales.

Diseño hidrológico:

El diseño hidrológico de las zanjas de infiltración puede realizarse tal y como se indica en el diseño hidrológico del pavimento permeable.

Por lo tanto:

Se tienen los siguientes datos para el cálculo de volumen de almacenamiento:

- Área de la zanja de infiltración (Tabla 31): 102.652 m²
- Altura de la base: 0.05m
- Porosidad de la base: 0.39
- Altura de la sub-base: 0.35 m
- Porosidad de la sub-base: 0.39

Reemplazando los datos en la Ecuación 14 se tiene que:

$$V_A = 102.652 * (0.05 * 0.39 + 0.35 * 0.39)$$

$$V_A = 16.01 \text{ m}^3$$

Según la guía técnica para el diseño de los SUDS en el Área Metropolitana de San Salvador (Abellan et al., 2021), para no perder mucha capacidad de almacenamiento, es conveniente dividir la zanja a lo largo en tramos de longitud máxima, mediante la Ecuación 4.

La pendiente del terreno se puede hallar mediante la Ecuación 9, mencionada párrafos más arriba en el Ítem 3.5.7.1:

$$S = \frac{(574.816 - 573.774)}{74.45} = 0.014 \text{ m/m}$$

Del predimensionamiento se tiene las siguientes alturas:

- Capa filtrante= 0.05 m
- Capa de almacenamiento= 0.40 m

Por lo tanto:

- La profundidad de la zanja de infiltración es: 0.45 m

Reemplazando los datos para la Ecuación 4:

$$L_{max} = \frac{0.45}{2 * 0.014}$$

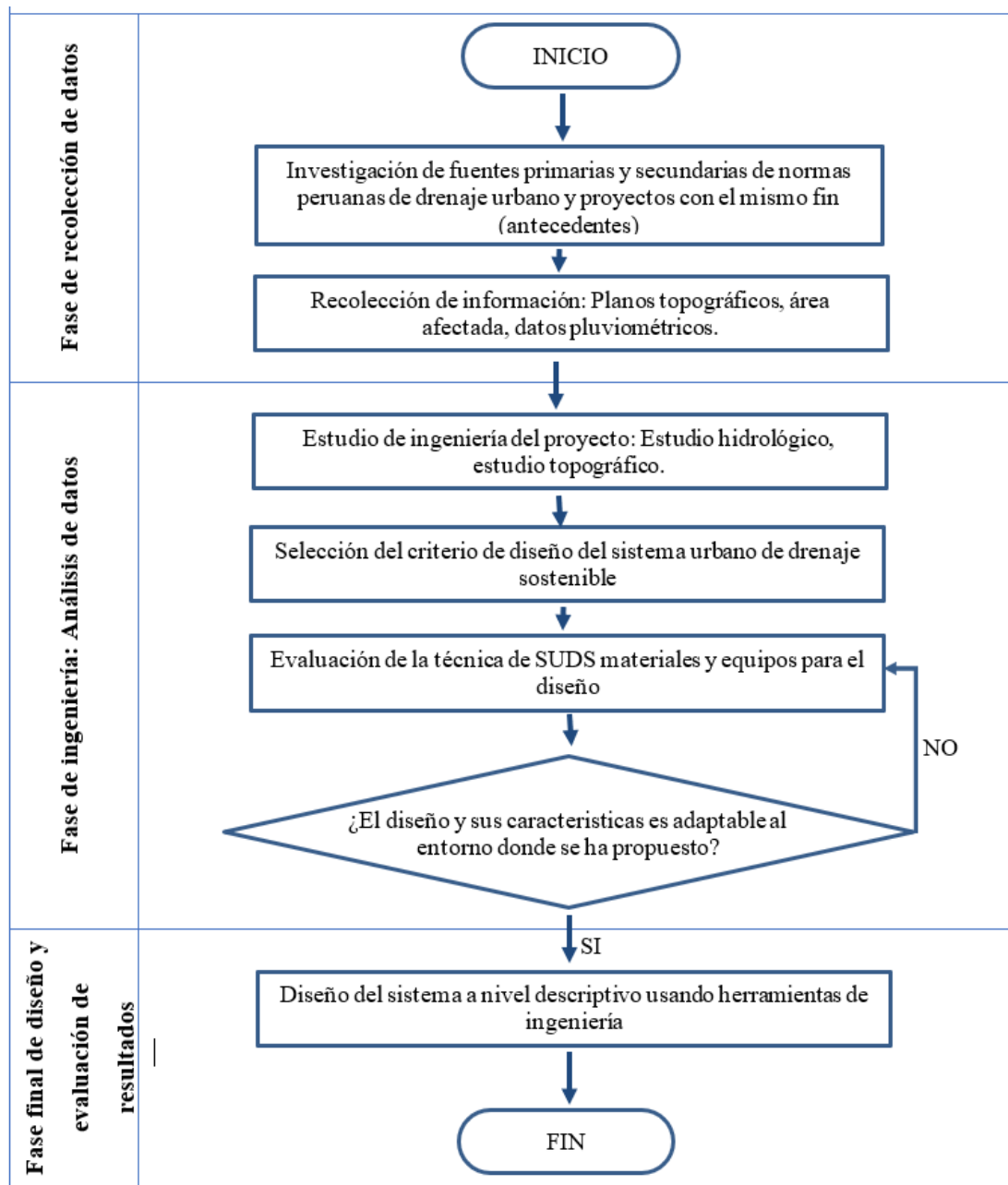
$$L_{max} = 16.07 \text{ m}$$

Partiendo de los resultados obtenidos, la longitud de la zanja se debe dividir en dos tramos de 15.50 m y un tramo de 15.6 m, ambos menores a la longitud máxima 16.07 m.

3.6 FLUJO DE TRABAJO

Figura 56

Esquema de trabajo para el desarrollo de la presente investigación



Nota: Elaboración propia.

CAPITULO IV


RESULTADOS

4.1 Resultados del Estudio de Suelos

Del informe técnico del estudio de suelos en la urbanización Villa María del Triunfo (ubicada dentro de la zona de estudio) desarrollado por el laboratorio de la Municipalidad Provincial de Tacna (Ver “ANEXO 2: ESTUDIOS DE SUELOS”) se tienen los siguientes perfiles estratigráficos de suelos, en donde se muestra que el suelo está conformado por material Limo-arcilloso (Tierra de chacra).

Figura 57



Perfil estratigráfico de la calicata N°1

CALICATA 1			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF. EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
SM-SC		0.10	ARENAS LIMOSAS-ARCILLOSAS, mezclas de arena y limo presencia de arcillas
		0.20	
		0.30	
		0.40	
		0.50	
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
	1.00		

Nota: Esta calicata se encuentra ubicada en la calle N° 45. Tomado del informe técnico de estudios de suelos en la urbanización Villa María del Triunfo.

Figura 58


Perfil estratigráfico de la calicata N°2

CALICATA 2			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF.EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
		0.05 0.10	CAPA DE MATERIAL GRAVOSO (ripiado gravoso)
ML		0.20	
		0.30	
		0.40	
		0.50	
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
		1.00	
		1.05	
			LIMOS INORGANICOS, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plasticos

Nota: Esta calicata se encuentra ubicada en la calle N° 46. Tomado del informe técnico de estudios de suelos en la urbanización Villa María del Triunfo.

Figura 59

Perfil estratigráfico de la calicata N°3

CALICATA 3			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF.EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
ML		0.05	
		0.10	
		0.20	
		0.30	
		0.40	
		0.50	
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
		0.95	
			LIMOS INORGANICOS, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plasticos

Nota: Esta calicata se encuentra ubicada en la calle N° 45. Tomado del informe técnico de estudios de suelos en la urbanización Villa María del Triunfo.

Figura 60

Perfil estratigráfico de la calicata N°4

CALICATA 4			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF.EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
SM-SC		0.10	ESTRATO DE MATERIAL TERROSO CON GRAVA
		0.20	
		0.30	
		0.40	ARENAS LIMOSAS-ARCILLOSAS Mezclaz de arenas, limos v arcillas.
		0.50	
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
		1.00	

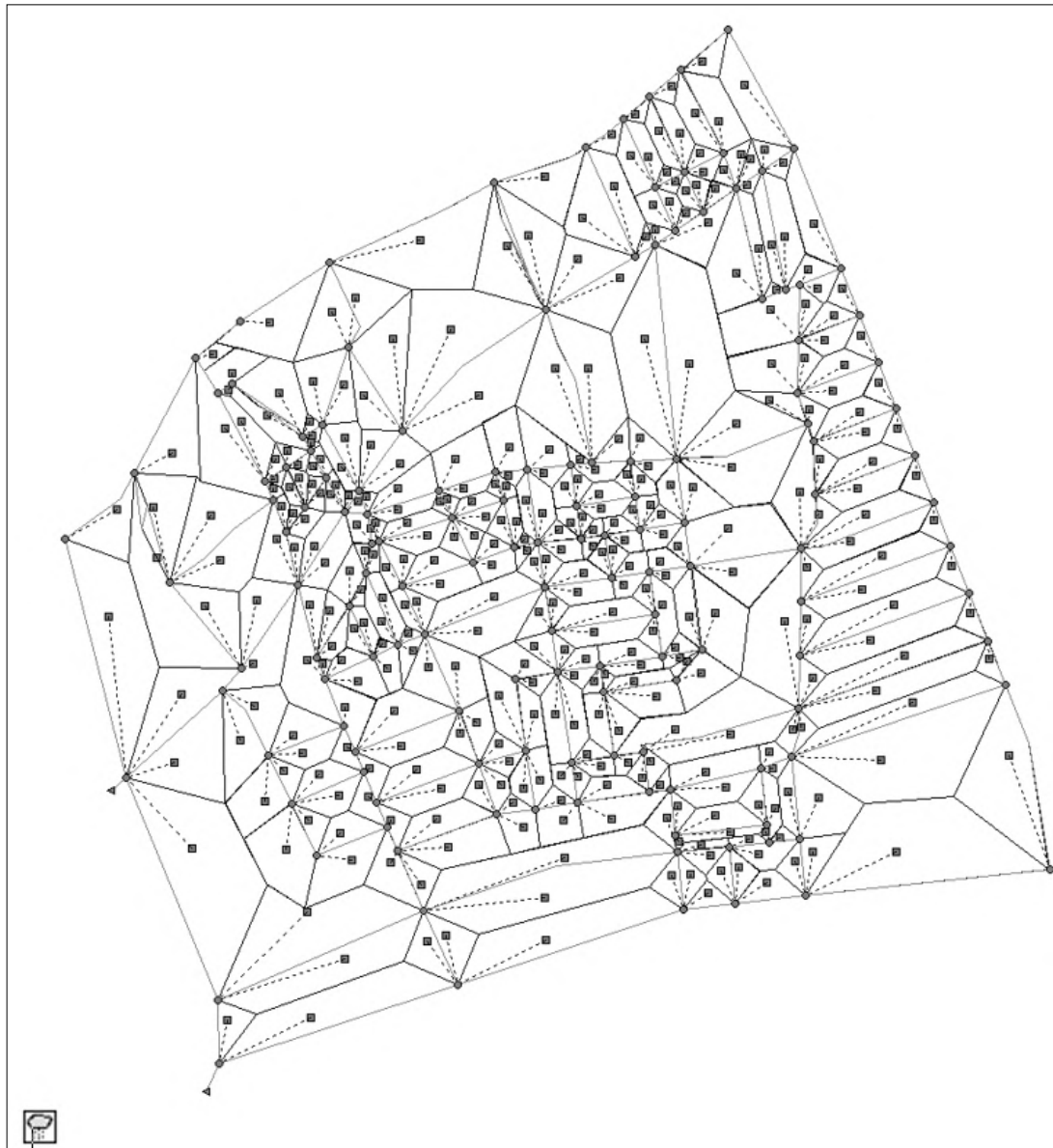
Nota: Esta calicata se encuentra ubicada en la calle N° 02. Tomado del informe técnico de estudios de suelos en la urbanización Villa María del Triunfo.

4.2 Modelo del sistema urbano de drenaje sostenible en SWMM 5.2

La Figura 61 muestra el modelo conceptualizado en SWMM 5.2 el cual está compuesto por un pluviómetro, 367 subcuencas o áreas de drenaje, 221 conducciones que representa las calles por donde drena la escorrentía, 142 nodos ubicados en las esquinas o intersecciones de las calles en las que se dispone de cotas y 2 nodos de salidas los cuales representan a los buzones donde se va a descargar el agua sobrante.

Figura 61

Sistema de drenaje modelado en SWMM 5.2

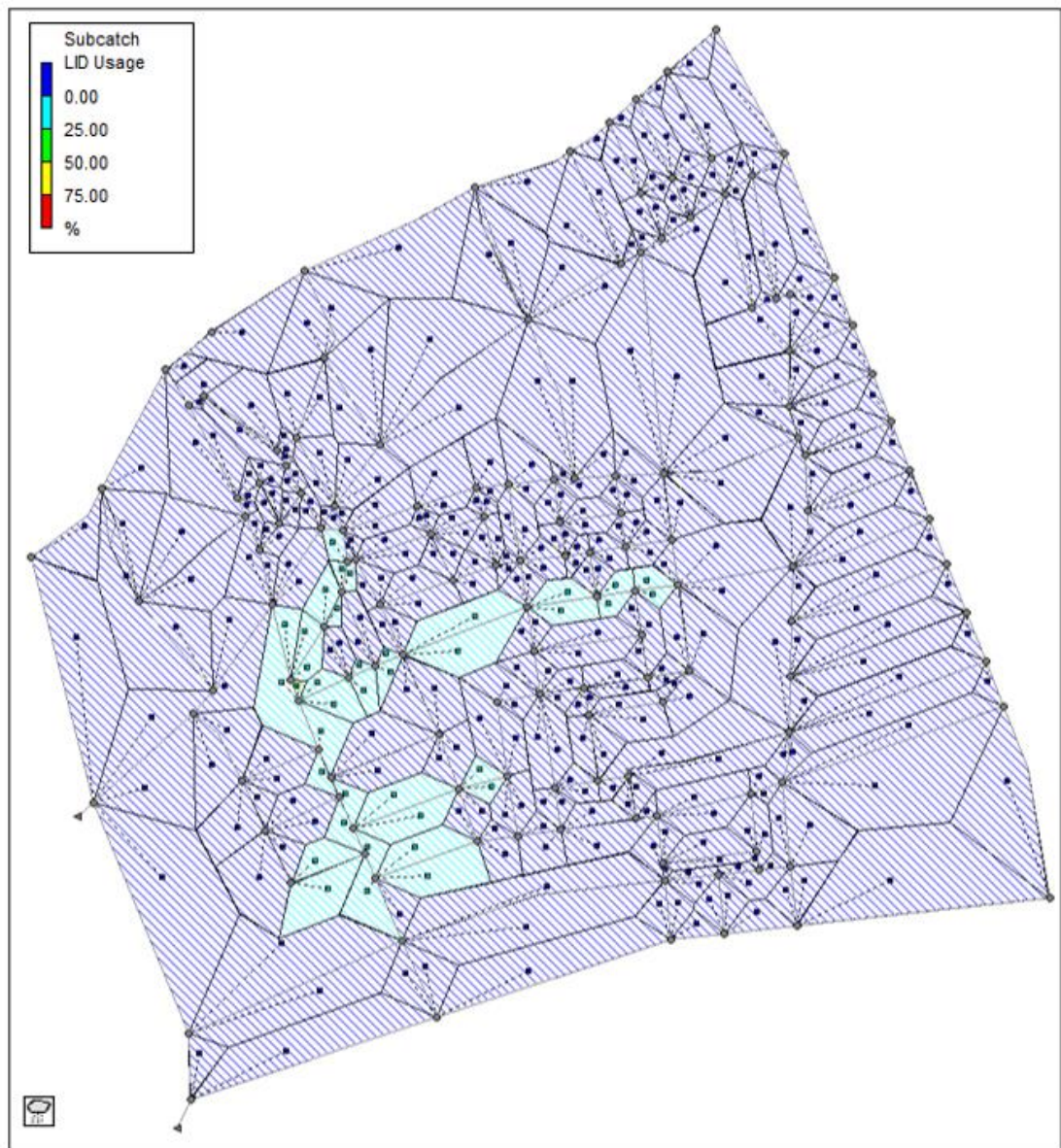


Nota: Elaboración propia a partir del software SWMM 5.2

En la Figura 62 se muestran gráficamente de color celeste las subcuencas intervenidas con la aplicación de los SUDS.

Figura 62

Subcuencas intervenidas con SUDS (LID Controls)



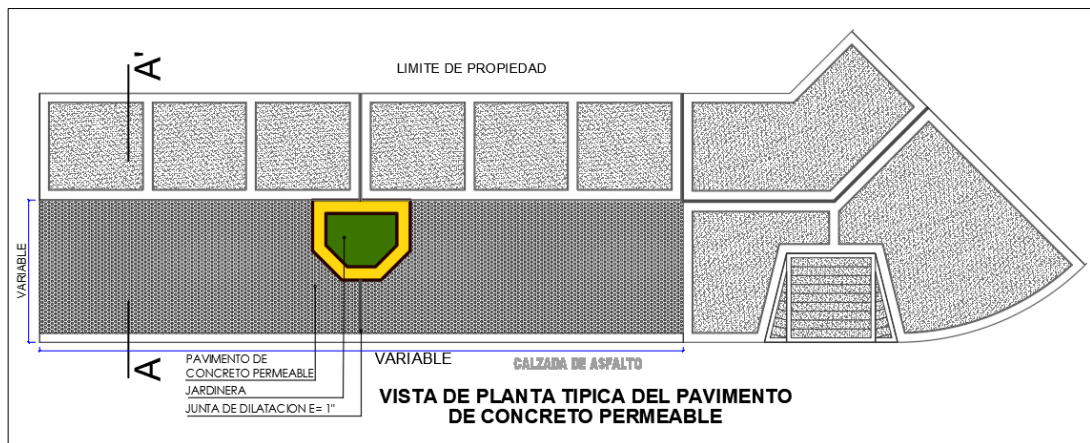
Nota: Elaboración propia a partir del software SWMM 5.2

Pavimentos Permeables Continuos

En la Figura 63, Figura 64 y Figura 65 se muestran los esquemas referentes a las dimensiones, composición y ubicación de los pavimentos permeables continuos.

Figura 63

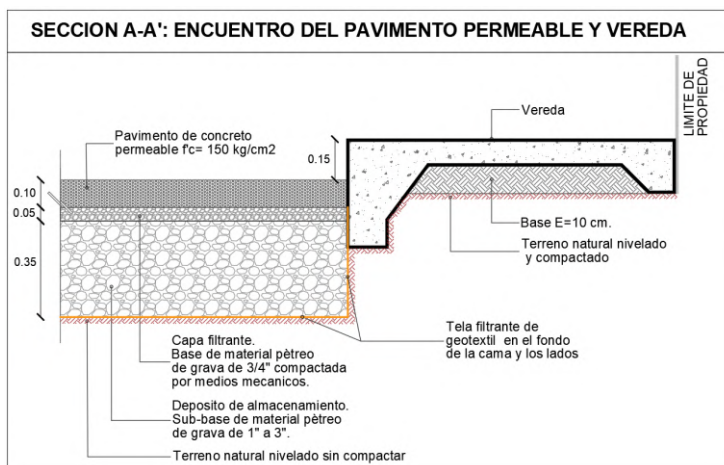
Vista de planta típica del pavimento de concreto permeable



Nota: Elaboración propia.

Figura 64

Detalle de sección transversal del pavimento de concreto permeable



Nota: Elaboración propia.

Figura 65

Vista 3D de la ubicación del pavimento de concreto permeable en bermas



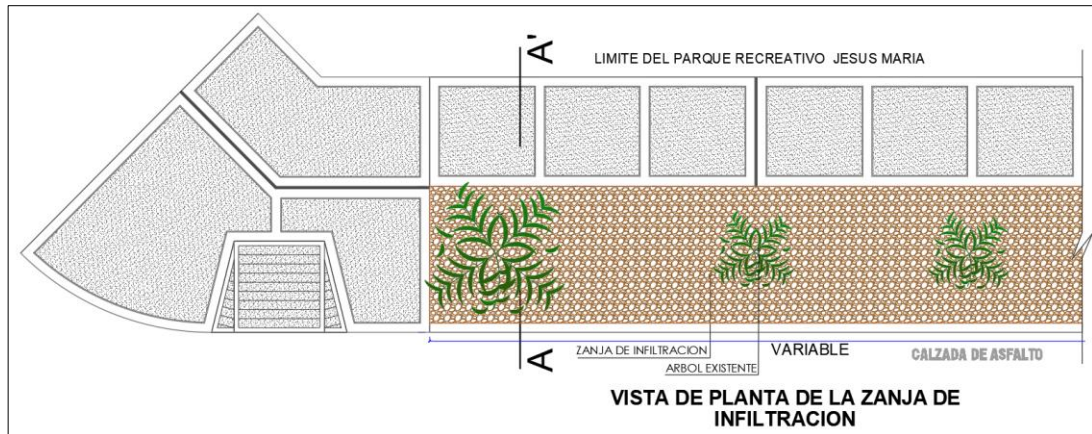
Nota: Elaboración propia.

Zanjas de Infiltración

En la Figura 66, Figura 67, Figura 68 y Figura 69 se muestran los esquemas referentes a este sistema.

Figura 66

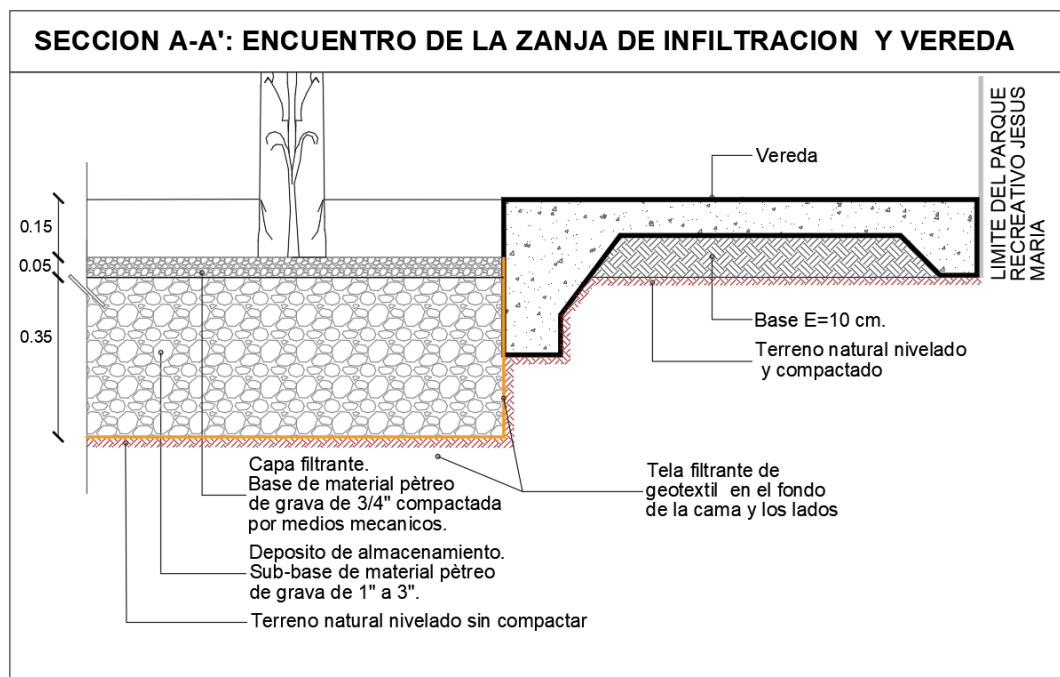
Vista de planta de la zanja de infiltración



Nota: Elaboración propia.

Figura 67

Detalle de sección transversal de la zanja de infiltración

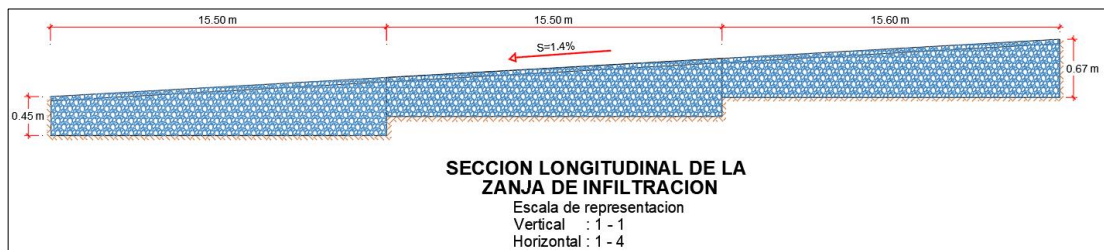


Nota: Elaboración propia.

Según la guía técnica para el diseño de los SUDS en el AMSS (2021), el fondo de la zanja debe ser horizontal y si el terreno presenta una pendiente a lo largo de la zanja, la altura de ésta es la del extremo de menor profundidad, siguiendo estas recomendaciones en la Figura 68 se muestra la representación de la sección transversal de este sistema.

Figura 68

Sección longitudinal de la zanja de infiltración



Nota: Elaboración propia.

Figura 69

Vista 3D de la ubicación de la zanja de infiltración



Nota: Elaboración propia.

4.3 Áreas Disponibles para la Aplicación de los SUDS

En la Lamina N°5 del “ANEXO 7: PLANOS DEL PROYECTO LAMINA N°6” se muestra de manera detallada la ubicación de los SUDS en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad.

4.3.1 Pavimento Permeable Continuo

Este sistema se encuentra ubicada en las bermas de la calle “Gregorio Albarracín”, calle “N° 44”, calle “N° 07”, calle “N° 04”, calle “Jesús María” y en el jirón “07 de junio”. El área disponible para su aplicación es de 4523.34 m².

4.3.2 Zanja de Infiltración

Este sistema se encuentra ubicada en el jirón “07 de junio” al exterior del parque recreativo Jesús María. El área disponible para su aplicación es 102.652 m².

4.4 Resultados de las simulaciones en SWMM 5.2

Para la presente investigación se han realizado dos escenarios de modelación sin medidas de drenaje sostenible y con medidas de drenaje sostenible, ya que se requiere comparar resultados y demostrar la utilidad de los SUDS mediante las diferentes simulaciones hidráulicas-hidrologías realizadas por el software SWMM 5.2.

4.4.1 Escenario 1: Sin Medidas de Drenaje Sostenible.

De esta simulación se obtienen los siguientes reportes:

Figura 70

Reporte de continuidad de escorrentía-Escenario 1

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Total Precipitation	0.131	1.450
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.016	0.174
Surface Runoff	0.026	0.287
Final Storage	0.090	0.989
Continuity Error (%)	-0.063	

Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

De este reporte se obtiene que:

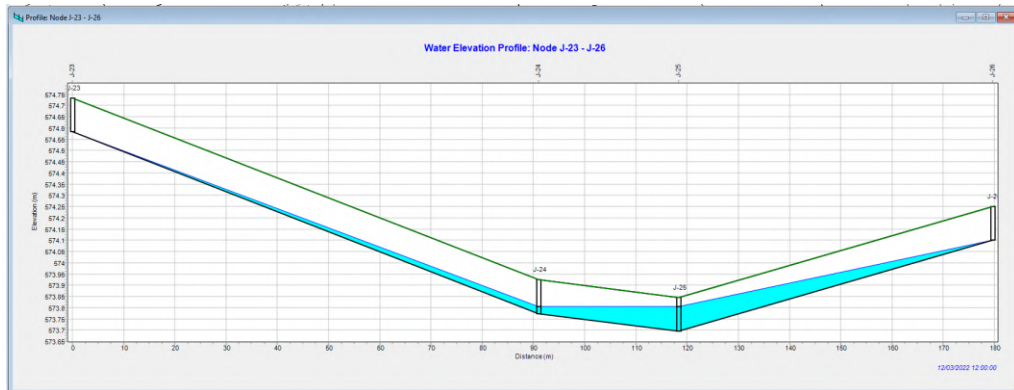
- La precipitación total que cae en la cuenca urbana es de 1 310 m³ que equivale a 1.45 mm de profundidad de lluvia.
- Las pérdidas por infiltración son de 160 m³ que equivale a 0.174 mm de profundidad en las áreas permeables.
- La escorrentía superficial que se produce es de 260 m³ que equivale a 0.287 mm.
- El almacenamiento final es de 900 m³ equivalente a 0.989 mm
- El error de continuidad generado en este reporte es aceptable, ya que su valor es de -0.063% siendo menor que $\pm 5\%$.

A continuación, se muestra el perfil de elevación del agua en las conducciones y nodos en el momento más crítico.

En la Figura 71, se presenta el perfil de las uniones J-23, J24, J25 y J-26, y las conducciones “Condu-28”, “Condu-29” y “Condu-30”, este perfil corresponde a la calle “Gregorio Albarracín” (J-23 a J-26).

Figura 71

Perfil de elevación de las uniones J-23 a J-26 sin aplicar SUDS

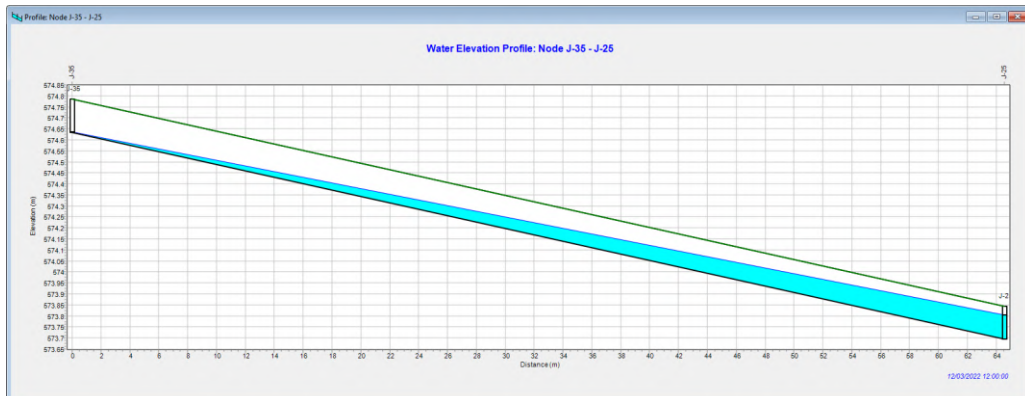


Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

En la Figura 72, se presenta el perfil de las uniones J-35 a J-25, y la conducción “Condu-48”, este perfil corresponde a la calle “Jesús María” (J-23 a J-26).

Figura 72

Perfil de elevación de las uniones J-35 a J-25 sin aplicar SUDS

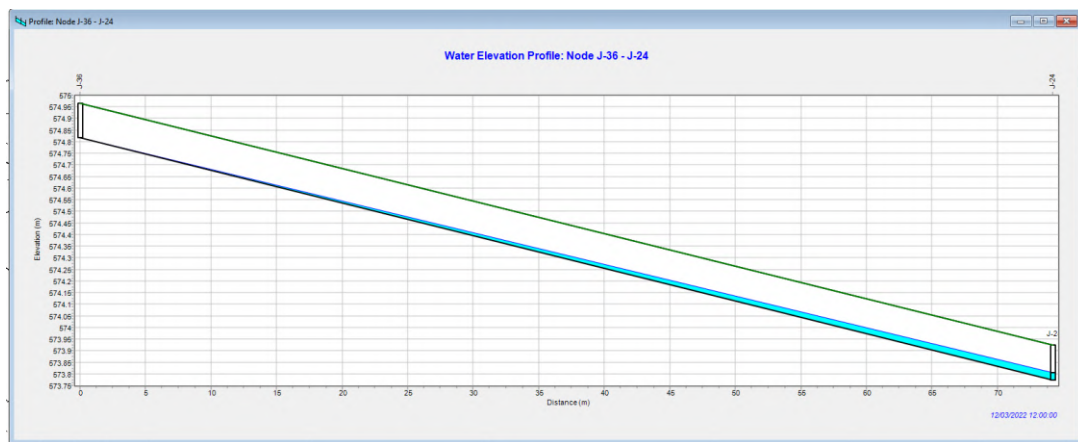


Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

En la Figura 73, se presenta el perfil de las uniones J-36 a J-24, y la conducción “Condu-50”, este perfil corresponde al jirón “7 de junio” (J-36 a J-24).

Figura 73

Perfil de elevación de las uniones J-36 a J-24 sin aplicar SUDS



Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

De la simulación desarrollada, en la Figura 74 se muestran los tirantes del caudal de la escorrentía superficial en las intersecciones debido a la precipitación pluvial.

Figura 74

Reporte de alturas de sobrecarga para los nodos del escenario 1

Node	Type	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Day of Maximum Depth	Hour of Maximum Depth	Maximum Reported Depth Meters
J-25	JUNCTION	0.09	0.11	573.81	1	12:00	0.11
J-24	JUNCTION	0.02	0.03	573.81	1	12:00	0.03
J-14	JUNCTION	0.00	0.02	573.00	0	03:41	0.02
J-11	JUNCTION	0.01	0.02	571.40	0	05:13	0.02
J-10	JUNCTION	0.01	0.02	571.78	0	04:55	0.02
J-09	JUNCTION	0.01	0.02	572.01	0	04:36	0.02
J-48	JUNCTION	0.00	0.01	584.54	0	03:41	0.01
J-47	JUNCTION	0.00	0.01	583.35	0	03:34	0.01
J-44	JUNCTION	0.00	0.01	577.45	0	03:36	0.01
J-46	JUNCTION	0.00	0.01	578.57	0	03:34	0.01
J-43	JUNCTION	0.00	0.01	577.00	0	03:38	0.01
J-60	JUNCTION	0.00	0.01	591.27	0	03:59	0.01
J-131	JUNCTION	0.00	0.01	593.43	0	03:50	0.01
J-128	JUNCTION	0.00	0.01	592.73	0	04:03	0.01
J-127	JUNCTION	0.00	0.01	591.83	0	04:28	0.01
J-100	JUNCTION	0.00	0.01	579.25	0	04:11	0.01
J-49	JUNCTION	0.00	0.01	589.55	0	03:39	0.01
J-42	JUNCTION	0.00	0.01	576.10	0	03:39	0.01
J-41	JUNCTION	0.00	0.01	577.06	0	03:37	0.01
J-19	JUNCTION	0.00	0.01	578.02	0	03:36	0.01
J-110	JUNCTION	0.00	0.01	586.97	0	03:32	0.01
J-45	JUNCTION	0.00	0.01	577.80	0	03:34	0.01
J-120	JUNCTION	0.00	0.01	588.31	0	05:08	0.01
J-86	JUNCTION	0.00	0.01	576.50	0	04:11	0.01
J-07	JUNCTION	0.00	0.00	574.11	0	03:54	0.00
J-04	JUNCTION	0.00	0.00	567.30	0	04:30	0.00
J-01	JUNCTION	0.00	0.00	569.46	0	04:13	0.00

Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

4.4.2 Escenario 2: Aplicando Medidas de Drenaje Sostenible.

Al realizar la simulación con las medidas de drenaje sostenible, antes mencionadas, se obtienen los siguientes reportes:

Figura 75

Reporte de continuidad de escorrentía aplicando SUDS

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Total Precipitation	0.131	1.450
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.075	0.830
Surface Runoff	0.009	0.099
Final Storage	0.047	0.521
Continuity Error (%)	-0.036	

Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

De este reporte se obtiene que:

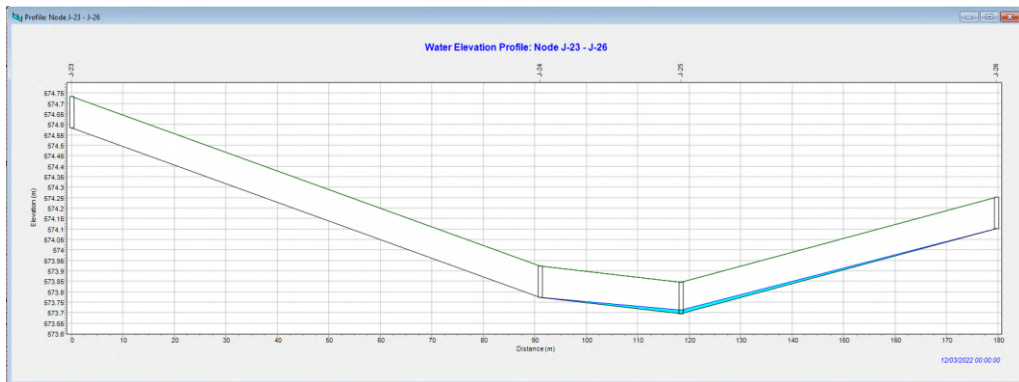
- La precipitación total que cae en la cuenca urbana es de 1 310 m³ que equivale a 1.45 mm de profundidad de lluvia.
- Las pérdidas por infiltración son de 750 m³ que equivale a 0.830 mm de profundidad en las áreas permeables.
- La escorrentía superficial que se produce es de 90 m³ que equivale a 0.099 mm.
- El almacenamiento final es de 470 m³ equivalente a 0.521 mm
- El error de continuidad generado en este reporte es aceptable, ya que su valor es de -0.036% siendo menor que $\pm 5\%$.

A continuación, tomando de referencia las conducciones críticas que se presentaron en la Figura 71, Figura 72 y Figura 73; se presentan los perfiles de elevación del agua en las conducciones y nodos de las mismas calles aplicando los SUDS.

En la Figura 76, se presenta el perfil de las uniones J-23, J24, J25 y J-26, y las conducciones “Condu-28”, “Condu-29” y “Condu-30”, este perfil corresponde a la calle “Gregorio Albarracín” (J-23 a J-26).

Figura 76

Perfil de elevación de las uniones J-23 a J-26 aplicando SUDS

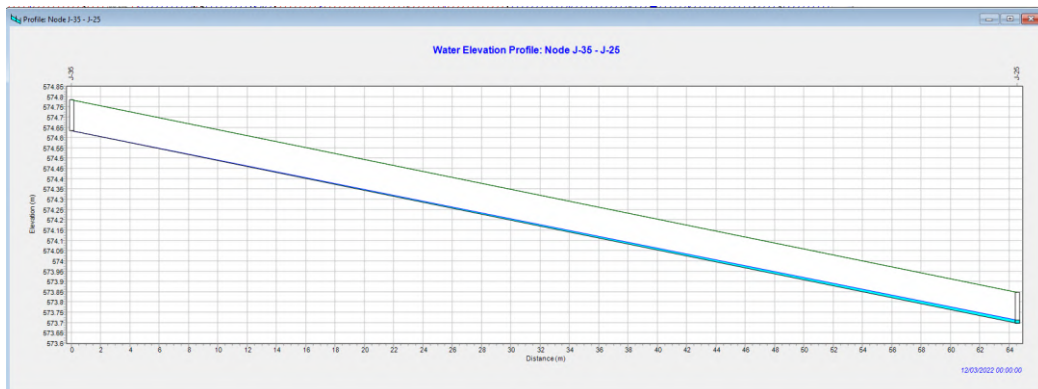


Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

En la Figura 77, se presenta el perfil de las uniones J-35 a J-25, y la conducción “Condu-48”, este perfil corresponde a la calle “Jesús María” (J-23 a J-26).

Figura 77

Perfil de elevación de las uniones J-35 a J-25 aplicando SUDS



Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

En la Figura 78, se presenta el perfil de las uniones J-36 a J-24, y la conducción “Condu-50”, este perfil corresponde al jirón “7 de junio” (J-36 a J-24).

Figura 78

Perfil de elevación de las uniones J-36 a J-24 aplicando SUDS



Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

De la simulación desarrollada, en la Figura 79 se muestran los tirantes del caudal de la escorrentía superficial en las intersecciones debido a la precipitación pluvial.

Figura 79

Reporte de alturas de sobrecarga para los nodos del escenario 2

Node	Type	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Day of Maximum Depth	Hour of Maximum Depth	Maximum Reported Depth Meters
J-14	JUNCTION	0.00	0.02	573.00	0	03:42	0.02
J-25	JUNCTION	0.01	0.02	573.71	1	12:00	0.02
J-42	JUNCTION	0.00	0.01	576.10	0	03:39	0.01
J-43	JUNCTION	0.00	0.01	576.99	0	03:42	0.01
J-41	JUNCTION	0.00	0.01	577.06	0	03:42	0.01
J-45	JUNCTION	0.00	0.01	577.79	0	03:39	0.01
J-44	JUNCTION	0.00	0.01	577.44	0	03:41	0.01
J-09	JUNCTION	0.00	0.01	571.99	0	07:04	0.01
J-10	JUNCTION	0.00	0.01	571.77	0	04:05	0.01
J-11	JUNCTION	0.01	0.01	571.38	0	04:41	0.01
J-46	JUNCTION	0.00	0.01	578.57	0	03:34	0.01
J-19	JUNCTION	0.00	0.01	578.02	0	03:35	0.01
J-07	JUNCTION	0.00	0.00	574.11	0	04:53	0.00
J-08	JUNCTION	0.00	0.00	574.02	0	06:04	0.00
J-01	JUNCTION	0.00	0.00	569.45	0	04:10	0.00

Nota: Elaboración propia en base al software SWMM 5.2.

4.4.3 Resumen de los escenarios

La Tabla 33 muestra de manera resumida los resultados obtenidos para los Escenarios 1 y 2, sin aplicación de SUDS y aplicando SUDS, respectivamente.

Tabla 33

Resumen de los resultados, Escenario 1 y 2

Escenarios	Nodo con riesgo de inundación	Conductos		Escorrentía	Infiltración
		Sobrecargas	Criticas	m3	m3
Escenario 1	1	8	5	260	160
Escenario 2	-	3	-	90	750

Nota: Elaboración propia en base a los resultados del software SWMM 5.2.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Prueba de Hipótesis

5.1.1 Contratación de Hipótesis General

El diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María es posible ya que el suelo de la zona de estudio en su mayoría está conformado por material Limo-arcilloso (Tierra de chacra) y presenta una tasa de infiltración de 4.10 mm/h lo que significa que tiene una moderada capacidad de drenaje. Este suelo es apto para la aplicación de sistemas de infiltración como son los pavimentos permeables continuos y la zanja de infiltración. Mediante la aplicación de estos sistemas, se reducen los riesgos de inundación en el sector de Jesús María y alrededores del colegio Modesto Montesinos Zamalloa, identificados como zonas críticas frente a inundaciones, según los resultados de la simulación del software SWMMM 5.2 y la Subgerencia de Gestión de Riesgos y Desastres de la Municipalidad Provincial de Tacna.

Los resultados obtenidos guardan relación con lo que sostienen Tichuanca (2022) e Hidalgo (2019), quienes señalan que la aplicación de los SUDS en zonas urbanas reducen considerablemente la escorrentía superficial y por ende los riesgos de inundación mejorando la calidad de vida de los habitantes, es por ello que se acepta la hipótesis general que establece que es posible diseñar un sistema urbano de drenaje

sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.

5.1.2 Contrastación de hipótesis secundarias

La junta vecinal Jesús María cuenta con suficientes áreas disponibles para la aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenible, es por ello que se optó por la aplicación del pavimento permeable continuo y zanjas de infiltración ubicadas en las bermas de las vías. Por otro lado, la zona también cuenta con parques recreativos y zonas agrícolas siendo estas áreas ideales para la aplicación de estructuras sostenibles de mayor envergadura como los parques inundables o estanques de detención para eventos extremos de precipitación. Tichuanca (2022) e Hidalgo (2019) expresan que en zonas urbanas el uso de pavimentos permeables continuos y zanjas de infiltración resultan ser los más eficientes ya que se cuentan con reducidos espacios producto del acelerado crecimiento urbano.

El volumen de precipitación total en la zona de estudio fue 1130 m³ de los cuales los SUDS lograron infiltrar un volumen de 590 m³, los SUDS aplicados tienen una capacidad de almacenamiento total de 789.504 m³ lo que significaría que el volumen infiltrado no sobrepasa su capacidad máxima de almacenamiento, demostrando su eficiencia para la reducción de caudales de escorrentía superficial donde se apliquen estos sistemas. Por otro lado, el sistema urbano de drenaje sostenible logró evacuar y/o infiltrar 170 m³ del volumen de la escorrentía superficial que se

produjo en la junta vecinal Jesús María lo que significaría una reducción del 65.38 % del volumen de la escorrentía superficial.

5.2 Respecto al Diseño del SUDS

De los resultados obtenidos en los capítulos anteriores se tiene:

Para los parámetros de diseño:

Parámetros hidrológicos: De acuerdo a los cálculos hidrológicos, realizados para la zona de estudio, se obtuvo que para un periodo de retorno de 10 años y un tiempo de concentración de 10 minutos la intensidad de precipitación es de 14.2 mm/h este valor representa una lluvia de moderada intensidad. Ello es acorde al valor obtenido por Ancachi (2022) quien desarrolla un proceso similar para el cálculo de la intensidad de precipitación usando datos de precipitación de la ciudad de la estación Jorge Basadre ubicado en la ciudad de Tacna. La tasa de infiltración del suelo se calculó mediante el ensayo de infiltración del anillo doble y la ecuación de Horton obteniendo un resultado de 4.10 mm/h lo que resultaría un suelo apto para la aplicación de estructuras de infiltración.

Instrumentos utilizados:

- Norma técnica CE.040 drenaje pluvial
- Norma ASTM D 3385-03 “Método de prueba estándar para la tasa de infiltración de suelos en el campo usando un Infiltrómetro de anillo doble”.
- Ficha de recolección de datos de campo.
- Infiltrómetro de anillo doble.

- Datos meteorológicos de sitio web del SENAMHI
- Softwares hidrológicos Hidroesta 2 y Easyfit
- Hojas de cálculo realizado en el software Ms Excel.

Parámetros hidráulicos: Estos parámetros son los referentes a las propiedades de las vías los cuales actúan como canales naturales para la evacuación de la escorrentía superficial, de los resultados anteriores se describe que las vías en la zona de estudio se representaron mediante cuatro tipos de secciones viales denominadas “Sección típica”, “Sección N° 50” Sección N° 16” y “Sección N° 13” todas ellas de diferentes dimensiones, pero con la misma profundidad igual a 15 cm (altura de vereda). De la simulación realizada en el software SWMM 5.2 se tienen que en el Escenario 1: sin la aplicación de los SUDS existen 13 vías con sobrecargas de los cuales 5 son críticas de 11 cm de tirante de agua, sin embargo, con la aplicación de los SUDS estas se reducen a solo 3 vías con sobrecargas no mayor a 2 cm de tirante de agua.

Instrumentos utilizados:

- Hojas de cálculo realizado en el software Ms Excel.
- Software de dibujo AutoCAD.
- Planos de topográficos, secciones viales, catastro de alcantarillado.

Parámetros ambientales: El área de la zona de estudio es de 22.221 ha, así mismo el área de estudio sumado al área de influencia es de 90.273 ha, este último representa el total del área de la cuenca urbana analizada. El área impermeable es de

83.864 ha el cual representa el 92.863 % del área de la cuenca urbana. Así mismo la zona de estudio cuenta con parques recreativos con vegetación, los cuales fueron considerados como áreas permeables con un valor de 6.445 ha este valor representa el 7.137 % del área de la cuenca urbana analizada. Por otro lado, la pendiente del terreno en la zona de estudio varía en el rango de 0 a 10 % según el Modelo Digital de Elevación obtenido del satélite Alos Palsar. Además, del estudio de suelos realizado por parte de la Municipalidad Provincial de Tacna (Ver “ANEXO 2: ESTUDIO DE SUELOS”), se tiene que el suelo está conformado por material Limo-arcilloso (tierra de chacra) siendo esta de moderada capacidad de drenaje.

Instrumentos utilizados:

- Software de dibujo (AutoCAD, Civil 3D), herramientas SIG Qgis 3.24.1, herramientas de complemento (Generar_SWMM_inp), herramientas Lisp (Ronatelo).
- Planos topográficos, uso de suelos, pendiente de vías y alcantarillado urbano.
- Imágenes satelitales DEM del satélite Alos Palsar.
- Bibliografía sobre estudios de suelos realizados en la zona de estudio.

Para el diseño de los sistemas urbanos de drenaje sostenible

Zanjas de infiltración: De acuerdo a los resultados obtenidos para el diseño de este sistema se tiene que la pendiente del terreno donde se encuentra ubicado es de 0.014 m/m es decir 1.40% lo que resulta ideal para la aplicación de este sistema debido

a la moderada capacidad de drenaje que tiene el suelo, además el sistema comprende un área de 105.652 m² y un volumen de almacenamiento de 16.013 m³.

Pavimento permeable continuo: El material que se usó para este sistema fue el concreto permeable que consta de una permeabilidad de 9000 mm/h lo cual es suficiente para permitir que la lluvia intensa la pueda atravesar sin dificultad. Además, este sistema comprende un área de 4523.34 m² y un volumen de almacenamiento de 773.491 m³ siendo mayor que el volumen de escorrentía superficial infiltrado (590 m³) lo que demuestra su eficiencia para controlar la escorrentía superficial mitigando los riesgos de inundación.

Instrumentos utilizados:

- Bibliografía de guías técnicas internacionales referente al diseño de los SUDS.
- Bibliografía local referente al diseño estructural del concreto permeable.

5.3 Respecto a las Áreas Disponibles para la Aplicación de los SUDS

Las áreas disponibles para la ubicación del SUDS, en la junta vecinal Jesús María se determinaron de acuerdo al modelado del software SWMM 5.2 donde se identificó las zonas más vulnerables frente a inundaciones producidas por las precipitaciones así mismo se realizó la inspección visual en la cual se constató las zonas en la cual desarrollar estos sistemas. Estos SUDS formaran parte de la sección vial integrándose en las bermas de la calle “Gregorio Albarracín”, “Nº 44”, “Nº 07”, “Nº 04”, “Jesús María” y en el jirón “07 de junio”. Asimismo, la zanja de infiltración se encuentra en el exterior del parque recreativo Jesús María, la información detallada

de la ubicación de los SUDS en la junta vecinal Jesús María se puede revisar en el “ANEXO 7: PLANOS DEL PROYECTO LAMINA N°5”. Por otro lado, es importante precisar que la mayoría de las calles en la junta vecinal Jesús María cuentan con bermas para la aplicación de los SUDS, además se cuenta con suficientes áreas (parques recreativos y terrenos eriazos) para la aplicación de estructuras de detención en caso hubiese más escorrentía de la que se obtuvo para un periodo de retorno de 10 años.

5.4 Respecto al Volumen de Escorrentía que se Podrá Infiltrar y/o Evacuar con la Aplicación de los SUDS

En base en los resultados obtenidos del “Escenario 1: Sin Medidas de Drenaje Sostenible” y “Escenario 2: Aplicando Medidas de Drenaje Sostenible”. En la Tabla 33 se puede observar que las conducciones y nodos con problemas críticos de inundación se reducen significativamente y que no se podrían presentar inundaciones. Además, con la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en el “Escenario 2” se puede evacuar y/o infiltrar 170 m³ del volumen de la escorrentía superficial es decir se reduce en un 65.38% el volumen de la escorrentía superficial del “Escenario 1”.

CONCLUSIONES

En esta investigación se realizó el diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible mediante la aplicación de zanjas de infiltración y pavimentos permeables continuos como sistemas de infiltración y/o detención para la reducción de la escorrentía superficial en la junta vecinal Jesús María durante los eventos de lluvia, de esta manera se pretende mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Se identificaron las áreas disponibles para la aplicación de los SUDS en la junta vecinal Jesús María, para lo cual tenemos que los pavimentos permeables continuos conforman un área de 4523.34 m² y están ubicados en las bermas de las calles “Gregorio Albarracín”, “Nº 44”, “Nº 07”, “Nº 04”, “Jesús María” y en el jirón “07 de junio”; además la zanja de infiltración conforma un área de 102.652 m² y se encuentra ubicada en el jirón “7 de junio” en el exterior del parque recreativo Jesús María. Estos sistemas resultan ser los más eficientes ya que se cuentan con espacios reducidos producto del acelerado crecimiento urbano.

Se determinó que con la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible se puede evacuar y/o infiltrar 170 m³ del volumen de la escorrentía superficial es decir se reduce en un 65.38%, mitigando los posibles riesgos de inundación favoreciendo la infiltración y mejorando la calidad de vida de los habitantes.

RECOMENDACIONES

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la implementación de estaciones meteorológicas automáticas en la ciudad de Tacna, para tener una mejor administración de datos, permitiendo así desarrollar estudios de mayor envergadura.

Al Gobierno Regional, desarrollar un proyecto integral de drenaje pluvial para toda la ciudad de Tacna que involucre a todos los distritos. De esta manera es oportuno indicar que, si no se desarrollan proyectos que contribuyan a solucionar los problemas causados por las precipitaciones anómalas, en la ciudad de Tacna, seguiremos presenciando las consecuencias de lo ocurrido en los años 2019 y 2020.

Realizar un estudio de concentración de contaminantes en la zona estudiada para determinar la calidad del agua de escorrentía generado por las calles. De esta manera se pretende aprovechar el agua proveniente de las precipitaciones para ser utilizada como recarga artificial y/o fuente de riego de áreas verdes después de realizar un tratamiento previo de bajo costo.

Realizar estudios geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos para diseñar un pavimento permeable que se ajuste a los criterios técnicos y económicos de la zona estudiada, y demostrar su funcionamiento en SWMM.

Realizar un análisis comparativo de costos, determinando así una diferencia, entre la aplicación del sistema de drenaje convencional, y la implementación del

sistema de drenaje urbano no convencional SUDS en la zona estudiada, para demostrar la eficiencia éste último y garantizar cierto grado de ahorro en recursos económicos.

Considerar el uso de los sistemas urbanos de drenaje sostenible ya que aparte de regenerar áreas verdes perdidas por destrucción humana se mejora el aspecto estético de la ciudad. Sin embargo, se debe considerar el análisis y la evaluación preliminar de la zona de aplicación puesto que la utilización de las estructuras de infiltración puede agravar los problemas existentes en zonas propensas a licuación de suelos, dado que pueden generar asentamientos de las edificaciones u otro tipo de fenómenos en caso sea implantado en las zonas no recomendadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abellan, A., Otaño, J., & Martin, L. (2021). *Modulo 3: Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Guia Tecnica para el diseño de SUDSS en el AMSS. <https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2021/07/Modulo-3.-Sistemas-Urbanos-de-Drenajes-Sostenibles.pdf>
- Abellán, A. (2016). *Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua*. Iagua. <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua>
- Abellán, A. (2014). *Parámetros de las Capas que componen las TDUS*. SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/parametros-de-las-capas-lid/>
- Ancachi, W. (2022). *Diseño del sistema de drenaje pluvial urbano para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en la Av. Jorge Basadre Grohmann utilizando el software SWMM, en el distrito de Alto Alianza - Tacna*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4507>
- Bastia, J., Kumar Mishra, B., & Kumar, P. (2021). Integrative assessment of stormwater infiltration practices in rapidly urbanizing cities: A case of Lucknow city, India. *Hydrology*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/hydrology8020093>
- Borja, M. (2012). *Metodologia de la investigacion cientifica para ingenieros*.nd <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-catolica-santa-maria-la-antigua/procesos-industriales/3-metodologia-de-inv-cientifica-para-ingenieros-borja/15765935>
- Camargo, E., & Lozada, J. (2018). *Diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con autopista norte*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Colombia <https://repository.ucatolica.edu.co/items/6e514515-46c9-4f2d-9c72->

4df9c9f94a9d

- Cano A. (2022). *Las lluvias en el sur del Perú: ¿Desastres recurrentes u oportunidades de cambio?* Universidad Católica San Pablo. <https://ucsp.edu.pe/las-lluvias-en-el-sur-del-peru-desastres-recurrentes-u-oportunidades-de-cambio/.com>
- Castro, C., Rodriguez, J., Rodriguez, J., & Ballester, F. (2005). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. *Interciencia*, 30 (5), 255-260. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910403>
- Centro virtual de informacion del agua (2017). *Agua y cambio climático*. Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/agua-y-clima-en-mexico/>
- CMNUCC. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático* (Vol. 62301). <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Cuti, K. (2018). *Drenaje pluvial urbano en la localidad de Espinar, Provincia de Espinar, Region Cusco* [Tesis para optar el titulo profesional, Universidad Nacional de San Agustín].
Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Agustín. <https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5759>
- Diario Correo (2021). *Identifican cinco puntos críticos ante inundaciones en la ciudad de Tacna*. <https://diariocorreo.pe/edicion/tacna/mpt-identifica-cinco-puntos-criticos-en-la-ciudad-ante-inundaciones-noticia/>
- Guanipa Rivero, K. J., Lugo Aguilar, A. L., & Rincon Ortiz, J. C. (2020). *Análisis de sensibilidad de parámetros hidrológicos e hidráulicos del modelo SWMM y su aplicación en sistema de drenaje urbano*. *Revista Gaceta Técnica*. 21(1), 44–64. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26994.66248>
- Hidalgo, A. (2019). *“Análisis hidrológico para el control de inundaciones mediante la aplicación de sistemas urbanos de drenaje sostenibles, en el Canton Machala”* [Tesis para optar el titulo profesional, Universidad Técnica de Machala].
Repositorio institucional de la Universidad Técnica de Machala

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15069>

Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramon, H., & Gisbert Blanquer, J. (2010). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica de Valencia. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología de una cuenca.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología%20de%20una%20cuenca.pdf)

INEI (2017). *Cinco departamentos concentran más de la mitad de la población del país*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/cinco-departamentos-concentran-mas-de-la-mitad-de-la-poblacion-del-pais-1>

Jimenez, B., & Galizia, J. (2012). *Diagnóstico del agua en las américas*. Foro consultivo, científico y tecnológico, AC. https://www.ancefn.org.ar/user/files/diagnostico_del_agua_en_las_americas.pdf

Laura , J., & Quispe, M. (2019). “*Diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos de bajo volumen de tránsito en la ciudad de Tacna*” [Tesis para optar el título profesional, Universidad Privada de Tacna].

Repositorio institucional de la Universidad Privada de Tacna

<http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>

Levin R. & Rubin D. (1996). *Estadística para Administración y Economía*. Pearson. <https://books.google.co.ve/books?id=uPhtNCqC4isC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Lima, M. & Quispe, L. (2018). *Evacuación de aguas pluviales aplicando técnicas de drenaje urbano sostenible en la localidad de Alto Libertad*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de San Agustín].

Repositorio isntitucional de la Universidad Nacional de San Agustín
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5784>

Macías, J., Vargas, A., & Arellano, F. (2018). Conductividad hidráulica en dos sitios del valle central de costa rica: análisis comparativo de tres metodologías de ensayo en la zona no saturada. *Revista Geológica de América Central*, 59(59),

71–96. <https://doi.org/10.15517/rgac.v59i0.34160>

Maldonado, A. & Paredes, L. (2015). *Soluciones tecnológicas para el diseño de secciones permeables en vías urbanas en la ciudad de Tarapoto*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Ingeniería].

Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3404>

Martinez, G. (2013). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible “SUDS” como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la ciudad de Palmira*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Militar Nueva Granada].

Repositorio institucional de la Universidad Militar Nueva Granada
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11075>

Mataix C. (1986) .Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas 2da edicion. Ediciones Del Castillo S.A. <https://conver2.files.wordpress.com/2012/11/ingenieria-claudio-mataix-mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas1.pdf>

Morales, L. (2014). *Estructuras de drenaje sustentable para elaborar proyectos de drenaje pluvial urbano- aplicado al barrio de Sumbe Angola* [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Ingeniería].

Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/14838>

Norma Técnica CE.0.40. (2021). *Drenaje Pluvial - Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Resolución Ministerial N° 126-2021-Vivienda.

OMM (2011). *Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II. Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas*. Organización Meteorológica Mundial (OMM). *hidrológicas*.https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=9404#.X10SsWgzbDc

Parada, P., Suárez, A., Joaquín, J., Cervantes, J., & Silva, L. (2020). Drenaje urbano sostenible: una alternativa para Xalapa, Veracruz, México. *Sociedad y Ambiente*, 23, 1–23. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2201>

- Perales Momparler, S., De la Fuente Garcia, L., Rico Cortes, M., Andrés Domenech, I., & Bautista Marco Segura, J. (2021). *Guía básica para el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la ciudad de València*. 111. https://ciclointegraldelagua.com/files/normativa/Guia_Basica_para_el_Diseño_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_en_la_Ciudad_de_Valencia_V01.pdf
- Perales, S. & Doménech, I. (2007). *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. [http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla y Leon/Articulos Tecnicos/Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible.pdf%5Cnhttp://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloId=597015](http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla_y_Leon/Articulos_Tecnicos/Sistemas_Urbanos_Drenaje_Sostenible.pdf%5Cnhttp://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloId=597015)
- PROSAP. (2019). *Medición De La Infiltración En El Suelo Mediante Infiltrómetros Doble Anillo. Gobierno de Argentina*, 65. http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R014_infiltrometro_doble_anillo.pdf
- Rodríguez-Rojas, I., Cuevas-Arrabal, M., Moreno Escobar, B., & Martínez Montes, G. (2017). El cambio de paradigma de la gestión del drenaje urbano desde la perspectiva del laneamiento, una propuesta metodológica. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2017(75), 55–74. <https://doi.org/10.21138/bage.2492>
- Rojas, P. (2007). *Evaluación, Diseño y Modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional del Altiplano].
Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2975>
- Rojas, M. (2017). *“Análisis hidráulico de un sistema de drenaje urbano para el control de inundaciones, aplicando medidas sostenibles en la subcuenca del colector Cicedo, ciudad de Quito”* [Tesis para optar el título profesional,

- Universidad Central del Ecuador].
- Repositorio institucional de la Universidad Central del Ecuador
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9607>
- RPP Noticias (2020). *Emergencia en Tacna: Inundaciones arrasan con autos y viviendas*. Radio Programas del Perú. <https://rpp.pe/peru/tacna/emergencia-en-tacna-inundaciones-arrasan-con-autos-y-viviendas-videos-noticia-1247224>
- Rossmann, L. A., & Simon, M. A. (2022). *Storm Water Management Model (SWMM) User's Manual Version 5.2*. In U.S. Environmental Protection Agency (EPA) <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/swmm-users-manual-version-5.2.pdf>
- Sardon, E. (2018). *Percepción en las organizaciones vecinales de la ciudad de Juliaca sobre la sostenibilidad del sistema de drenaje de aguas pluviales*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional del Altiplano].
Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6603>
- SENAMHI. (2020). *Informe técnico: Análisis del periodo lluviosos 2019-2020 a nivel nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú. Pag 63.
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01403SENA-36.pdf>
- Solano, N. M., Sandoval, M. V., Sanchez, J. D., & Jones, M. A. (2020). *Validación del coeficiente de rugosidad de Manning en un canal a flujo libre bajo condición de flujo uniforme*. Universidad Santo Tomas de Bucaramanga.35–47.
<https://doi.org/10.33132/27114260.1935>
- Ticahuanca, J. (2022). *“Diseño de un sistema de drenaje pluvial sostenible en dos asociaciones de vivienda del distrito Gregorio Albarracín, Tacna, 2022”* [Tesis para optar el título profesional, Universidad Privada de Tacna].
Repositorio institucional de la Universidad Privada de Tacna
<http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- Trapote, A., & Fernández, H. (2016). *Gestión de las aguas pluviales en entornos*

urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible. [Memoria del proyecto, Universidad de Alicante].

Repositorio institucional de la Universidad de Alicante
<http://hdl.handle.net/10045/65629>

Trujillo, A. & Quiroz, D. (2013). *Pavimentos Porosos como sistemas Alternativos al Drenaje Urbano* [Tesis para optar el título profesional, Pontificia Universidad Javeriana].

Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Javeriana
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11174>

Vásquez, R. (2016). *Diseño del sistema de alcantarillado pluvial urbano para la urbanización nueve de abril y sector los jardines, distrito de Tarapoto, provincia y región de San Martín* [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de San Martín -Tarapoto].

Repositorio institucional de la Universidad de San Martín - Tarapoto
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2436>

Vela, E., & Cruz, L. (2019). *Pavimentos permeables como sistema alternativo para el drenaje urbano en la localidad de Molinopampa, Amazonas, 2018*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional Toribio Rrodriguez Mendoza de Amazonas].

Repositorio institucional de la Universidad Nacional Toribio Rrodriguez Mendoza de Amazonas
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2436>

Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villón Béjar, M. (2012). *Hidroesta 2 Cálculos hidrológicos: Manual del Usuario*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

ANEXOS

ANEXO 1:
MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE TESIS

TÍTULO: “PROPUESTA DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA LA JUNTA VECINAL JESUS MARIA DEL CENTRO POBLADO NUESTRA SEÑORA DE LA NATIVIDAD -TACNA”

TESISTA: Bach. YOEL NEREO CHIPANA VILCA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>1. PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Es posible diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Es posible diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Parámetros de diseño.</p>	<p>DIMENSIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros hidrológicos • Parámetros hidráulicos • Parámetros ambientales (Topografía, vegetación, suelo, etc.) 	<p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de precipitación • Tasa de infiltración • Caudal de diseño • Área de estudio e influencia • Pendiente del terreno • Áreas impermeables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Planos de planimetría, topografía y alcantarillado de la zona de estudio. - Infiltrómetro de doble anillo. - Bibliografía referente al diseño de los SUDS. - Datos pluviométricos del SENAMHI. - Hojas de cálculo realizados en el software Microsoft Excel. 	<p>Método:</p> <p>Científico</p> <p>Tipo:</p> <p>Aplicada-Descriptiva</p> <p>Nivel:</p> <p>Perceptual</p> <p>Diseño:</p> <p>Cuantitativo no experimental de orden transversal</p> <p>Ámbito de Estudio</p>
<p>2. PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>¿Se cuentan con suficientes áreas disponibles para la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna?</p> <p>¿Cuánto volumen de la escorrentía superficial se podrá infiltrar y/o evacuar con la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna?</p>	<p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Identificar las áreas disponibles para la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.</p> <p>Determinar el volumen de la escorrentía superficial que se podrá infiltrar y/o evacuar con la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.</p>	<p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>Se cuentan con suficientes áreas disponibles para la aplicación del sistema urbano de drenaje sostenible en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna.</p> <p>El sistema urbano de drenaje sostenible puede evacuar y/o infiltrar el volumen de la escorrentía superficial que se produce en la junta vecinal Jesús María del centro poblado Nuestra Señora de La Natividad – Tacna, mitigando los riesgos de inundación y favoreciendo la infiltración.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Diseño de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible.</p>	<p>DIMENSIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zanjas de infiltración • Pavimento permeable continuo 	<p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pendiente del terreno • Área del SUDS • Volumen de almacenamiento • Permeabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> -Norma CE. 040 drenaje pluvial y guías internacionales para el diseño de SUDS. -Hojas de cálculo realizados en el software Microsoft Excel - Software Storm Water Management Model. SWMM 5.2. 	<p>Junta vecinal Jesús María del Centro poblado Nuestra Señora de La Natividad.</p> <p>Población</p> <p>Junta vecinal Jesús María y el área de expansión circundante.</p> <p>Muestra</p> <p>Junta vecinal Jesús María.</p> <p>Técnicas de Recolección de datos</p> <p>Observación.</p>

ANEXO 2:
ESTUDIO DE SUELOS

INFORME TECNICO

ESTUDIO PARA DISEÑO DE PAVIMENTO

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LA URBANIZACION VILLA MARIA DEL TRIUNFO DEL DISTRITO DE TACNA, PROVINCIA DE TACNA – TACNA.

SOLICITANTE : EQUIPO FUNCIONAL DE ESTUDIOS DE INVERSION - GIO.

FECHA : TACNA, 17 DE AGOSTO DEL 2015

1. GENERALIDADES

El presente informe que se desarrolla con los parámetros de la Mecánica de Suelos, es el resultado obtenido de los estudios efectuados donde se ejecutara el proyecto "Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado en la Urbanización Villa María del Triunfo" del Distrito de Tacna, Provincia de Tacna – Tacna."

El objetivo del estudio realizado, es el de analizar los suelos que subyacen a la superficie y realizar los respectivos análisis a través del Laboratorio de Mecánica Suelos a fin de obtener un resultado, y brindar las recomendaciones técnicas para un proceso constructivo.

2. DEL TERRENO

La zona de estudio está ubicada en la Urbanización Villa María del Triunfo (calles internas); del, Cercado de Tacna.

3. METODO DE EXPLORACIÓN

El método de exploración empleado ha sido practicado a través de 04 calicatas, a cielo abierto, realizada por el personal del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la MPT.

La ubicación de las calicata fue determinada por el EF de Estudios de Inversión - GIO, (plano de ubicación) de tal manera que sea representativo dentro de la superficie estudiada y en función al trabajo a realizar

4. INVESTIGACIONES DE LABORATORIO

Con el objeto de determinar las características mecánicas de la muestra extraída de la calicata de exploración, se ha procedido a determinar la siguiente:

- Análisis Granulométrico



- Humedad natural
- Límites de Atterberg
Limite líquido.
Limite plástico
Índice de plasticidad
- Clasificación de suelos (Sucs, Aashto)
- Relación Humedad-Densidad (próctor)
- Determinación del C.B.R.

5. ANÁLISIS DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO

La Calicata 1 ubicado en la Calle 45 (parte alta de la Av. Gregorio Albarracín) frente al Local Comunal (berma) a una profundidad de 1.00 mts de profundidad presenta en su columna estratigráfica básicamente 01 estrato definido, primer estrato de estudio de 0.00 – 1.00 mts. conformado por material areno-limoso-arcilloso (tierra de chacra), con presencia de poca o nada de grava, medianamente plástico cuya Clasificación es: SUCS: SM-SC, Arenas Limosas-Arcillosas; ASHTTO: A-4 (2) . .

La Calicata 2 ubicado en la Calle 46 (parte baja de la Av. Gregorio Albarracín) frentera del CC. EE. Corazón de María a una profundidad de 1.05 mts de profundidad presenta en su columna estratigráfica básicamente 01 estrato definido, primer estrato de estudio de 0.00 – 1.05 mts. Conformado por material Limoso-arcilloso (tierra de chacra), con casi nada de grava, medianamente plástico cuya Clasificación es: SUCS: ML, Limos Inorgánicos; ASHTTO: A-4 (3) . .


La Calicata 3 ubicado en la Calle 45 (parte baja de la Av. Gregorio Albarracín) frentera del CC. EE. Corazón de María a una profundidad de 0.95 mts de profundidad presenta en su columna estratigráfica básicamente 01 estrato definido, primer estrato de estudio de 0.00 – 1.05 mts. Conformado por material Limoso-arcilloso (tierra de chacra), con casi nada de grava, no plástico cuya Clasificación es: SUCS: ML, Limos Inorgánicos; ASHTTO: A-4 (4) . . .

La Calicata 4 ubicado en la Calle 2 (parte alta de la Av. Gregorio Albarracín) a una profundidad de 1.00 mts de profundidad presenta en su columna estratigráfica básicamente 02 estratos definidos, primer estrato de estudio de 0.00 – 0.30 mts. Conformado por material terroso-gravoso con presencia de finos y bolonería mayor de 2" , medianamente plástico cuya Clasificación es: SUCS: SM-SC, Arenas-limosas-arcillosas; ASHTTO: A-2-4 (0), y un segundo estrato conformado por material terroso con poco o nada de grava de 0.40 – 1.00 mts.

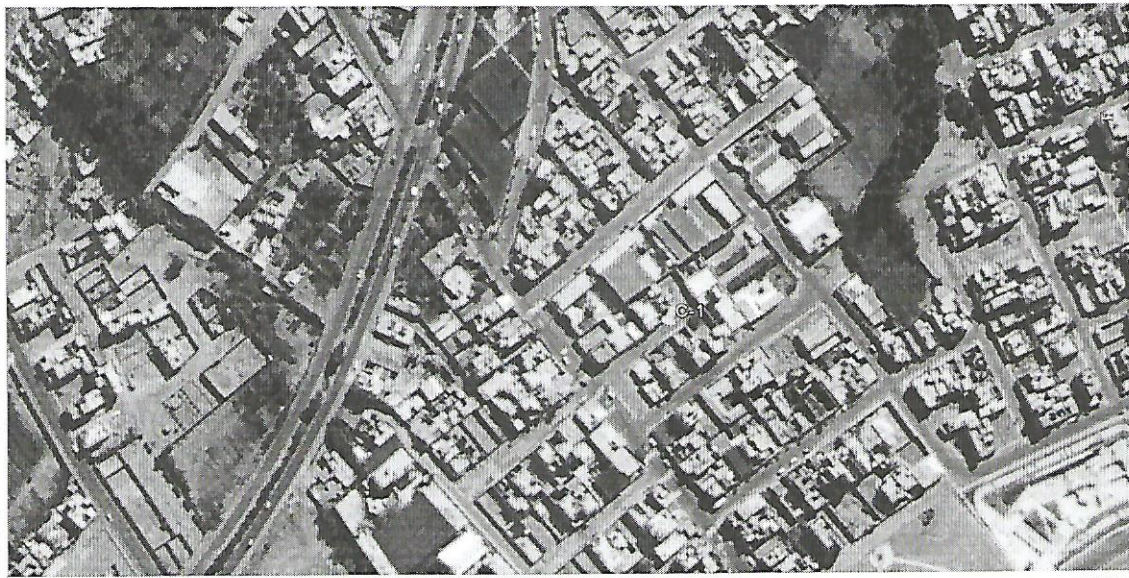


COLUMNA ESTRATIGRAFICA

CODIGO 100810
 PROYECTO MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LA URBANIZACION VILLA MARIA DEL TRIUNFO DEL DISTRITO DE TACNA, PROVINCIA DE TACNA - TACNA.
 MUESTRA CALICATA No. 1 - PROFUNDIDAD 1,00 MTS.
 UBICACIÓN CALLE No. 45 (parte alta de Av. Gregorio Albarracin)
 SOLICITANTE EQUIPO FUNCIONAL DE ESTUDIOS DE INVERSION - GIO
 FECHA TACNA, 17 DE AGOSTO DEL 2015

CALICATA 1			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF. EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
SM-SC		0.10	ARENAS LIMOSAS-ARCILLOSAS, mezclas de arena y limo presencia de arcillas
		0.20	
		0.30	
		0.40	
		0.50	
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
		1.00	

UBICACIÓN DE CALICATA - CBR - 1



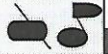

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA
SUB GERENCIA SUPERVISION DE PROYECTOS

TCO. ERNESTO JUAN ADUVIRE CHOQUE
Laboratorio Mecánica de Suelos Asfalto y Concreto

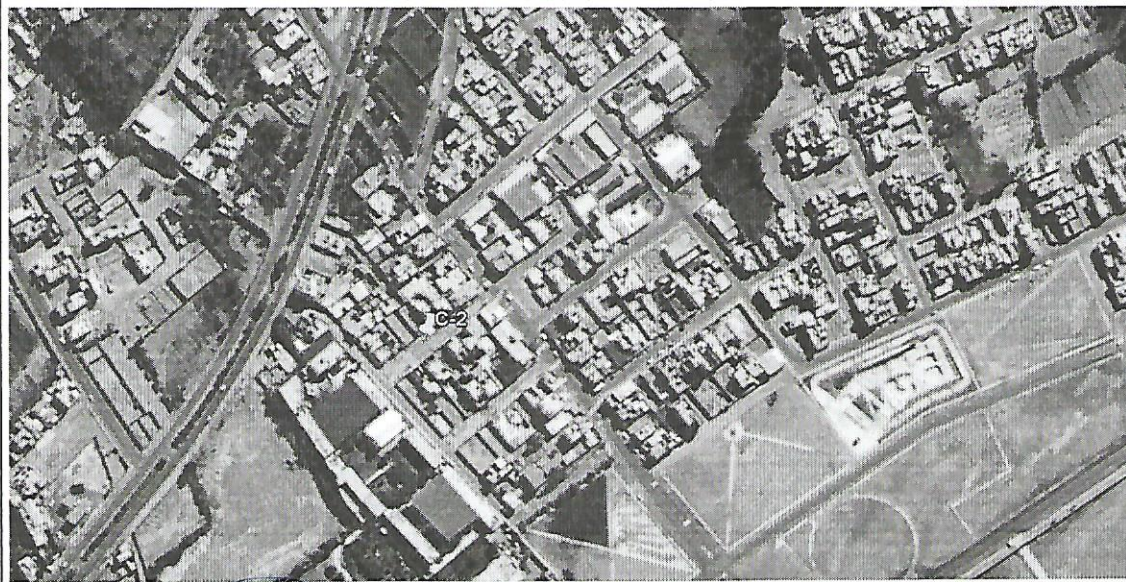


COLUMNA ESTRATIGRAFICA

CODIGO 100810
 PROYECTO MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LA URBANIZACION VILLA MARIA DEL TRIUNFO DEL DISTRITO DE TACNA, PROVINCIA DE TACNA - TACNA.
 MUESTRA CALICATA No. 2 - PROFUNDIDAD 1,05 MTS.
 UBICACIÓN CALLE No. 46 (parte baja de la Av. Gregorio Albarracin)
 SOLICITANTE EQUIPO FUNCIONAL DE ESTUDIOS DE INVERSION - GIO
 FECHA TACNA, 17 DE AGOSTO DEL 2015


CALICATA 2			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF.EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
		0.05 0.10	CAPA DE MATERIAL GRAVOSO (ripiado gravoso)
ML		0.20	
		0.30	
		0.40	
		0.50	LIMOS INORGANICOS, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plasticos
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
		1.00	

UBICACIÓN DE CALICATA - CBR - 2



COLUMNA ESTRATIGRAFICA

CODIGO 100810
 PROYECTO MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LA URBANIZACION VILL MARIA DEL TRIUNFO DEL DISTRITO DE TACNA, PROVINCIA DE TACNA - TACNA.
 MUESTRA CALICATA No. 3 - PROFUNDIDAD 0,95 MTS.
 SOLICITANTE EQUIPO FUNCIONAL DE ESTUDIOS DE INVERSION - GIO
 FECHA TACNA, 17 DE AGOSTO DEL 2015

CALICATA 3			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF.EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
ML		0.05	LIMOS INORGANICOS, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plasticos
		0.10	
		0.20	
		0.30	
		0.40	
		0.50	
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
0.95			

UBICACIÓN DE CALICATA - CBR - 3



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA
SUB GERENCIA SUPERVISION DE PROYECTOS

TCO. ERNESTO JUAN ADUVIRE CHOQUE
Laboratorio Mecánica de Suelos Asfalto y Concreto





MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA
 SUB GERENCIA DE SUPERVISION DE PROYECTOS
 EQUIPO FUNCIONAL DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

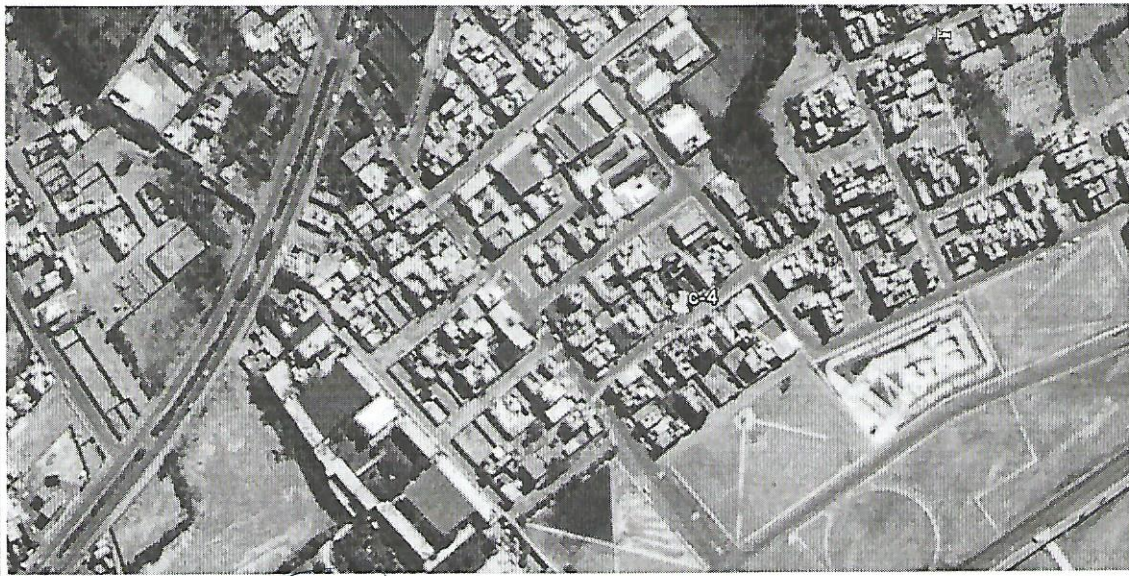


COLUMNA ESTRATIGRAFICA

CODIGO 100810
 PROYECTO MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EN LA URBANIZACION VILLA MARIA DEL TRIUNFO DEL DISTRITO DE TACNA, PROVINCIA DE TACNA - TACNA.
 MUESTRA CALICATA No. 4 - PROFUNDIDAD 1,00 MTS.
 UBICACIÓN CALLE No. 2 (parte alta de Av. Gregorio Albarracin)
 SOLICITANTE EQUIPO FUNCIONAL DE ESTUDIOS DE INVERSION - GIO
 FECHA TACNA, 17 DE AGOSTO DEL 2015

CALICATA 4			DESCRIPCION
SIMBOLO DE CLASIFICACION		PROF. EN METROS	
LETRA	GRAFICO		
SM-SC		0.10	ESTRATO DE MATERIAL TERROSO CON GRAVA
		0.20	
		0.30	
		0.40	ARENAS LIMOSAS-ARCILLOSAS Mesdaz de arenas, limos v arcillas.
		0.50	
		0.60	
		0.70	
		0.80	
		0.90	
		1.00	

UBICACIÓN DE CALICATA - CBR - 4



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TACNA
 SUB GERENCIA SUPERVISION DE PROYECTOS

TCO. ERNESTO JUAN ADUVIRE CHOQUE
 Laboratorio Mecánica de Suelos Asfalto y Concreto



ANEXO 3:
CALCULO DE LA INFILTRACION

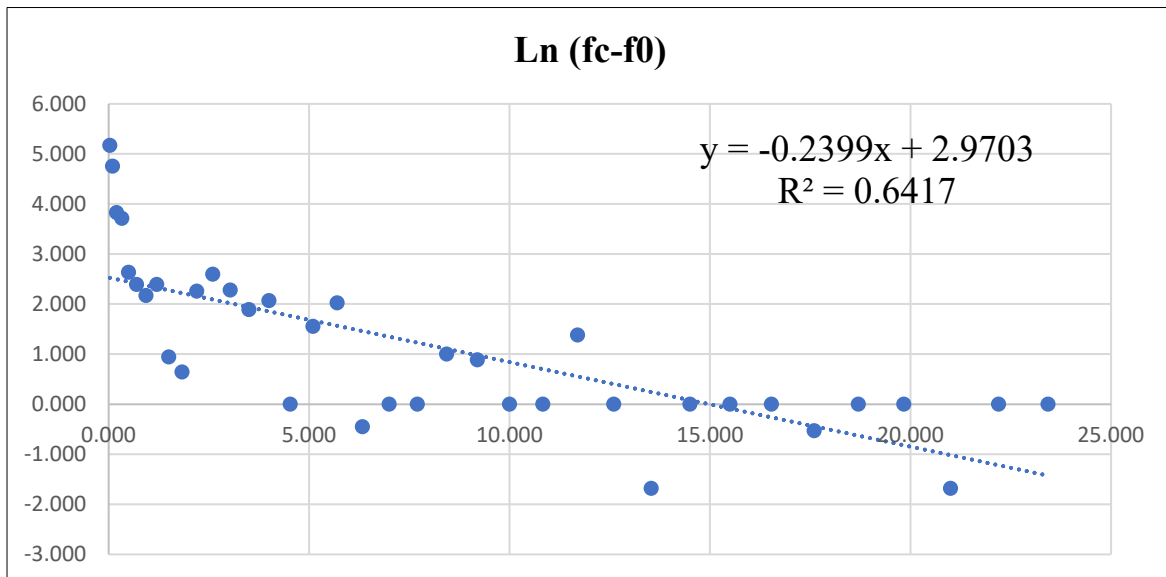
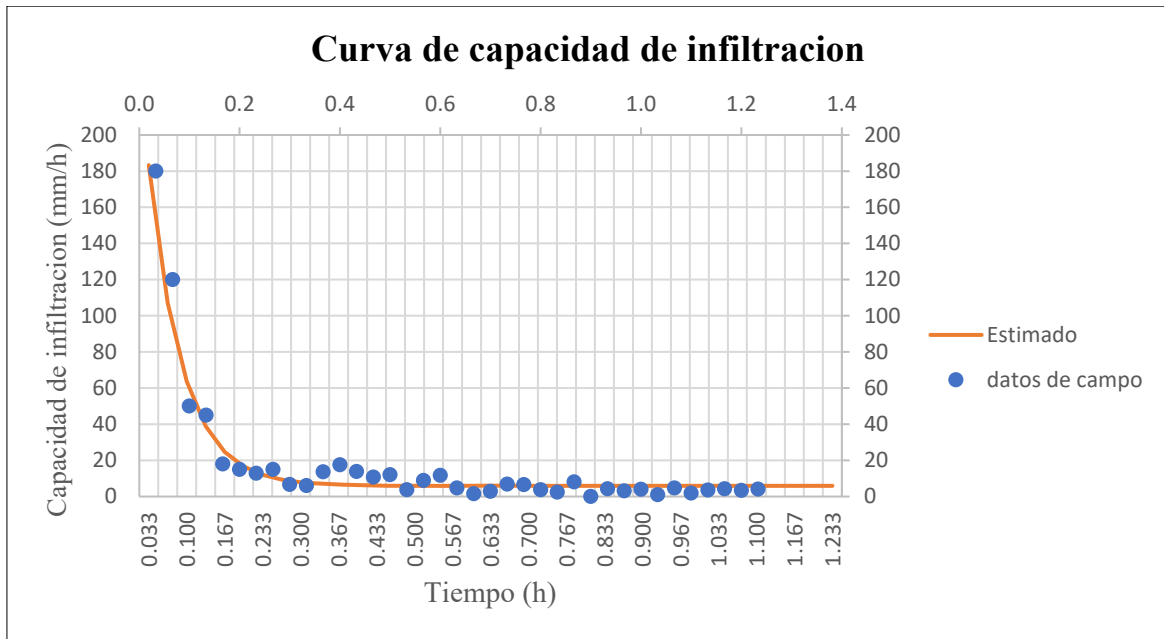
INFILTRACION POR EL MODELO DE HORTON

Fecha:	19/11/2022
Responsable:	Bch. Yoel Nereo Chipana Vilca
Asesor:	Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano
Ubicación:	Junta vecinal Jesús María
Calculo:	ENSAYO DE INFILTRACION, DETERMINACION DE PARAMETROS DE HORTON

Prueba N°	1	Provincia:	Tacna
<u>DATOS DEL ENSAYO</u>		Distrito:	Tacna
		Sitio:	Parque de la urbanización Santa Teresa
Profundidad de ensayo:	60 cm bajo el nivel del terreno natural		
Intervalo de tiempo de medición:	2 minutos		

Lectura	Tiempo (min)	Tiempo (hora)	Tiempo acumulado (horas)	Nivel de agua (cm)	Lamina de infiltración (mm)	Capacidad de infiltración (mm/hora)	Capacidad de infiltración estimada (mm/h)	Ln(fc-f0)	Error	Error^2
1	2	0.033	0.033	29.0	6	180.0	183.39	5.170	-3.39	11.49
2	4	0.067	0.100	29.8	8	120.0	107.16	4.753	12.84	164.76
3	6	0.100	0.200	30.3	5	50.0	63.67	3.826	-13.67	186.93
4	8	0.133	0.333	30.9	6	45.0	38.86	3.711	6.14	37.73
5	10	0.167	0.500	31.2	3	18.0	24.70	2.632	-6.70	44.88
6	12	0.200	0.700	31.5	3	15.0	16.62	2.389	-1.62	2.63
7	14	0.233	0.933	31.8	3	12.9	12.01	2.170	0.85	0.71
8	16	0.267	1.200	32.2	4	15.0	9.38	2.389	5.62	31.56
9	18	0.300	1.500	32.4	2	6.7	7.88	0.943	-1.21	1.48
10	20	0.333	1.833	32.6	2	6.0	7.03	0.642	-1.03	1.05
11	22	0.367	2.200	33.1	5	13.6	6.54	2.255	7.10	50.40
12	24	0.400	2.600	33.8	7	17.5	6.26	2.595	11.24	126.38
13	26	0.433	3.033	34.4	6	13.8	6.10	2.277	7.75	60.02
14	28	0.467	3.500	34.9	5	10.7	6.01	1.889	4.71	22.15
15	30	0.500	4.000	35.5	6	12.0	5.96	2.067	6.04	36.52
16	32	0.533	4.533	35.7	2	3.7	5.93	-	-2.18	4.74
17	34	0.567	5.100	36.2	5	8.8	5.91	1.553	2.91	8.49
18	36	0.600	5.700	36.9	7	11.7	5.90	2.024	5.77	33.25
19	38	0.633	6.333	37.2	3	4.7	5.90	-0.451	-1.16	1.34
20	40	0.667	7.000	37.3	1	1.5	5.89	-	-4.39	19.29
21	42	0.700	7.700	37.5	2	2.9	5.89	-	-3.03	9.20
22	44	0.733	8.433	38.0	5	6.8	5.89	1.000	0.93	0.86
23	46	0.767	9.200	38.5	5	6.5	5.89	0.884	0.63	0.40
24	48	0.800	10.000	38.8	3	3.7	5.89	-	-2.14	4.57
25	50	0.833	10.833	39.0	2	2.4	5.89	-	-3.49	12.17
26	52	0.867	11.700	39.7	7	8.1	5.89	1.381	2.19	4.79
27	54	0.900	12.600	39.7	0	0.0	5.89	-	-5.89	34.67
28	56	0.933	13.533	40.1	4	4.3	5.89	-1.684	-1.60	2.57
29	58	0.967	14.500	40.4	3	3.1	5.89	-	-2.78	7.75
30	60	1.000	15.500	40.8	4	4.0	5.89	-	-1.89	3.56
31	62	1.033	16.533	40.9	1	1.0	5.89	-	-4.92	24.21
32	64	1.067	17.600	41.4	5	4.7	5.89	-0.532	-1.20	1.44
33	66	1.100	18.700	41.6	2	1.8	5.89	-	-4.07	16.56
34	68	1.133	19.833	42.0	4	3.5	5.89	-	-2.36	5.56
35	70	1.167	21.000	42.5	5	4.3	5.89	-1.684	-1.60	2.57
36	72	1.200	22.200	42.9	4	3.3	5.89	-	-2.55	6.53
37	74	1.233	23.433	43.4	5	4.1	5.89	-	-1.83	3.36

Suma de error= **986.57**



Ecuación de Horton:

$$f(t) = f(c) + (f(o) - f(c)) * e^{-Kt}$$

Desarrollando la ecuación de Horton:

$$\ln (f_p - f(c)) = \ln (f(o) - f(c)) - kt$$

Reemplazando datos y resolviendo la ecuación se tiene los siguientes resultados

Parámetro	Valor	Unidad
fc	4.100	mm/h
fo	23.590	mm/h
k	0.240	1/h

ANEXO 4:
PARÁMETROS DE LAS
SUBCUENCAS,
CONDUCCIONES, UNIONES Y SALIDAS

PARAMETROS DE LAS SUBCUENCAS

Subcuenca	Área	Ancho	Impermeabilidad	Pendiente	Coeficiente de Manning		Almacenamiento en depresiones (mm)		Punto de descarga	HORTON		
	ha	m			%	%	Impermeable	Permeable		Impermeable	Permeable	Infil. Max. mm/h
SC-01	0.361	35.131	95.00	4.037	0.012	0.130	1.905	5.08	J-01	23.597	4.1	0.24
SC-02	1.523	69.954	95.00	5.262	0.012	0.130	1.905	5.08	J-02	23.597	4.1	0.24
SC-03	0.710	49.253	95.00	3.591	0.012	0.130	1.905	5.08	J-02	23.597	4.1	0.24
SC-04	1.000	48.502	95.00	3.155	0.012	0.130	1.905	5.08	J-14	23.597	4.1	0.24
SC-05	0.540	46.056	95.00	1.601	0.012	0.130	1.905	5.08	J-14	23.597	4.1	0.24
SC-06	0.578	44.276	95.00	1.952	0.012	0.130	1.905	5.08	J-15	23.597	4.1	0.24
SC-07	0.702	48.033	95.00	3.769	0.012	0.130	1.905	5.08	J-20	23.597	4.1	0.24
SC-08	0.625	48.087	95.00	3.277	0.012	0.130	1.905	5.08	J-14	23.597	4.1	0.24
SC-09	0.541	44.292	95.00	2.141	0.012	0.130	1.905	5.08	J-14	23.597	4.1	0.24
SC-10	0.293	33.738	95.00	2.678	0.012	0.130	1.905	5.08	J-23	23.597	4.1	0.24
SC-11	0.387	39.364	95.00	4.133	0.012	0.130	1.905	5.08	J-13	23.597	4.1	0.24
SC-12	0.392	37.414	95.00	3.849	0.012	0.130	1.905	5.08	J-13	23.597	4.1	0.24
SC-13	0.403	34.247	95.00	3.465	0.012	0.130	1.905	5.08	J-13	23.597	4.1	0.24
SC-14	0.310	35.507	95.00	1.999	0.012	0.130	1.905	5.08	J-12	23.597	4.1	0.24
SC-15	0.514	38.733	94.55	1.730	0.012	0.130	1.905	5.08	J-25	23.597	4.1	0.24
SC-16	0.250	31.355	95.00	3.257	0.012	0.130	1.905	5.08	J-11	23.597	4.1	0.24
SC-17	0.205	27.885	95.00	3.490	0.012	0.130	1.905	5.08	J-11	23.597	4.1	0.24
SC-18	0.101	19.690	95.00	3.326	0.012	0.130	1.905	5.08	J-11	23.597	4.1	0.24
SC-19	0.201	27.882	95.00	2.710	0.012	0.130	1.905	5.08	J-10	23.597	4.1	0.24
SC-20	0.094	19.094	94.12	5.511	0.012	0.130	1.905	5.08	J-27	23.597	4.1	0.24
SC-21	0.131	22.383	94.26	2.860	0.012	0.130	1.905	5.08	J-29	23.597	4.1	0.24
SC-22	0.209	28.627	95.00	1.970	0.012	0.130	1.905	5.08	J-10	23.597	4.1	0.24
SC-23	0.123	21.869	95.00	1.018	0.012	0.130	1.905	5.08	J-10	23.597	4.1	0.24
SC-24	0.205	28.581	94.54	1.936	0.012	0.130	1.905	5.08	J-09	23.597	4.1	0.24
SC-25	0.302	34.114	38.66	2.642	0.012	0.130	1.905	5.08	J-07	23.597	4.1	0.24
SC-26	0.464	44.645	37.78	2.590	0.012	0.130	1.905	5.08	J-09	23.597	4.1	0.24
SC-27	0.420	40.110	95.00	2.695	0.012	0.130	1.905	5.08	J-12	23.597	4.1	0.24
SC-28	0.814	58.453	95.00	2.672	0.012	0.130	1.905	5.08	J-02	23.597	4.1	0.24
SC-29	2.099	92.652	95.00	5.652	0.012	0.130	1.905	5.08	J-02	23.597	4.1	0.24
SC-30	1.429	67.524	60.00	3.060	0.012	0.130	1.905	5.08	J-03	23.597	4.1	0.24
SC-31	0.942	48.766	95.00	3.233	0.012	0.130	1.905	5.08	J-03	23.597	4.1	0.24
SC-32	0.179	26.601	95.00	3.691	0.012	0.130	1.905	5.08	J-04	23.597	4.1	0.24
SC-33	1.125	52.634	95.00	4.613	0.012	0.130	1.905	5.08	J-04	23.597	4.1	0.24
SC-34	0.235	29.816	95.00	4.542	0.012	0.130	1.905	5.08	J-05	23.597	4.1	0.24
SC-35	0.244	30.653	95.00	4.150	0.012	0.130	1.905	5.08	J-05	23.597	4.1	0.24
SC-36	1.300	58.952	95.00	4.631	0.012	0.130	1.905	5.08	J-06	23.597	4.1	0.24
SC-37	1.109	53.621	95.00	3.639	0.012	0.130	1.905	5.08	J-05	23.597	4.1	0.24
SC-38	0.134	23.158	95.00	3.119	0.012	0.130	1.905	5.08	J-115	23.597	4.1	0.24
SC-39	0.146	23.631	95.00	2.326	0.012	0.130	1.905	5.08	J-113	23.597	4.1	0.24
SC-40	0.941	41.720	95.00	3.837	0.012	0.130	1.905	5.08	J-06	23.597	4.1	0.24
SC-41	0.372	39.271	95.00	2.052	0.012	0.130	1.905	5.08	J-103	23.597	4.1	0.24
SC-42	0.238	36.398	95.00	3.512	0.012	0.130	1.905	5.08	J-103	23.597	4.1	0.24
SC-43	0.205	33.702	95.00	0.554	0.012	0.130	1.905	5.08	J-31	23.597	4.1	0.24
SC-44	0.473	43.926	37.77	2.972	0.012	0.130	1.905	5.08	J-07	23.597	4.1	0.24
SC-45	0.158	24.737	95.00	4.017	0.012	0.130	1.905	5.08	J-07	23.597	4.1	0.24
SC-46	0.103	19.943	94.16	4.178	0.012	0.130	1.905	5.08	J-08	23.597	4.1	0.24
SC-47	0.314	33.129	94.59	3.331	0.012	0.130	1.905	5.08	J-07	23.597	4.1	0.24
SC-48	0.106	20.206	95.00	2.147	0.012	0.130	1.905	5.08	J-31	23.597	4.1	0.24

SC-49	0.320	33.001	95.00	2.390	0.012	0.130	1.905	5.08	J-29	23.597	4.1	0.24
SC-50	0.108	20.428	94.22	4.915	0.012	0.130	1.905	5.08	J-28	23.597	4.1	0.24
SC-51	0.333	34.159	94.59	2.988	0.012	0.130	1.905	5.08	J-29	23.597	4.1	0.24
SC-52	0.114	20.975	95.00	4.605	0.012	0.130	1.905	5.08	J-32	23.597	4.1	0.24
SC-53	0.341	34.095	95.00	4.145	0.012	0.130	1.905	5.08	J-27	23.597	4.1	0.24
SC-54	0.239	30.666	94.53	3.564	0.012	0.130	1.905	5.08	J-26	23.597	4.1	0.24
SC-55	0.432	41.191	95.00	3.029	0.012	0.130	1.905	5.08	J-27	23.597	4.1	0.24
SC-56	0.262	31.758	95.00	5.143	0.012	0.130	1.905	5.08	J-33	23.597	4.1	0.24
SC-57	0.090	17.018	94.63	3.126	0.012	0.130	1.905	5.08	J-34	23.597	4.1	0.24
SC-58	0.129	25.061	94.70	1.400	0.012	0.130	1.905	5.08	J-35	23.597	4.1	0.24
SC-59	0.203	30.398	94.71	2.710	0.012	0.130	1.905	5.08	J-25	23.597	4.1	0.24
SC-60	0.024	9.831	93.84	1.620	0.012	0.130	1.905	5.08	J-25	23.597	4.1	0.24
SC-61	0.106	18.981	94.36	2.593	0.012	0.130	1.905	5.08	J-24	23.597	4.1	0.24
SC-62	0.091	18.484	94.33	4.013	0.012	0.130	1.905	5.08	J-25	23.597	4.1	0.24
SC-63	0.080	15.991	94.12	3.974	0.012	0.130	1.905	5.08	J-35	23.597	4.1	0.24
SC-64	0.040	11.281	94.07	2.426	0.012	0.130	1.905	5.08	J-36	23.597	4.1	0.24
SC-65	0.094	18.530	95.00	2.625	0.012	0.130	1.905	5.08	J-35	23.597	4.1	0.24
SC-66	0.029	10.612	94.04	0.810	0.012	0.130	1.905	5.08	J-35	23.597	4.1	0.24
SC-67	0.119	17.579	95.00	2.135	0.012	0.130	1.905	5.08	J-34	23.597	4.1	0.24
SC-68	0.142	20.317	95.00	3.014	0.012	0.130	1.905	5.08	J-34	23.597	4.1	0.24
SC-69	0.031	10.852	94.02	3.573	0.012	0.130	1.905	5.08	J-34	23.597	4.1	0.24
SC-70	0.096	18.803	94.20	4.204	0.012	0.130	1.905	5.08	J-33	23.597	4.1	0.24
SC-71	0.074	15.486	94.18	3.909	0.012	0.130	1.905	5.08	J-86	23.597	4.1	0.24
SC-72	0.049	14.556	94.33	2.636	0.012	0.130	1.905	5.08	J-37	23.597	4.1	0.24
SC-73	0.040	12.357	28.59	3.303	0.012	0.130	1.905	5.08	J-37	23.597	4.1	0.24
SC-74	0.174	28.590	37.45	1.800	0.012	0.130	1.905	5.08	J-36	23.597	4.1	0.24
SC-75	0.122	19.159	34.48	2.448	0.012	0.130	1.905	5.08	J-24	23.597	4.1	0.24
SC-76	0.150	21.318	43.39	40.000	0.012	0.130	1.905	5.08	J-24	23.597	4.1	0.24
SC-77	0.260	31.699	95.00	1.914	0.012	0.130	1.905	5.08	J-23	23.597	4.1	0.24
SC-78	0.091	21.671	35.65	2.955	0.012	0.130	1.905	5.08	J-38	23.597	4.1	0.24
SC-79	0.164	21.561	95.00	2.302	0.012	0.130	1.905	5.08	J-23	23.597	4.1	0.24
SC-80	0.051	13.670	95.00	2.427	0.012	0.130	1.905	5.08	J-40	23.597	4.1	0.24
SC-81	0.047	13.197	95.00	2.051	0.012	0.130	1.905	5.08	J-42	23.597	4.1	0.24
SC-82	0.090	21.079	95.00	1.245	0.012	0.130	1.905	5.08	J-22	23.597	4.1	0.24
SC-83	0.070	14.166	95.00	3.384	0.012	0.130	1.905	5.08	J-23	23.597	4.1	0.24
SC-84	0.032	10.422	95.00	1.713	0.012	0.130	1.905	5.08	J-22	23.597	4.1	0.24
SC-85	0.049	13.762	95.00	2.381	0.012	0.130	1.905	5.08	J-22	23.597	4.1	0.24
SC-86	0.027	11.380	95.00	3.681	0.012	0.130	1.905	5.08	J-21	23.597	4.1	0.24
SC-87	0.026	10.002	95.00	3.343	0.012	0.130	1.905	5.08	J-20	23.597	4.1	0.24
SC-88	0.064	15.616	95.00	2.751	0.012	0.130	1.905	5.08	J-42	23.597	4.1	0.24
SC-89	0.042	12.166	95.00	5.323	0.012	0.130	1.905	5.08	J-42	23.597	4.1	0.24
SC-90	0.055	13.757	95.00	3.030	0.012	0.130	1.905	5.08	J-42	23.597	4.1	0.24
SC-91	0.032	11.177	95.00	2.962	0.012	0.130	1.905	5.08	J-43	23.597	4.1	0.24
SC-92	0.038	12.485	95.00	4.518	0.012	0.130	1.905	5.08	J-41	23.597	4.1	0.24
SC-93	0.045	13.957	95.00	3.533	0.012	0.130	1.905	5.08	J-41	23.597	4.1	0.24
SC-94	0.050	12.753	95.00	3.778	0.012	0.130	1.905	5.08	J-40	23.597	4.1	0.24
SC-95	0.021	8.709	95.00	1.478	0.012	0.130	1.905	5.08	J-40	23.597	4.1	0.24
SC-96	0.113	17.225	95.00	3.015	0.012	0.130	1.905	5.08	J-67	23.597	4.1	0.24
SC-97	0.023	9.741	95.00	2.291	0.012	0.130	1.905	5.08	J-45	23.597	4.1	0.24
SC-98	0.015	7.978	95.00	2.561	0.012	0.130	1.905	5.08	J-44	23.597	4.1	0.24
SC-99	0.222	24.994	95.00	2.553	0.012	0.130	1.905	5.08	J-45	23.597	4.1	0.24
SC-100	0.058	15.315	95.00	1.954	0.012	0.130	1.905	5.08	J-43	23.597	4.1	0.24
SC-101	0.052	13.661	95.00	1.836	0.012	0.130	1.905	5.08	J-20	23.597	4.1	0.24
SC-102	0.236	26.645	95.00	2.831	0.012	0.130	1.905	5.08	J-20	23.597	4.1	0.24
SC-103	0.013	7.280	95.00	1.359	0.012	0.130	1.905	5.08	J-19	23.597	4.1	0.24
SC-104	0.282	37.424	95.00	2.037	0.012	0.130	1.905	5.08	J-19	23.597	4.1	0.24
SC-105	0.060	15.431	95.00	2.138	0.012	0.130	1.905	5.08	J-16	23.597	4.1	0.24
SC-106	0.922	58.426	95.00	3.490	0.012	0.130	1.905	5.08	J-17	23.597	4.1	0.24
SC-107	0.453	47.352	95.00	3.238	0.012	0.130	1.905	5.08	J-45	23.597	4.1	0.24
SC-108	0.030	11.232	95.00	2.706	0.012	0.130	1.905	5.08	J-45	23.597	4.1	0.24

SC-109	0.330	38.696	95.00	1.401	0.012	0.130	1.905	5.08	J-46	23.597	4.1	0.24
SC-110	0.462	44.348	95.00	2.091	0.012	0.130	1.905	5.08	J-47	23.597	4.1	0.24
SC-111	0.195	25.116	95.00	2.309	0.012	0.130	1.905	5.08	J-46	23.597	4.1	0.24
SC-112	0.201	27.358	95.00	3.895	0.012	0.130	1.905	5.08	J-67	23.597	4.1	0.24
SC-113	0.184	25.849	95.00	4.841	0.012	0.130	1.905	5.08	J-67	23.597	4.1	0.24
SC-114	0.263	29.016	95.00	3.677	0.012	0.130	1.905	5.08	J-66	23.597	4.1	0.24
SC-115	0.620	46.891	95.00	4.002	0.012	0.130	1.905	5.08	J-66	23.597	4.1	0.24
SC-116	0.376	34.833	95.00	1.935	0.012	0.130	1.905	5.08	J-47	23.597	4.1	0.24
SC-117	1.210	65.410	95.00	3.887	0.012	0.130	1.905	5.08	J-48	23.597	4.1	0.24
SC-118	1.346	71.109	95.00	3.633	0.012	0.130	1.905	5.08	J-66	23.597	4.1	0.24
SC-119	0.525	39.928	95.00	2.942	0.012	0.130	1.905	5.08	J-65	23.597	4.1	0.24
SC-120	0.593	47.752	95.00	2.100	0.012	0.130	1.905	5.08	J-65	23.597	4.1	0.24
SC-121	0.436	40.495	95.00	2.069	0.012	0.130	1.905	5.08	J-49	23.597	4.1	0.24
SC-122	0.510	44.411	95.00	1.245	0.012	0.130	1.905	5.08	J-64	23.597	4.1	0.24
SC-123	0.418	40.527	95.00	1.656	0.012	0.130	1.905	5.08	J-65	23.597	4.1	0.24
SC-124	0.079	17.021	95.00	4.212	0.012	0.130	1.905	5.08	J-50	23.597	4.1	0.24
SC-125	0.334	31.856	95.00	2.701	0.012	0.130	1.905	5.08	J-64	23.597	4.1	0.24
SC-126	0.039	11.912	95.00	1.311	0.012	0.130	1.905	5.08	J-64	23.597	4.1	0.24
SC-127	0.042	13.114	95.00	2.123	0.012	0.130	1.905	5.08	J-63	23.597	4.1	0.24
SC-128	0.132	24.914	95.00	2.590	0.012	0.130	1.905	5.08	J-62	23.597	4.1	0.24
SC-129	0.198	27.267	95.00	4.032	0.012	0.130	1.905	5.08	J-60	23.597	4.1	0.24
SC-130	0.146	21.998	95.00	1.950	0.012	0.130	1.905	5.08	J-60	23.597	4.1	0.24
SC-131	0.042	12.582	95.00	0.000	0.012	0.130	1.905	5.08	J-51	23.597	4.1	0.24
SC-132	0.157	21.670	95.00	1.295	0.012	0.130	1.905	5.08	J-59	23.597	4.1	0.24
SC-133	0.041	12.516	95.00	3.410	0.012	0.130	1.905	5.08	J-60	23.597	4.1	0.24
SC-134	0.041	12.524	95.00	3.939	0.012	0.130	1.905	5.08	J-60	23.597	4.1	0.24
SC-135	0.075	16.823	95.00	3.592	0.012	0.130	1.905	5.08	J-62	23.597	4.1	0.24
SC-136	0.041	12.490	95.00	3.641	0.012	0.130	1.905	5.08	J-62	23.597	4.1	0.24
SC-137	0.067	16.550	95.00	5.032	0.012	0.130	1.905	5.08	J-61	23.597	4.1	0.24
SC-138	0.063	15.377	95.00	4.487	0.012	0.130	1.905	5.08	J-61	23.597	4.1	0.24
SC-139	0.063	15.629	95.00	3.052	0.012	0.130	1.905	5.08	J-61	23.597	4.1	0.24
SC-140	0.054	14.605	95.00	0.655	0.012	0.130	1.905	5.08	J-57	23.597	4.1	0.24
SC-141	0.065	15.789	95.00	3.086	0.012	0.130	1.905	5.08	J-59	23.597	4.1	0.24
SC-142	0.066	15.843	95.00	2.964	0.012	0.130	1.905	5.08	J-59	23.597	4.1	0.24
SC-143	0.183	24.776	95.00	0.764	0.012	0.130	1.905	5.08	J-59	23.597	4.1	0.24
SC-144	0.066	15.989	95.00	1.914	0.012	0.130	1.905	5.08	J-52	23.597	4.1	0.24
SC-145	0.229	27.874	95.00	1.310	0.012	0.130	1.905	5.08	J-58	23.597	4.1	0.24
SC-146	0.088	17.923	95.00	0.244	0.012	0.130	1.905	5.08	J-57	23.597	4.1	0.24
SC-147	0.366	38.599	95.00	2.359	0.012	0.130	1.905	5.08	J-58	23.597	4.1	0.24
SC-148	0.143	23.334	95.00	4.402	0.012	0.130	1.905	5.08	J-53	23.597	4.1	0.24
SC-149	0.478	39.601	95.00	2.812	0.012	0.130	1.905	5.08	J-55	23.597	4.1	0.24
SC-150	0.092	19.693	95.00	2.429	0.012	0.130	1.905	5.08	J-56	23.597	4.1	0.24
SC-151	0.072	15.376	95.00	0.270	0.012	0.130	1.905	5.08	J-57	23.597	4.1	0.24
SC-152	0.060	15.331	95.00	2.809	0.012	0.130	1.905	5.08	J-56	23.597	4.1	0.24
SC-153	0.354	31.607	95.00	1.232	0.012	0.130	1.905	5.08	J-132	23.597	4.1	0.24
SC-154	0.119	21.077	95.00	3.058	0.012	0.130	1.905	5.08	J-131	23.597	4.1	0.24
SC-155	0.353	32.999	95.00	2.941	0.012	0.130	1.905	5.08	J-130	23.597	4.1	0.24
SC-156	0.204	19.936	95.00	2.836	0.012	0.130	1.905	5.08	J-130	23.597	4.1	0.24
SC-157	0.023	9.496	95.00	2.945	0.012	0.130	1.905	5.08	J-130	23.597	4.1	0.24
SC-158	0.200	20.644	95.00	3.198	0.012	0.130	1.905	5.08	J-129	23.597	4.1	0.24
SC-159	0.032	10.762	95.00	0.075	0.012	0.130	1.905	5.08	J-57	23.597	4.1	0.24
SC-160	0.572	47.993	95.00	2.213	0.012	0.130	1.905	5.08	J-129	23.597	4.1	0.24
SC-161	0.569	53.994	95.00	2.260	0.012	0.130	1.905	5.08	J-128	23.597	4.1	0.24
SC-162	0.432	47.703	95.00	2.250	0.012	0.130	1.905	5.08	J-127	23.597	4.1	0.24
SC-163	0.140	19.869	95.00	4.035	0.012	0.130	1.905	5.08	J-126	23.597	4.1	0.24
SC-164	0.610	49.237	95.00	4.840	0.012	0.130	1.905	5.08	J-74	23.597	4.1	0.24
SC-165	1.440	73.111	95.00	2.428	0.012	0.130	1.905	5.08	J-74	23.597	4.1	0.24
SC-166	0.351	36.100	95.00	2.446	0.012	0.130	1.905	5.08	J-63	23.597	4.1	0.24
SC-167	1.086	57.926	95.00	2.619	0.012	0.130	1.905	5.08	J-74	23.597	4.1	0.24
SC-168	0.495	41.499	95.00	2.112	0.012	0.130	1.905	5.08	J-65	23.597	4.1	0.24

SC-169	0.856	56.554	95.00	3.614	0.012	0.130	1.905	5.08	J-72	23.597	4.1	0.24
SC-170	0.153	24.292	95.00	4.808	0.012	0.130	1.905	5.08	J-73	23.597	4.1	0.24
SC-171	0.128	22.116	95.00	3.075	0.012	0.130	1.905	5.08	J-72	23.597	4.1	0.24
SC-172	0.748	51.837	95.00	1.852	0.012	0.130	1.905	5.08	J-72	23.597	4.1	0.24
SC-173	0.032	10.884	80.00	2.221	0.012	0.130	1.905	5.08	J-71	23.597	4.1	0.24
SC-174	0.275	34.964	95.00	2.222	0.012	0.130	1.905	5.08	J-70	23.597	4.1	0.24
SC-175	0.288	38.441	95.00	1.791	0.012	0.130	1.905	5.08	J-69	23.597	4.1	0.24
SC-176	0.382	45.437	95.00	3.260	0.012	0.130	1.905	5.08	J-68	23.597	4.1	0.24
SC-177	1.123	65.764	95.00	3.936	0.012	0.130	1.905	5.08	J-66	23.597	4.1	0.24
SC-178	0.260	32.917	95.00	2.599	0.012	0.130	1.905	5.08	J-67	23.597	4.1	0.24
SC-179	0.037	12.525	95.00	1.839	0.012	0.130	1.905	5.08	J-40	23.597	4.1	0.24
SC-180	0.030	11.175	95.00	2.235	0.012	0.130	1.905	5.08	J-39	23.597	4.1	0.24
SC-181	0.261	31.784	95.00	4.228	0.012	0.130	1.905	5.08	J-39	23.597	4.1	0.24
SC-182	0.018	6.426	95.00	3.652	0.012	0.130	1.905	5.08	J-85	23.597	4.1	0.24
SC-183	0.032	10.975	95.00	3.746	0.012	0.130	1.905	5.08	J-85	23.597	4.1	0.24
SC-184	0.131	19.828	95.00	1.778	0.012	0.130	1.905	5.08	J-39	23.597	4.1	0.24
SC-185	0.141	20.936	95.00	2.477	0.012	0.130	1.905	5.08	J-85	23.597	4.1	0.24
SC-186	0.032	11.101	95.00	4.131	0.012	0.130	1.905	5.08	J-84	23.597	4.1	0.24
SC-187	0.033	11.201	95.00	4.716	0.012	0.130	1.905	5.08	J-84	23.597	4.1	0.24
SC-188	0.094	17.788	95.00	3.845	0.012	0.130	1.905	5.08	J-68	23.597	4.1	0.24
SC-189	0.088	17.976	95.00	4.073	0.012	0.130	1.905	5.08	J-84	23.597	4.1	0.24
SC-190	0.030	10.858	95.00	0.405	0.012	0.130	1.905	5.08	J-83	23.597	4.1	0.24
SC-191	0.038	12.166	40.00	1.550	0.012	0.130	1.905	5.08	J-69	23.597	4.1	0.24
SC-192	0.118	18.288	40.00	3.824	0.012	0.130	1.905	5.08	J-81	23.597	4.1	0.24
SC-193	0.025	10.112	40.00	2.807	0.012	0.130	1.905	5.08	J-82	23.597	4.1	0.24
SC-194	0.085	17.671	40.00	4.033	0.012	0.130	1.905	5.08	J-82	23.597	4.1	0.24
SC-195	0.042	13.549	40.00	3.541	0.012	0.130	1.905	5.08	J-83	23.597	4.1	0.24
SC-196	0.088	18.381	94.23	3.268	0.012	0.130	1.905	5.08	J-82	23.597	4.1	0.24
SC-197	0.098	18.962	94.24	4.598	0.012	0.130	1.905	5.08	J-84	23.597	4.1	0.24
SC-198	0.082	18.248	94.25	2.624	0.012	0.130	1.905	5.08	J-87	23.597	4.1	0.24
SC-199	0.086	18.088	94.21	3.493	0.012	0.130	1.905	5.08	J-84	23.597	4.1	0.24
SC-200	0.089	18.484	94.23	2.291	0.012	0.130	1.905	5.08	J-84	23.597	4.1	0.24
SC-201	0.183	26.206	94.46	2.506	0.012	0.130	1.905	5.08	J-85	23.597	4.1	0.24
SC-202	0.178	26.062	95.00	1.699	0.012	0.130	1.905	5.08	J-86	23.597	4.1	0.24
SC-203	0.097	19.427	94.31	3.091	0.012	0.130	1.905	5.08	J-86	23.597	4.1	0.24
SC-204	0.102	19.706	94.29	2.435	0.012	0.130	1.905	5.08	J-33	23.597	4.1	0.24
SC-205	0.227	30.293	95.00	1.648	0.012	0.130	1.905	5.08	J-86	23.597	4.1	0.24
SC-206	0.137	26.609	94.55	1.421	0.012	0.130	1.905	5.08	J-87	23.597	4.1	0.24
SC-207	0.041	12.232	95.00	1.311	0.012	0.130	1.905	5.08	J-82	23.597	4.1	0.24
SC-208	0.086	18.692	95.00	2.756	0.012	0.130	1.905	5.08	J-88	23.597	4.1	0.24
SC-209	0.407	35.728	94.58	1.397	0.012	0.130	1.905	5.08	J-33	23.597	4.1	0.24
SC-210	0.485	41.756	94.67	3.569	0.012	0.130	1.905	5.08	J-33	23.597	4.1	0.24
SC-211	0.124	21.211	95.00	4.758	0.012	0.130	1.905	5.08	J-98	23.597	4.1	0.24
SC-212	0.120	22.072	95.00	4.788	0.012	0.130	1.905	5.08	J-99	23.597	4.1	0.24
SC-213	0.221	30.744	95.00	8.125	0.012	0.130	1.905	5.08	J-100	23.597	4.1	0.24
SC-214	0.320	34.517	95.00	5.128	0.012	0.130	1.905	5.08	J-101	23.597	4.1	0.24
SC-215	0.346	39.503	95.00	5.736	0.012	0.130	1.905	5.08	J-32	23.597	4.1	0.24
SC-216	0.192	29.709	95.00	3.323	0.012	0.130	1.905	5.08	J-32	23.597	4.1	0.24
SC-217	0.099	19.943	94.47	4.146	0.012	0.130	1.905	5.08	J-30	23.597	4.1	0.24
SC-218	0.077	16.689	94.31	4.618	0.012	0.130	1.905	5.08	J-30	23.597	4.1	0.24
SC-219	0.110	21.348	95.00	2.095	0.012	0.130	1.905	5.08	J-30	23.597	4.1	0.24
SC-220	0.056	14.651	95.00	0.270	0.012	0.130	1.905	5.08	J-31	23.597	4.1	0.24
SC-221	0.119	21.637	95.00	3.687	0.012	0.130	1.905	5.08	J-101	23.597	4.1	0.24
SC-222	0.068	16.263	95.00	3.461	0.012	0.130	1.905	5.08	J-102	23.597	4.1	0.24
SC-223	0.158	25.776	95.00	4.283	0.012	0.130	1.905	5.08	J-101	23.597	4.1	0.24
SC-224	0.192	27.457	95.00	8.094	0.012	0.130	1.905	5.08	J-101	23.597	4.1	0.24
SC-225	0.066	16.042	95.00	10.406	0.012	0.130	1.905	5.08	J-100	23.597	4.1	0.24
SC-226	0.251	29.305	95.00	9.276	0.012	0.130	1.905	5.08	J-99	23.597	4.1	0.24
SC-227	0.096	21.090	95.00	5.715	0.012	0.130	1.905	5.08	J-104	23.597	4.1	0.24
SC-228	0.052	13.663	95.00	4.934	0.012	0.130	1.905	5.08	J-104	23.597	4.1	0.24

SC-229	0.175	26.000	95.00	1.845	0.012	0.130	1.905	5.08	J-103	23.597	4.1	0.24
SC-230	0.063	15.525	95.00	2.051	0.012	0.130	1.905	5.08	J-106	23.597	4.1	0.24
SC-231	0.059	16.646	95.00	2.697	0.012	0.130	1.905	5.08	J-105	23.597	4.1	0.24
SC-232	0.090	19.899	95.00	2.779	0.012	0.130	1.905	5.08	J-104	23.597	4.1	0.24
SC-233	0.067	16.135	95.00	4.773	0.012	0.130	1.905	5.08	J-104	23.597	4.1	0.24
SC-234	0.173	26.485	95.00	5.984	0.012	0.130	1.905	5.08	J-94	23.597	4.1	0.24
SC-235	0.221	27.226	95.00	8.328	0.012	0.130	1.905	5.08	J-99	23.597	4.1	0.24
SC-236	0.068	16.190	95.00	6.471	0.012	0.130	1.905	5.08	J-99	23.597	4.1	0.24
SC-237	0.049	14.583	95.00	5.379	0.012	0.130	1.905	5.08	J-95	23.597	4.1	0.24
SC-238	0.026	9.919	95.00	5.202	0.012	0.130	1.905	5.08	J-95	23.597	4.1	0.24
SC-239	0.122	18.847	95.00	6.120	0.012	0.130	1.905	5.08	J-94	23.597	4.1	0.24
SC-240	0.038	10.216	95.00	4.969	0.012	0.130	1.905	5.08	J-93	23.597	4.1	0.24
SC-241	0.043	11.078	95.00	6.487	0.012	0.130	1.905	5.08	J-96	23.597	4.1	0.24
SC-242	0.106	18.362	95.00	8.039	0.012	0.130	1.905	5.08	J-95	23.597	4.1	0.24
SC-243	0.067	16.075	95.00	4.733	0.012	0.130	1.905	5.08	J-97	23.597	4.1	0.24
SC-244	0.163	25.924	95.00	6.861	0.012	0.130	1.905	5.08	J-95	23.597	4.1	0.24
SC-245	0.101	21.555	95.00	3.957	0.012	0.130	1.905	5.08	J-99	23.597	4.1	0.24
SC-246	0.066	15.953	95.00	3.261	0.012	0.130	1.905	5.08	J-99	23.597	4.1	0.24
SC-247	0.263	28.533	95.00	4.827	0.012	0.130	1.905	5.08	J-98	23.597	4.1	0.24
SC-248	0.067	16.140	95.00	2.921	0.012	0.130	1.905	5.08	J-97	23.597	4.1	0.24
SC-249	0.264	28.605	95.00	4.107	0.012	0.130	1.905	5.08	J-98	23.597	4.1	0.24
SC-250	0.068	16.206	95.00	5.264	0.012	0.130	1.905	5.08	J-98	23.597	4.1	0.24
SC-251	0.180	26.836	94.48	1.856	0.012	0.130	1.905	5.08	J-88	23.597	4.1	0.24
SC-252	0.085	19.938	94.43	2.723	0.012	0.130	1.905	5.08	J-89	23.597	4.1	0.24
SC-253	0.196	25.821	95.00	2.754	0.012	0.130	1.905	5.08	J-97	23.597	4.1	0.24
SC-254	0.061	15.307	95.00	3.841	0.012	0.130	1.905	5.08	J-96	23.597	4.1	0.24
SC-255	0.192	25.765	95.00	2.372	0.012	0.130	1.905	5.08	J-92	23.597	4.1	0.24
SC-256	0.064	15.707	94.27	2.697	0.012	0.130	1.905	5.08	J-90	23.597	4.1	0.24
SC-257	0.100	21.524	94.47	3.481	0.012	0.130	1.905	5.08	J-90	23.597	4.1	0.24
SC-258	0.070	16.450	95.00	3.891	0.012	0.130	1.905	5.08	J-91	23.597	4.1	0.24
SC-259	0.112	22.550	95.00	5.855	0.012	0.130	1.905	5.08	J-76	23.597	4.1	0.24
SC-260	0.079	19.193	95.00	4.967	0.012	0.130	1.905	5.08	J-80	23.597	4.1	0.24
SC-261	0.087	20.156	94.40	3.008	0.012	0.130	1.905	5.08	J-89	23.597	4.1	0.24
SC-262	0.069	16.307	95.00	1.268	0.012	0.130	1.905	5.08	J-89	23.597	4.1	0.24
SC-263	0.069	16.317	95.00	0.000	0.012	0.130	1.905	5.08	J-89	23.597	4.1	0.24
SC-264	0.043	13.331	95.00	0.270	0.012	0.130	1.905	5.08	J-79	23.597	4.1	0.24
SC-265	0.147	23.758	94.43	0.090	0.012	0.130	1.905	5.08	J-88	23.597	4.1	0.24
SC-266	0.074	16.800	95.00	3.539	0.012	0.130	1.905	5.08	J-88	23.597	4.1	0.24
SC-267	0.103	21.643	95.00	2.586	0.012	0.130	1.905	5.08	J-81	23.597	4.1	0.24
SC-268	0.070	16.405	95.00	5.951	0.012	0.130	1.905	5.08	J-81	23.597	4.1	0.24
SC-269	0.168	24.909	95.00	4.818	0.012	0.130	1.905	5.08	J-81	23.597	4.1	0.24
SC-270	0.071	16.679	95.00	2.384	0.012	0.130	1.905	5.08	J-70	23.597	4.1	0.24
SC-271	0.100	21.554	95.00	3.421	0.012	0.130	1.905	5.08	J-78	23.597	4.1	0.24
SC-272	0.070	17.898	95.00	5.482	0.012	0.130	1.905	5.08	J-79	23.597	4.1	0.24
SC-273	0.060	15.138	95.00	3.338	0.012	0.130	1.905	5.08	J-78	23.597	4.1	0.24
SC-274	0.114	20.917	95.00	4.663	0.012	0.130	1.905	5.08	J-71	23.597	4.1	0.24
SC-275	0.050	13.987	95.00	6.609	0.012	0.130	1.905	5.08	J-77	23.597	4.1	0.24
SC-276	0.114	21.012	95.00	4.731	0.012	0.130	1.905	5.08	J-78	23.597	4.1	0.24
SC-277	0.102	19.131	95.00	6.067	0.012	0.130	1.905	5.08	J-78	23.597	4.1	0.24
SC-278	0.038	12.006	95.00	3.796	0.012	0.130	1.905	5.08	J-79	23.597	4.1	0.24
SC-279	0.042	14.115	95.00	2.913	0.012	0.130	1.905	5.08	J-79	23.597	4.1	0.24
SC-280	0.068	17.651	95.00	5.480	0.012	0.130	1.905	5.08	J-80	23.597	4.1	0.24
SC-281	0.041	12.481	95.00	5.494	0.012	0.130	1.905	5.08	J-76	23.597	4.1	0.24
SC-282	0.076	17.193	95.00	5.072	0.012	0.130	1.905	5.08	J-76	23.597	4.1	0.24
SC-283	0.072	18.132	95.00	2.834	0.012	0.130	1.905	5.08	J-76	23.597	4.1	0.24
SC-284	0.079	18.831	95.00	5.783	0.012	0.130	1.905	5.08	J-77	23.597	4.1	0.24
SC-285	0.077	17.093	95.00	5.671	0.012	0.130	1.905	5.08	J-73	23.597	4.1	0.24
SC-286	0.148	24.480	95.00	6.973	0.012	0.130	1.905	5.08	J-75	23.597	4.1	0.24
SC-287	0.243	31.274	95.00	9.546	0.012	0.130	1.905	5.08	J-75	23.597	4.1	0.24
SC-288	0.713	52.160	95.00	4.924	0.012	0.130	1.905	5.08	J-74	23.597	4.1	0.24

SC-289	0.472	42.714	95.00	4.039	0.012	0.130	1.905	5.08	J-123	23.597	4.1	0.24
SC-290	0.729	59.975	95.00	3.904	0.012	0.130	1.905	5.08	J-91	23.597	4.1	0.24
SC-291	0.422	39.516	95.00	3.715	0.012	0.130	1.905	5.08	J-91	23.597	4.1	0.24
SC-292	0.910	60.338	95.00	2.987	0.012	0.130	1.905	5.08	J-120	23.597	4.1	0.24
SC-293	0.533	48.448	95.00	4.052	0.012	0.130	1.905	5.08	J-92	23.597	4.1	0.24
SC-294	0.305	39.801	95.00	5.939	0.012	0.130	1.905	5.08	J-93	23.597	4.1	0.24
SC-295	0.291	36.137	40.00	6.335	0.012	0.130	1.905	5.08	J-94	23.597	4.1	0.24
SC-296	0.156	24.527	40.00	5.985	0.012	0.130	1.905	5.08	J-94	23.597	4.1	0.24
SC-297	0.745	43.744	50.00	4.085	0.012	0.130	1.905	5.08	J-106	23.597	4.1	0.24
SC-298	0.081	17.580	95.00	1.172	0.012	0.130	1.905	5.08	J-120	23.597	4.1	0.24
SC-299	0.458	32.859	40.00	3.591	0.012	0.130	1.905	5.08	J-106	23.597	4.1	0.24
SC-300	0.084	18.034	95.00	1.670	0.012	0.130	1.905	5.08	J-106	23.597	4.1	0.24
SC-301	0.036	11.463	95.00	0.854	0.012	0.130	1.905	5.08	J-107	23.597	4.1	0.24
SC-302	0.321	34.016	95.00	3.604	0.012	0.130	1.905	5.08	J-108	23.597	4.1	0.24
SC-303	0.076	19.850	95.00	4.336	0.012	0.130	1.905	5.08	J-109	23.597	4.1	0.24
SC-304	0.111	20.470	95.00	3.025	0.012	0.130	1.905	5.08	J-110	23.597	4.1	0.24
SC-305	0.255	30.239	95.00	3.517	0.012	0.130	1.905	5.08	J-108	23.597	4.1	0.24
SC-306	0.083	18.079	95.00	3.268	0.012	0.130	1.905	5.08	J-114	23.597	4.1	0.24
SC-307	0.252	30.305	95.00	3.636	0.012	0.130	1.905	5.08	J-114	23.597	4.1	0.24
SC-308	0.012	6.626	95.00	3.918	0.012	0.130	1.905	5.08	J-111	23.597	4.1	0.24
SC-309	0.047	12.597	95.00	4.256	0.012	0.130	1.905	5.08	J-112	23.597	4.1	0.24
SC-310	0.106	13.747	95.00	3.649	0.012	0.130	1.905	5.08	J-114	23.597	4.1	0.24
SC-311	0.011	6.481	95.00	1.328	0.012	0.130	1.905	5.08	J-114	23.597	4.1	0.24
SC-312	0.061	13.024	95.00	2.439	0.012	0.130	1.905	5.08	J-113	23.597	4.1	0.24
SC-313	0.099	19.506	95.00	3.081	0.012	0.130	1.905	5.08	J-113	23.597	4.1	0.24
SC-314	0.118	21.531	95.00	3.089	0.012	0.130	1.905	5.08	J-115	23.597	4.1	0.24
SC-315	0.099	19.674	95.00	2.935	0.012	0.130	1.905	5.08	J-115	23.597	4.1	0.24
SC-316	0.119	21.600	95.00	2.404	0.012	0.130	1.905	5.08	J-116	23.597	4.1	0.24
SC-317	0.118	21.285	95.00	5.332	0.012	0.130	1.905	5.08	J-116	23.597	4.1	0.24
SC-318	0.186	27.517	95.00	5.961	0.012	0.130	1.905	5.08	J-116	23.597	4.1	0.24
SC-319	0.117	21.147	95.00	5.094	0.012	0.130	1.905	5.08	J-117	23.597	4.1	0.24
SC-320	0.175	26.285	95.00	4.656	0.012	0.130	1.905	5.08	J-112	23.597	4.1	0.24
SC-321	0.036	11.730	95.00	3.482	0.012	0.130	1.905	5.08	J-111	23.597	4.1	0.24
SC-322	0.138	20.951	95.00	2.638	0.012	0.130	1.905	5.08	J-110	23.597	4.1	0.24
SC-323	0.036	11.707	95.00	4.134	0.012	0.130	1.905	5.08	J-109	23.597	4.1	0.24
SC-324	0.148	20.633	95.00	2.811	0.012	0.130	1.905	5.08	J-118	23.597	4.1	0.24
SC-325	0.510	50.031	95.00	3.551	0.012	0.130	1.905	5.08	J-118	23.597	4.1	0.24
SC-326	0.195	27.130	95.00	2.679	0.012	0.130	1.905	5.08	J-117	23.597	4.1	0.24
SC-327	2.063	90.329	40.00	3.790	0.012	0.130	1.905	5.08	J-117	23.597	4.1	0.24
SC-328	1.196	67.986	40.00	3.601	0.012	0.130	1.905	5.08	J-142	23.597	4.1	0.24
SC-329	1.843	86.590	95.00	4.921	0.012	0.130	1.905	5.08	J-119	23.597	4.1	0.24
SC-330	0.080	17.486	95.00	2.945	0.012	0.130	1.905	5.08	J-140	23.597	4.1	0.24
SC-331	0.587	31.160	95.00	3.979	0.012	0.130	1.905	5.08	J-119	23.597	4.1	0.24
SC-332	0.072	14.948	95.00	2.344	0.012	0.130	1.905	5.08	J-120	23.597	4.1	0.24
SC-333	0.674	38.794	95.00	3.552	0.012	0.130	1.905	5.08	J-120	23.597	4.1	0.24
SC-334	0.098	19.487	95.00	2.474	0.012	0.130	1.905	5.08	J-139	23.597	4.1	0.24
SC-335	0.597	35.210	95.00	2.978	0.012	0.130	1.905	5.08	J-120	23.597	4.1	0.24
SC-336	0.107	20.318	95.00	1.447	0.012	0.130	1.905	5.08	J-120	23.597	4.1	0.24
SC-337	0.623	39.742	95.00	3.385	0.012	0.130	1.905	5.08	J-121	23.597	4.1	0.24
SC-338	0.094	19.091	95.00	3.686	0.012	0.130	1.905	5.08	J-138	23.597	4.1	0.24
SC-339	0.553	36.059	95.00	4.550	0.012	0.130	1.905	5.08	J-121	23.597	4.1	0.24
SC-340	0.100	19.167	95.00	1.752	0.012	0.130	1.905	5.08	J-121	23.597	4.1	0.24
SC-341	0.518	37.156	95.00	3.222	0.012	0.130	1.905	5.08	J-122	23.597	4.1	0.24
SC-342	0.083	18.076	95.00	1.820	0.012	0.130	1.905	5.08	J-137	23.597	4.1	0.24
SC-343	0.452	33.099	95.00	2.520	0.012	0.130	1.905	5.08	J-122	23.597	4.1	0.24
SC-344	0.086	17.482	95.00	2.202	0.012	0.130	1.905	5.08	J-123	23.597	4.1	0.24
SC-345	0.384	31.074	95.00	1.804	0.012	0.130	1.905	5.08	J-123	23.597	4.1	0.24
SC-346	0.101	20.046	95.00	0.135	0.012	0.130	1.905	5.08	J-136	23.597	4.1	0.24
SC-347	0.385	32.308	95.00	2.692	0.012	0.130	1.905	5.08	J-123	23.597	4.1	0.24
SC-348	0.089	14.945	95.00	1.350	0.012	0.130	1.905	5.08	J-123	23.597	4.1	0.24

SC-349	0.316	33.003	95.00	3.204	0.012	0.130	1.905	5.08	J-124	23.597	4.1	0.24
SC-350	0.099	19.673	95.00	1.618	0.012	0.130	1.905	5.08	J-135	23.597	4.1	0.24
SC-351	0.279	29.832	95.00	3.273	0.012	0.130	1.905	5.08	J-124	23.597	4.1	0.24
SC-352	0.097	19.013	95.00	5.745	0.012	0.130	1.905	5.08	J-124	23.597	4.1	0.24
SC-353	0.252	30.750	95.00	3.924	0.012	0.130	1.905	5.08	J-125	23.597	4.1	0.24
SC-354	0.098	19.700	95.00	1.488	0.012	0.130	1.905	5.08	J-135	23.597	4.1	0.24
SC-355	0.231	28.716	95.00	1.887	0.012	0.130	1.905	5.08	J-125	23.597	4.1	0.24
SC-356	0.095	19.149	95.00	1.952	0.012	0.130	1.905	5.08	J-126	23.597	4.1	0.24
SC-357	0.228	29.104	95.00	1.154	0.012	0.130	1.905	5.08	J-127	23.597	4.1	0.24
SC-358	0.097	19.530	95.00	1.247	0.012	0.130	1.905	5.08	J-134	23.597	4.1	0.24
SC-359	0.201	26.162	95.00	0.983	0.012	0.130	1.905	5.08	J-127	23.597	4.1	0.24
SC-360	0.098	18.959	95.00	1.582	0.012	0.130	1.905	5.08	J-127	23.597	4.1	0.24
SC-361	0.162	25.895	95.00	2.631	0.012	0.130	1.905	5.08	J-128	23.597	4.1	0.24
SC-362	0.125	20.731	95.00	2.802	0.012	0.130	1.905	5.08	J-128	23.597	4.1	0.24
SC-363	0.098	18.823	95.00	2.704	0.012	0.130	1.905	5.08	J-128	23.597	4.1	0.24
SC-364	0.091	19.534	95.00	2.711	0.012	0.130	1.905	5.08	J-131	23.597	4.1	0.24
SC-365	0.095	19.333	95.00	0.628	0.012	0.130	1.905	5.08	J-133	23.597	4.1	0.24
SC-366	0.423	34.420	95.00	2.400	0.012	0.130	1.905	5.08	J-11	23.597	4.1	0.24
SC-367	0.627	58.200	95.00	2.530	0.012	0.130	1.905	5.08	J-10	23.597	4.1	0.24

PARAMETROS DE LAS CONDUCCIONES

Conducción	Inicio	Fin	Longitud	Coefficiente de rugosidad	Sección
Condu-01	J-01	J-02	298.406	0.013	Seccion_50
Condu-02	J-03	J-02	292.216	0.013	Seccion_50
Condu-03	J-03	J-04	77.419	0.013	Seccion_50
Condu-04	J-05	J-04	304.314	0.013	Seccion_50
Condu-05	J-06	J-05	99.203	0.013	Seccion_50
Condu-06	J-06	J-03	272.701	0.013	Seccion_Tipica
Condu-07	J-06	J-07	78.979	0.013	Seccion_50
Condu-08	J-07	J-08	31.114	0.013	Seccion_50
Condu-09	J-08	J-09	92.216	0.013	Seccion_Tipica
Condu-10	J-09	J-10	69.545	0.013	Seccion_16
Condu-11	J-10	J-11	64.416	0.013	Seccion_16
Condu-12	J-11	J-12	98.831	0.013	Seccion_16
Condu-13	J-12	J-02	156.902	0.013	Seccion_13
Condu-14	J-13	J-12	35.808	0.013	Seccion_13
Condu-15	J-14	J-13	136.077	0.013	Seccion_16
Condu-16	J-15	J-14	143.450	0.013	Seccion_16
Condu-17	J-15	J-01	117.993	0.013	Seccion_50
Condu-18	J-16	J-15	159.040	0.013	Seccion_50
Condu-19	J-17	J-16	37.628	0.013	Seccion_50
Condu-20	J-16	J-18	49.812	0.013	Seccion_50
Condu-21	J-18	J-19	20.500	0.013	Seccion_16
Condu-22	J-18	J-20	122.503	0.013	Seccion_50
Condu-23	J-20	J-21	24.485	0.013	Seccion_50
Condu-24	J-21	J-14	160.552	0.013	Seccion_16
Condu-25	J-21	J-22	41.668	0.013	Seccion_50
Condu-26	J-22	J-23	65.712	0.013	Seccion_50
Condu-27	J-23	J-13	122.710	0.013	Seccion_13
Condu-28	J-23	J-24	91.032	0.013	Seccion_50
Condu-29	J-24	J-25	27.337	0.013	Seccion_50
Condu-30	J-25	J-26	61.287	0.013	Seccion_50
Condu-31	J-26	J-11	97.514	0.013	Seccion_Tipica
Condu-32	J-27	J-26	35.169	0.013	Seccion_50
Condu-33	J-27	J-28	25.595	0.013	Seccion_50

Condu-34	J-28	J-10	94.933	0.013	Seccion_Tipica
Condu-35	J-28	J-29	40.161	0.013	Seccion_50
Condu-36	J-29	J-08	33.119	0.013	Seccion_50
Condu-37	J-30	J-29	132.350	0.013	Seccion_Tipica
Condu-38	J-31	J-30	65.152	0.013	Seccion_Tipica
Condu-39	J-31	J-07	128.312	0.013	Seccion_Tipica
Condu-40	J-102	J-31	46.902	0.013	Seccion_Tipica
Condu-41	J-102	J-101	71.410	0.013	Seccion_Tipica
Condu-42	J-101	J-30	59.831	0.013	Seccion_Tipica
Condu-43	J-30	J-32	67.867	0.013	Seccion_Tipica
Condu-44	J-32	J-27	136.155	0.013	Seccion_Tipica
Condu-45	J-33	J-32	102.290	0.013	Seccion_Tipica
Condu-46	J-33	J-34	35.259	0.013	Seccion_Tipica
Condu-47	J-34	J-35	33.854	0.013	Seccion_Tipica
Condu-48	J-35	J-25	64.567	0.013	Seccion_Tipica
Condu-49	J-36	J-35	67.199	0.013	Seccion_13
Condu-50	J-36	J-24	74.223	0.013	Seccion_Tipica
Condu-51	J-37	J-36	45.742	0.013	Seccion_Tipica
Condu-52	J-37	J-34	95.920	0.013	Seccion_16
Condu-53	J-38	J-37	36.059	0.013	Seccion_Tipica
Condu-54	J-85	J-38	9.858	0.013	Seccion_Tipica
Condu-55	J-39	J-38	36.511	0.013	Seccion_Tipica
Condu-56	J-39	J-40	26.727	0.013	Seccion_50
Condu-57	J-40	J-23	105.897	0.013	Seccion_13
Condu-58	J-41	J-40	46.691	0.013	Seccion_16
Condu-59	J-41	J-42	43.088	0.013	Seccion_16
Condu-60	J-42	J-22	39.262	0.013	Seccion_16
Condu-61	J-43	J-42	53.054	0.013	Seccion_16
Condu-62	J-43	J-20	31.637	0.013	Seccion_16
Condu-63	J-44	J-43	35.663	0.013	Seccion_16
Condu-64	J-44	J-41	37.225	0.013	Seccion_16
Condu-65	J-45	J-44	20.605	0.013	Seccion_16
Condu-66	J-19	J-45	108.005	0.013	Seccion_16
Condu-67	J-46	J-45	27.437	0.013	Seccion_16
Condu-68	J-47	J-46	99.193	0.013	Seccion_16
Condu-69	J-48	J-47	114.828	0.013	Seccion_16
Condu-70	J-48	J-17	200.860	0.013	Seccion_16
Condu-71	J-49	J-48	243.264	0.013	Seccion_16
Condu-72	J-50	J-49	122.096	0.013	Seccion_16
Condu-73	J-51	J-50	56.541	0.013	Seccion_16
Condu-74	J-51	J-60	90.302	0.013	Seccion_16
Condu-75	J-59	J-60	40.341	0.013	Seccion_Tipica
Condu-76	J-58	J-59	51.499	0.013	Seccion_Tipica
Condu-77	J-52	J-59	101.158	0.013	Seccion_Tipica
Condu-78	J-52	J-51	41.826	0.013	Seccion_16
Condu-79	J-53	J-52	49.189	0.013	Seccion_16
Condu-80	J-53	J-58	113.805	0.013	Seccion_Tipica
Condu-81	J-54	J-53	76.038	0.013	Seccion_16
Condu-82	J-54	J-55	165.669	0.013	Seccion_50
Condu-83	J-55	J-132	156.931	0.013	Seccion_50
Condu-84	J-55	J-56	47.395	0.013	Seccion_13
Condu-85	J-56	J-130	147.275	0.013	Seccion_16
Condu-86	J-56	J-57	36.634	0.013	Seccion_13
Condu-87	J-58	J-57	45.214	0.013	Seccion_Tipica
Condu-88	J-57	J-129	137.722	0.013	Seccion_16
Condu-89	J-57	J-61	49.838	0.013	Seccion_13
Condu-90	J-59	J-61	52.392	0.013	Seccion_Tipica
Condu-91	J-61	J-62	41.073	0.013	Seccion_13
Condu-92	J-60	J-62	58.518	0.013	Seccion_16

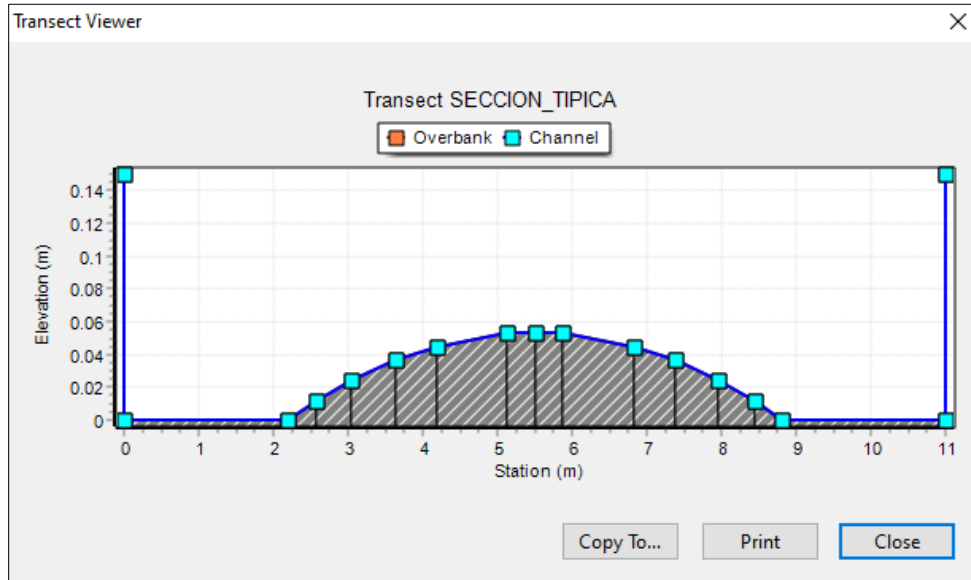
Condu-93	J-62	J-63	29.613	0.013	Seccion_13
Condu-94	J-63	J-74	261.202	0.013	Seccion_16
Condu-95	J-63	J-64	27.785	0.013	Seccion_13
Condu-96	J-50	J-64	145.076	0.013	Seccion_16
Condu-97	J-64	J-65	126.490	0.013	Seccion_13
Condu-98	J-49	J-65	168.501	0.013	Seccion_16
Condu-99	J-65	J-72	195.115	0.013	Seccion_16
Condu-100	J-65	J-66	228.979	0.013	Seccion_13
Condu-101	J-47	J-66	120.581	0.013	Seccion_16
Condu-102	J-66	J-67	90.388	0.013	Seccion_13
Condu-103	J-46	J-67	91.814	0.013	Seccion_16
Condu-104	J-67	J-40	30.418	0.013	Seccion_13
Condu-105	J-67	J-39	29.942	0.013	Seccion_50
Condu-106	J-39	J-85	36.478	0.013	Seccion_Tipica
Condu-107	J-68	J-39	91.648	0.013	Seccion_50
Condu-108	J-68	J-84	36.542	0.013	Seccion_Tipica
Condu-109	J-69	J-68	72.309	0.013	Seccion_50
Condu-110	J-69	J-83	34.688	0.013	Seccion_Tipica
Condu-111	J-70	J-69	38.148	0.013	Seccion_50
Condu-112	J-70	J-81	90.505	0.013	Seccion_Tipica
Condu-113	J-71	J-70	52.804	0.013	Seccion_50
Condu-114	J-71	J-78	50.374	0.013	Seccion_Tipica
Condu-115	J-72	J-71	25.592	0.013	Seccion_50
Condu-116	J-73	J-72	47.213	0.013	Seccion_50
Condu-117	J-73	J-77	43.702	0.013	Seccion_16
Condu-118	J-74	J-73	56.377	0.013	Seccion_50
Condu-119	J-74	J-75	78.099	0.013	Seccion_Tipica
Condu-120	J-75	J-76	55.122	0.013	Seccion_Tipica
Condu-121	J-76	J-80	42.874	0.013	Seccion_Tipica
Condu-122	J-77	J-76	40.505	0.013	Seccion_16
Condu-123	J-77	J-78	72.034	0.013	Seccion_16
Condu-124	J-78	J-79	40.420	0.013	Seccion_Tipica
Condu-125	J-80	J-79	28.680	0.013	Seccion_Tipica
Condu-126	J-79	J-81	52.796	0.013	Seccion_Tipica
Condu-127	J-81	J-82	29.269	0.013	Seccion_Tipica
Condu-128	J-82	J-87	53.368	0.013	Seccion_Tipica
Condu-129	J-83	J-82	59.485	0.013	Seccion_Tipica
Condu-130	J-83	J-84	65.875	0.013	Seccion_Tipica
Condu-131	J-87	J-84	59.743	0.013	Seccion_Tipica
Condu-132	J-84	J-85	92.973	0.013	Seccion_Tipica
Condu-133	J-85	J-86	61.043	0.013	Seccion_Tipica
Condu-134	J-87	J-86	90.251	0.013	Seccion_Tipica
Condu-135	J-86	J-33	64.636	0.013	Seccion_Tipica
Condu-136	J-88	J-33	156.340	0.013	Seccion_Tipica
Condu-137	J-81	J-88	55.431	0.013	Seccion_Tipica
Condu-138	J-89	J-88	81.934	0.013	Seccion_Tipica
Condu-139	J-80	J-89	52.384	0.013	Seccion_16
Condu-140	J-90	J-89	45.984	0.013	Seccion_Tipica
Condu-141	J-91	J-90	51.333	0.013	Seccion_Tipica
Condu-142	J-91	J-92	101.732	0.013	Seccion_Tipica
Condu-143	J-92	J-93	49.186	0.013	Seccion_Tipica
Condu-144	J-93	J-94	88.118	0.013	Seccion_Tipica
Condu-145	J-95	J-94	31.910	0.013	Seccion_Tipica
Condu-146	J-96	J-95	76.176	0.013	Seccion_Tipica
Condu-147	J-92	J-96	49.076	0.013	Seccion_Tipica
Condu-148	J-96	J-97	51.871	0.013	Seccion_Tipica
Condu-149	J-90	J-97	52.178	0.013	Seccion_Tipica
Condu-150	J-97	J-98	127.751	0.013	Seccion_Tipica
Condu-151	J-88	J-98	52.390	0.013	Seccion_Tipica

Condu-152	J-98	J-99	51.292	0.013	Seccion_Tipica
Condu-153	J-95	J-99	52.131	0.013	Seccion_Tipica
Condu-154	J-99	J-100	52.054	0.013	Seccion_Tipica
Condu-155	J-100	J-101	87.809	0.013	Seccion_Tipica
Condu-156	J-104	J-99	111.015	0.013	Seccion_Tipica
Condu-157	J-105	J-104	52.361	0.013	Seccion_Tipica
Condu-158	J-105	J-94	79.152	0.013	Seccion_Tipica
Condu-159	J-106	J-105	36.200	0.013	Seccion_Tipica
Condu-160	J-107	J-106	49.964	0.013	Seccion_Tipica
Condu-161	J-107	J-103	88.089	0.013	Seccion_Tipica
Condu-162	J-103	J-104	49.339	0.013	Seccion_Tipica
Condu-163	J-103	J-102	52.195	0.013	Seccion_Tipica
Condu-164	J-108	J-107	24.906	0.013	Seccion_Tipica
Condu-165	J-109	J-108	114.443	0.013	Seccion_Tipica
Condu-166	J-108	J-114	56.017	0.013	Seccion_Tipica
Condu-167	J-110	J-114	111.457	0.013	Seccion_16
Condu-168	J-114	J-113	20.795	0.013	Seccion_Tipica
Condu-169	J-113	J-06	318.627	0.013	Seccion_Tipica
Condu-170	J-112	J-113	63.066	0.013	Seccion_Tipica
Condu-171	J-113	J-115	69.305	0.013	Seccion_Tipica
Condu-172	J-115	J-05	290.071	0.013	Seccion_50
Condu-173	J-116	J-115	61.907	0.013	Seccion_50
Condu-174	J-112	J-116	69.264	0.013	Seccion_Tipica
Condu-175	J-117	J-116	86.286	0.013	Seccion_50
Condu-176	J-142	J-117	298.203	0.013	Seccion_50
Condu-177	J-118	J-117	69.200	0.013	Seccion_50
Condu-178	J-119	J-118	100.626	0.013	Seccion_50
Condu-179	J-118	J-111	37.814	0.013	Seccion_Tipica
Condu-180	J-111	J-112	48.278	0.013	Seccion_Tipica
Condu-181	J-110	J-111	21.939	0.013	Seccion_16
Condu-182	J-109	J-110	68.661	0.013	Seccion_16
Condu-183	J-119	J-109	38.705	0.013	Seccion_Tipica
Condu-184	J-141	J-119	274.528	0.013	Seccion_Tipica
Condu-185	J-119	J-120	60.311	0.013	Seccion_50
Condu-186	J-120	J-106	204.596	0.013	Seccion_16
Condu-187	J-140	J-120	244.187	0.013	Seccion_Tipica
Condu-188	J-121	J-120	64.487	0.013	Seccion_50
Condu-189	J-139	J-121	219.507	0.013	Seccion_Tipica
Condu-190	J-122	J-121	65.500	0.013	Seccion_50
Condu-191	J-138	J-122	194.484	0.013	Seccion_Tipica
Condu-192	J-122	J-123	63.706	0.013	Seccion_50
Condu-193	J-123	J-91	135.823	0.013	Seccion_Tipica
Condu-194	J-75	J-91	53.809	0.013	Seccion_Tipica
Condu-195	J-137	J-123	170.953	0.013	Seccion_Tipica
Condu-196	J-124	J-123	71.924	0.013	Seccion_50
Condu-197	J-136	J-124	129.702	0.013	Seccion_Tipica
Condu-198	J-125	J-124	64.012	0.013	Seccion_50
Condu-199	J-135	J-125	108.793	0.013	Seccion_Tipica
Condu-200	J-125	J-126	22.782	0.013	Seccion_50
Condu-201	J-126	J-74	166.468	0.013	Seccion_50
Condu-202	J-127	J-126	39.230	0.013	Seccion_16
Condu-203	J-134	J-127	104.824	0.013	Seccion_Tipica
Condu-204	J-128	J-127	64.946	0.013	Seccion_16
Condu-205	J-133	J-128	79.891	0.013	Seccion_Tipica
Condu-206	J-131	J-128	66.377	0.013	Seccion_16
Condu-207	J-130	J-131	17.590	0.013	Seccion_Tipica
Condu-208	J-129	J-130	30.458	0.013	Seccion_Tipica
Condu-209	J-132	J-131	54.369	0.013	Seccion_Tipica
Condu-210	J-132	J-133	60.669	0.013	Seccion_50

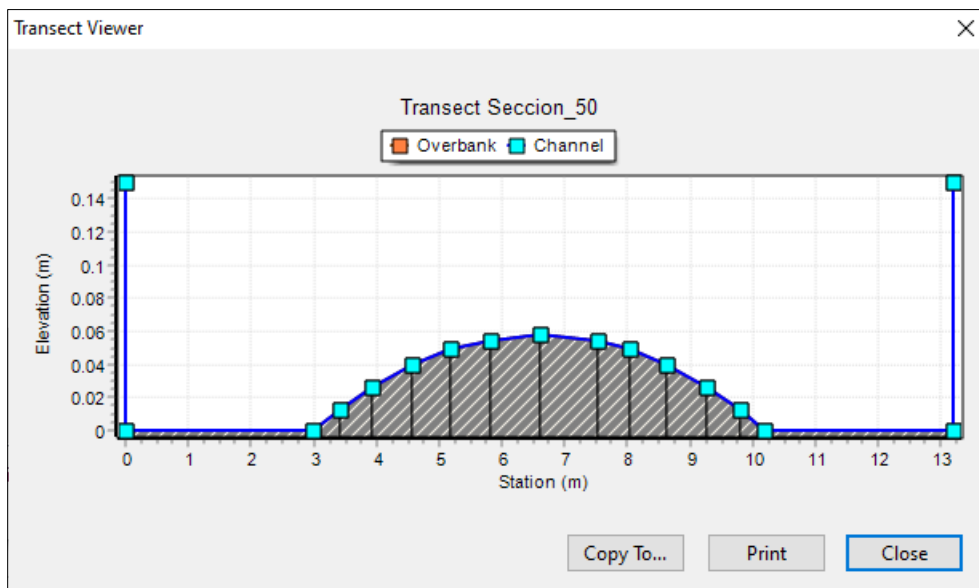
Condu-211	J-133	J-134	61.266	0.013	Seccion_50
Condu-212	J-134	J-135	60.456	0.013	Seccion_50
Condu-213	J-136	J-135	61.433	0.013	Seccion_50
Condu-214	J-137	J-136	60.901	0.013	Seccion_50
Condu-215	J-138	J-137	55.956	0.013	Seccion_50
Condu-216	J-139	J-138	61.461	0.013	Seccion_50
Condu-217	J-140	J-139	62.526	0.013	Seccion_50
Condu-218	J-141	J-140	56.976	0.013	Seccion_50
Condu-219	J-141	J-142	232.130	0.013	Seccion_50
Condu-220	J-04	Bz_Salida_1	37.470	0.013	Seccion_50
Condu-221	J-02	Bz_Salida_2	70.000	0.013	Seccion_13

SECCIÓN DE LAS CONDUCCIONES (CALLES)

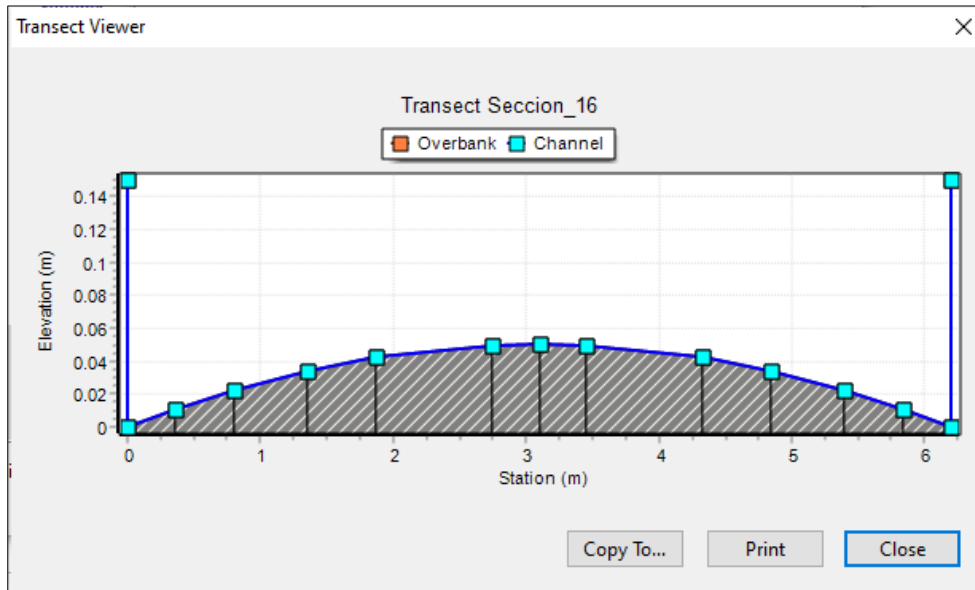
Sección_Típica



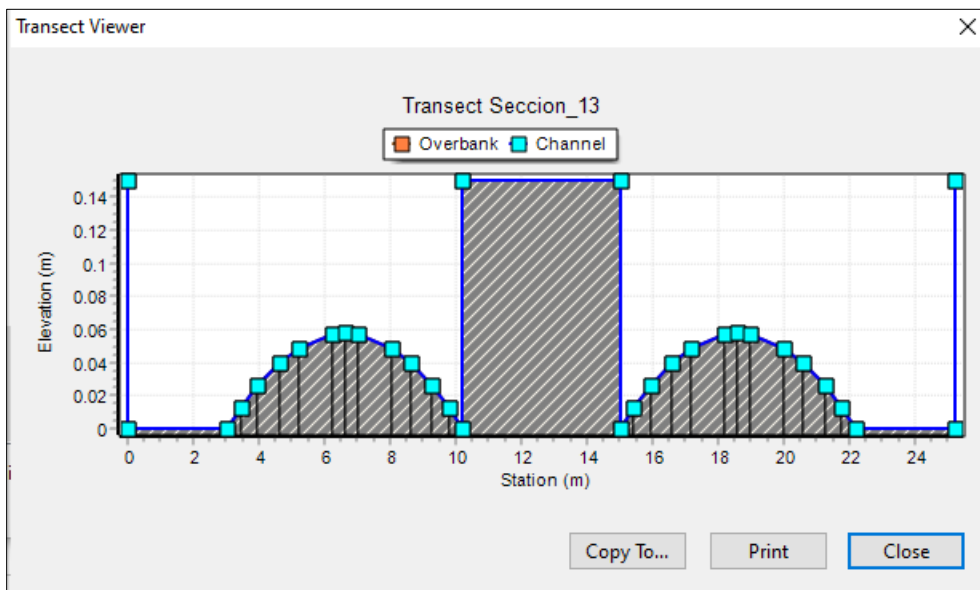
Seccion_50



Seccion_16



Seccion_13



PARAMETROS DE LOS NODOS DE SALIDA

Unión	Elevación
Bz_Salida_1	567.120
Bz_Salida_2	565.059

PARAMETROS DE LAS UNIONES

Unión	Elevación
J-01	569.460
J-02	566.610
J-03	568.151
J-04	567.301
J-05	576.374
J-06	577.102
J-07	574.105
J-08	574.023
J-09	571.982
J-10	571.759
J-11	571.373
J-12	570.461
J-13	571.590
J-14	572.984
J-15	573.624
J-16	578.875
J-17	579.598
J-18	578.211
J-19	578.012
J-20	576.265
J-21	575.758
J-22	575.169
J-23	574.583
J-24	573.774
J-25	573.695
J-26	574.101
J-27	574.324
J-28	574.227
J-29	574.198
J-30	577.541
J-31	577.886
J-32	577.034
J-33	576.321
J-34	575.585
J-35	574.635
J-36	574.816
J-37	575.720
J-38	576.571
J-39	576.596
J-40	576.257
J-41	577.057
J-42	576.087
J-43	576.987
J-44	577.435
J-45	577.785
J-46	578.561
J-47	583.343
J-48	584.528
J-49	589.545
J-50	591.245
J-51	592.510

J-52	593.997
J-53	595.240
J-54	596.510
J-55	595.110
J-56	593.812
J-57	593.099
J-58	594.349
J-59	592.345
J-60	591.258
J-61	591.927
J-62	590.885
J-63	590.224
J-64	589.726
J-65	586.115
J-66	579.437
J-67	577.101
J-68	579.194
J-69	581.246
J-70	582.223
J-71	583.513
J-72	583.874
J-73	585.000
J-74	586.601
J-75	586.284
J-76	584.731
J-77	584.928
J-78	583.215
J-79	582.786
J-80	583.559
J-81	581.398
J-82	580.360
J-83	580.834
J-84	578.952
J-85	576.571
J-86	576.498
J-87	578.983
J-88	581.079
J-89	583.212
J-90	584.388
J-91	585.762
J-92	585.428
J-93	584.654
J-94	582.250
J-95	582.125
J-96	584.461
J-97	584.382
J-98	581.025
J-99	580.668
J-100	579.234
J-101	579.140
J-102	579.979
J-103	581.609
J-104	580.982
J-105	582.575
J-106	583.595
J-107	584.235
J-108	584.985
J-109	587.671
J-110	586.966

J-111	586.757
J-112	585.659
J-113	584.774
J-114	584.830
J-115	583.532
J-116	585.014
J-117	586.945
J-118	587.906
J-119	588.575
J-120	588.300
J-121	589.426
J-122	590.945
J-123	589.604
J-124	590.055
J-125	590.835
J-126	590.825
J-127	591.821
J-128	592.715
J-129	594.325
J-130	594.104
J-131	593.424
J-132	594.324
J-133	594.195
J-134	593.925
J-135	593.725
J-136	593.845
J-137	594.024
J-138	594.451
J-139	594.871
J-140	595.432
J-141	596.264
J-142	593.050

ANEXO 5:
TIPOS DE LOS SUDS Y SU APLICACION
EN SUBCUENCAS

SUBCUENCAS INTERVENIDAS POR LA APLICACIÓN DE LOS SUDS

Zona	Subcuenca	Medida de drenaje sostenible		% Corrección en área impermeable
		Pavimento permeable continuo (m2)	Zanja de infiltración (m2)	
Calle Gregorio Albarracín	SC-15	424.38		8.69
	SC-20	140.46		15.77
	SC-21	168.72		13.56
	SC-25	65.73		5.44
	SC-46	148.11		15.11
	SC-50	145.2		14.15
	SC-54	206.4		9.07
	SC-60	44.4		19.83
	SC-76	174.63		23.36
Calle N° 44	SC-24	171.16		8.8
	SC-26	165.528		8.91
Calle N° 07	SC-44	245.564		12.67
	SC-47	238.524		7.99
Calle N° 04	SC-49	244.882		8.06
	SC-51	251.68		7.95
	SC-217	95.062		10.1
	SC-218	93.83		12.79
Calle Jesús María	SC-57	62.194		7.24
	SC-58	73.084		5.97
	SC-59	111.078		5.76
	SC-62	106.304		12.36
	SC-66	46.618		16.9
	SC-69	50.27		17.26
	SC-209	312.07		8.07
	SC-210	301.18		6.53
Jirón 07 de junio	SC-61	119.262		11.89
	SC-64	62.458		16.45
	SC-72	57.772		12.37
	SC-73	64.614		39.94
	SC-74	70.972		10.19
	SC-75		102.652	21.07
	SC-78	61.204		16.9
Área total (m2) =		4523.34	102.652	

ANEXO 6:
RESULTADOS DE LAS
SIMULACIONES PARA EL
ESCENARIO 1 Y ESCENARIO 2

RESULTADOS DE LA SIMULACION DEL ESCENARIO 1: SIN MEDIDAS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Periodo de retorno de 10 años y duración de tormenta de 6 horas.

REPORTE DE CONTINUIDAD DE ESCORRENTIA

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m	Depth mm
	-----	-----
Total Precipitation	0.131	1.450
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.016	0.174
Surface Runoff	0.026	0.287
Final Storage	0.090	0.989
Continuity Error (%)	-0.063	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitación	1310	
Evaporación		-
Infiltración		160
Escorrentía		260
Almacenamiento		900
Total	1310	1320
%Error		-0.063

REPORTE DE CONTINUIDAD DE ENRUTAMIENTO DE FLUJO

***** Flow Routing Continuity *****	Volume hectare-m	Volume 10^6 ltr
	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	0.026	0.260
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	0.016	0.161
Flooding Loss	0.000	0.000
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.002
Final Stored Volume	0.011	0.113
Continuity Error (%)	-4.539	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Esguerrimiento	260	
Descarga		160
Inundación		-
Depósitos		110
Total	260	270
% Error		-4.539

RESULTADOS DE LA SIMULACION DEL ESCENARIO 2: CON MEDIDAS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Periodo de retorno de 10 años y duración de tormenta de 6 horas.

REPORTE DE CONTINUIDAD DE ESCORRENTIA

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m -----	Depth mm -----
Total Precipitation	0.131	1.450
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.075	0.830
Surface Runoff	0.009	0.099
Final Storage	0.047	0.521
Continuity Error (%)	-0.036	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Precipitación	1310	
Evaporación		-
Infiltración		750
Escorrentía		90
Almacenamiento		470
Total	1310	1310
%Error		-0.036

REPORTE DE CONTINUIDAD DE ENRUTAMIENTO DE FLUJO

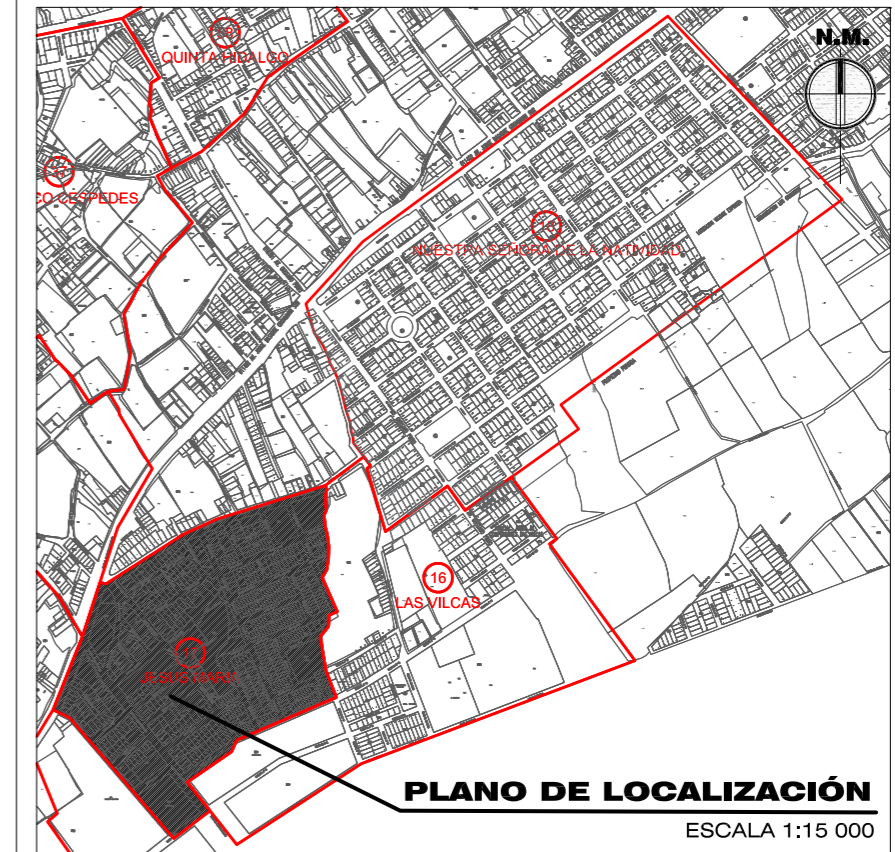
***** Flow Routing Continuity *****	Volume hectare-m -----	Volume 10^6 ltr -----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	0.009	0.090
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDI Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	0.008	0.080
Flooding Loss	0.000	0.000
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.002
Final Stored Volume	0.002	0.015
Continuity Error (%)	-3.755	

Elementos	Entrada (m3)	Salida (m3)
Esguerrimiento	90	
Descarga		80
Inundación		-
Depósitos		20
Total	90	100
% Error		-3.75

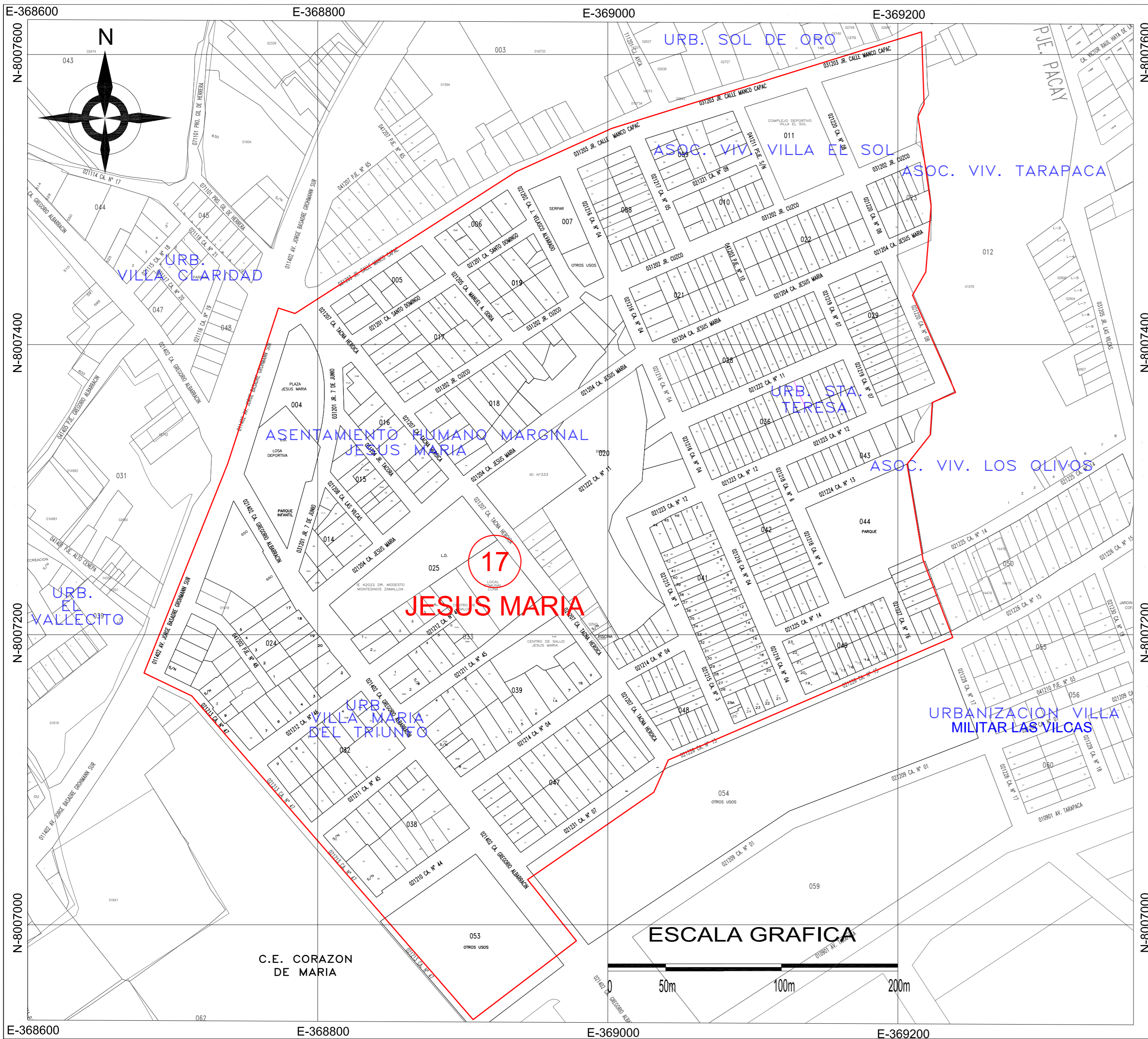
ANEXO 7:
PLANOS DEL PROYECTO

LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LA JUNTA VECINAL JESUS MARIA

PLANO DE LOCALIZACIÓN



Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN



Departamento: Tacna **Provincia:** Tacna

Distrito: Tacna **Ubicación:** Junta vecinal Jesus Maria

Realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84.
Proyeccion Cartografica-UTM Zona 19 Sur.

Proyecto:
"Propuesta de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para la junta vecinal Jesus Maria del Centro poblado Nuestra Señora de la Natividad - Tacna"

Contiene:
Ubicacion y localizacion de la zona de estudio

Revisado por:
Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

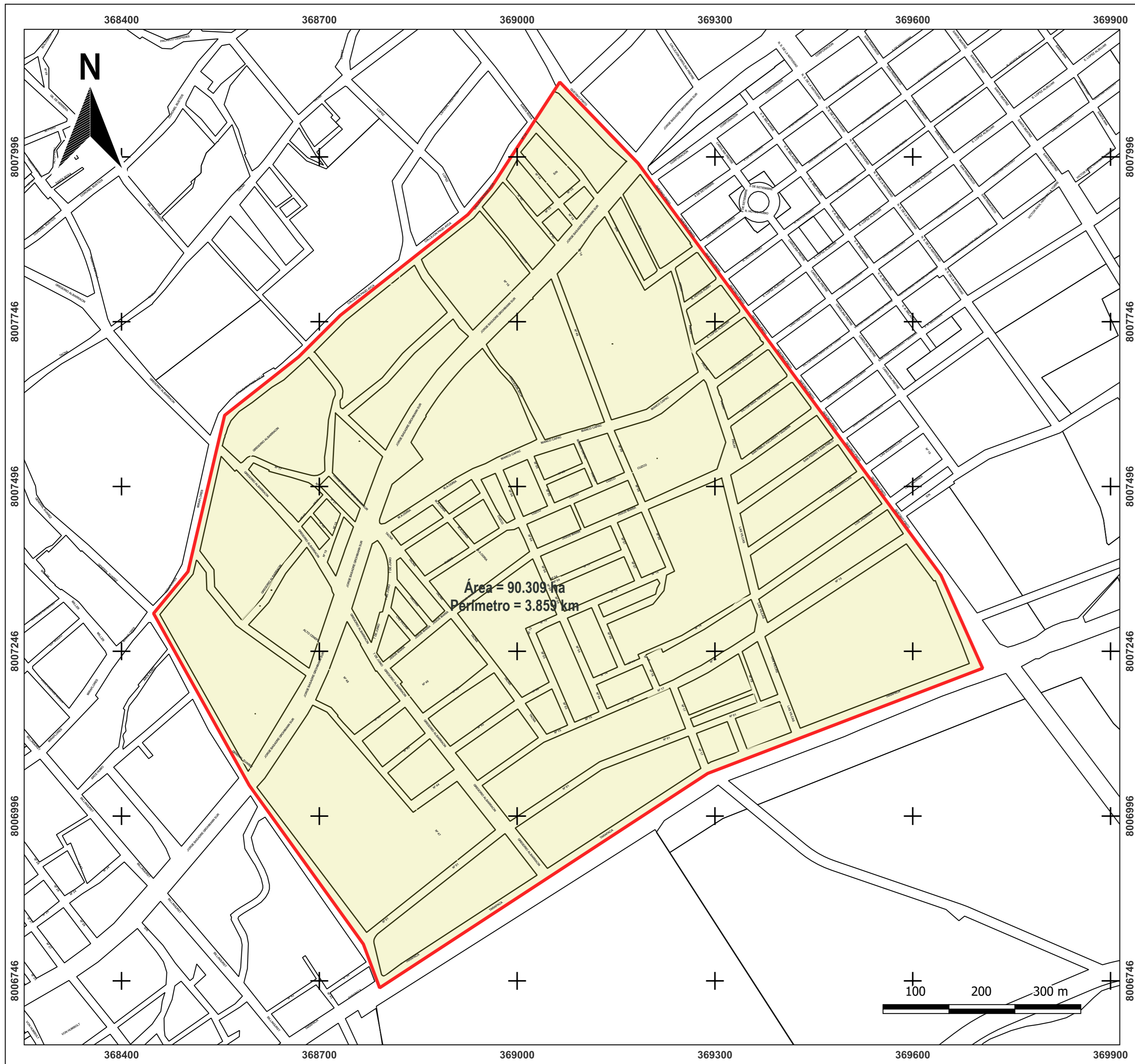
Elaborado por:
Bach. Yoel Nereo Chipana Vilca

Departamento:

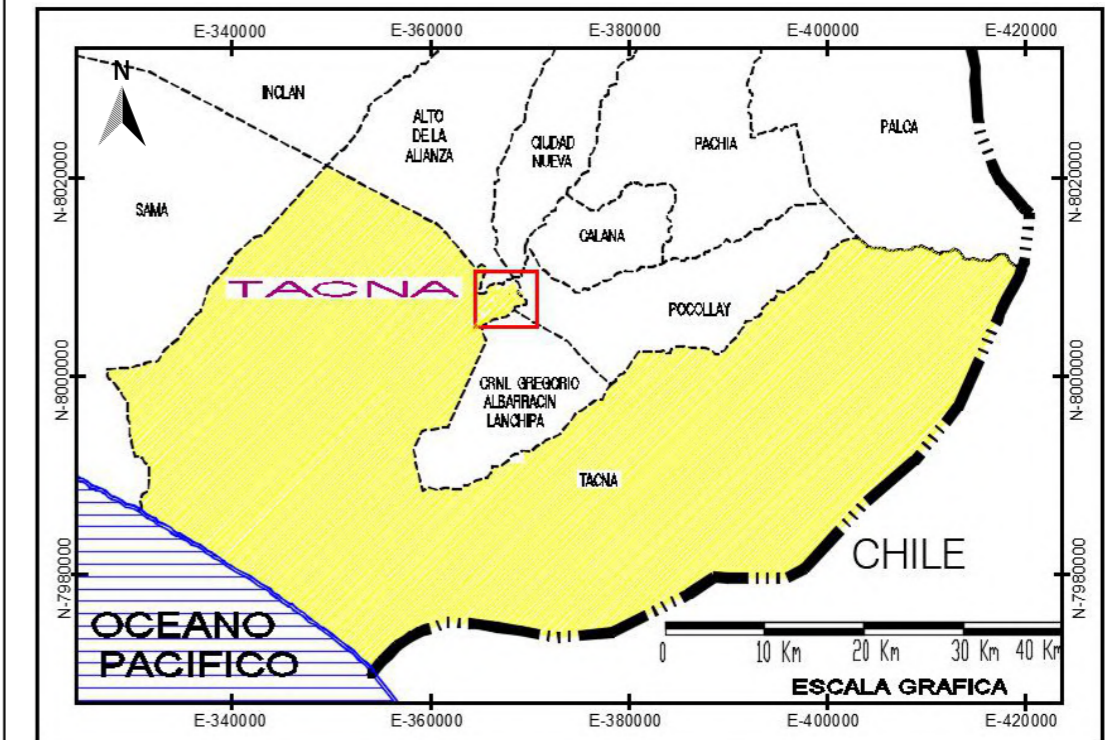
- Area de estudio junta vecinal Jesus Maria
- Lotes y manzanas

Fecha: 18/12/2022 **Lamina:** U-01 **Plano N°:** 1/7
Escala: 1:2000

ÁREA Y PERIMETRO DE LA CUENCA URBANA



PLANO DE UBICACION



Departamento:
Tacna

Provincia:
Tacna

Distrito:
Tacna

Ubicacion:
Junta vecinal Jeus Maria

Realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 -
Proyección Cartografica - UTM Zona: 19 Sur

Proyecto:

"Propuesta de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible
para la junta vecinal Jesus Maria del Centro Poblado
Nuestra Señora de La Natividad - Tacna"

Contiene:

Área y Perímetro de la Cuenca Urbana

Revisado por:

Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

Elaborado por:

Bach. Yoel Nereo Chipana Vilca

Detalles:

- Área de la cuenca
- Perímetro de la cuenca
- Manzanas

Fecha:
18/12/2022

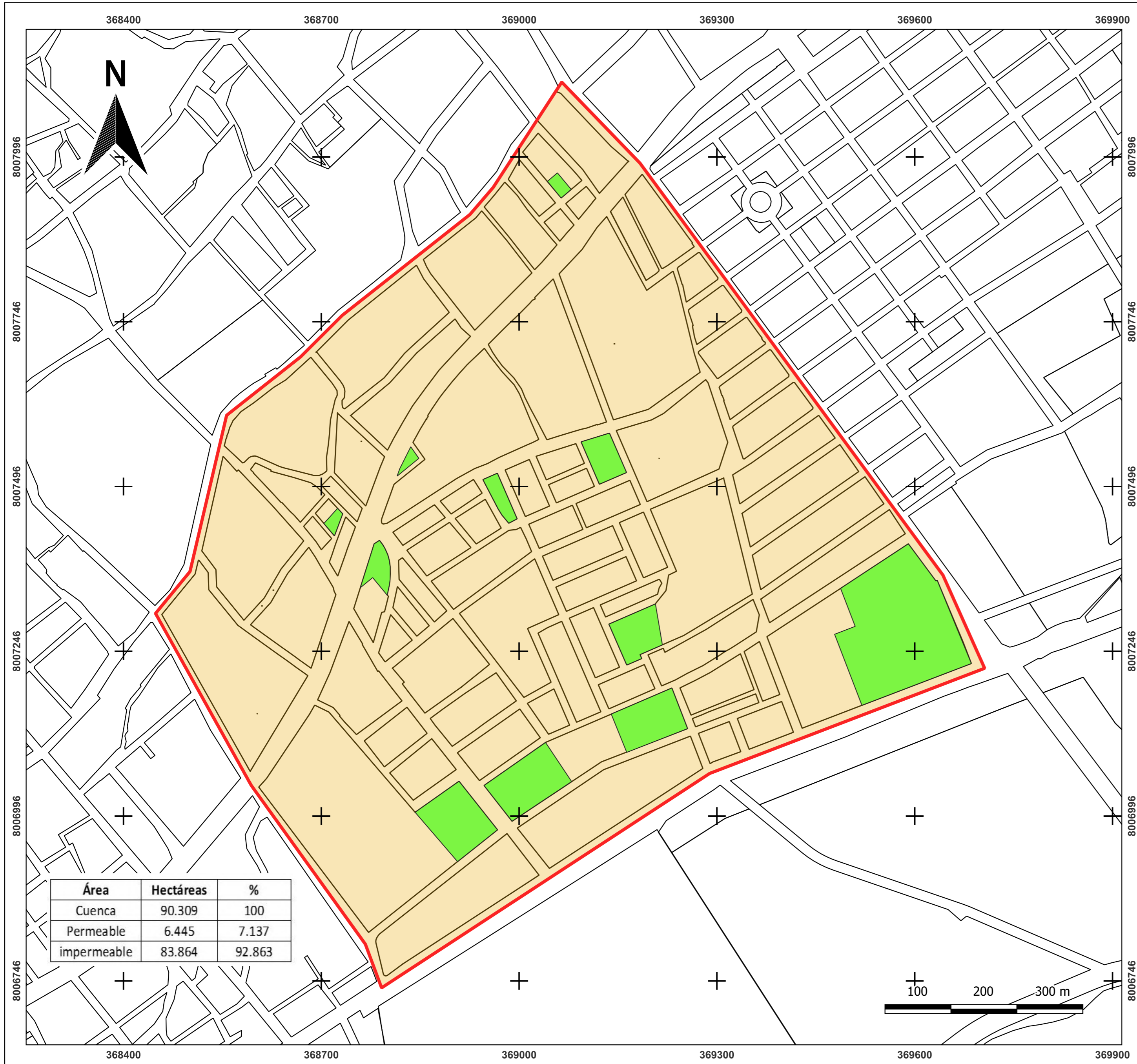
Làmina:
AP-01

Plano N°:
2/7

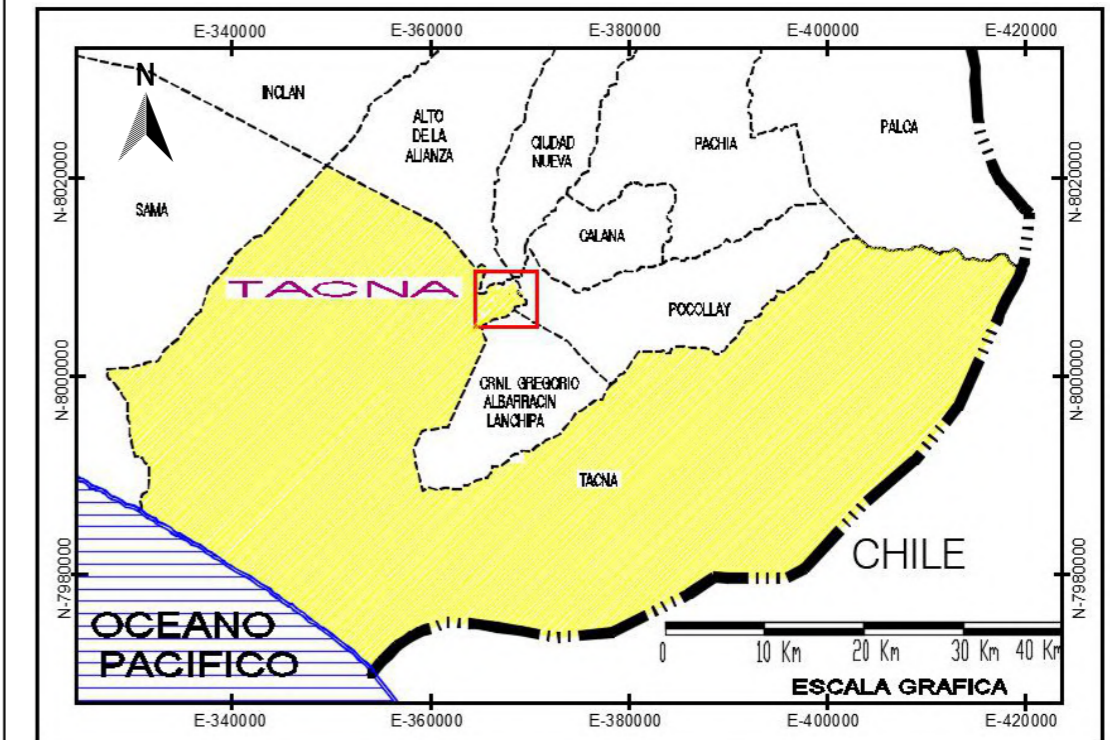
Escala:
1:4500



AREA PERMEABLE E IMPERMEABLE DE LA CUENCA URBANA



PLANO DE UBICACION



Departamento: Tacna
Provincia: Tacna

Distrito: Tacna
Ubicación: Junta vecinal Jeus Maria

Realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 -
Proyección Cartografica - UTM Zona: 19 Sur

Proyecto:
"Propuesta de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para la junta vecinal Jesus Maria del Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad - Tacna"

Contiene:
Area Permeable e Impermeable de la Cuenca Urbana

Revisado por:
Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

Elaborado por:
Bach. Yoel Nereo Chipana Vilca

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Área Permeable
- Área Impermeable
- Manzanas

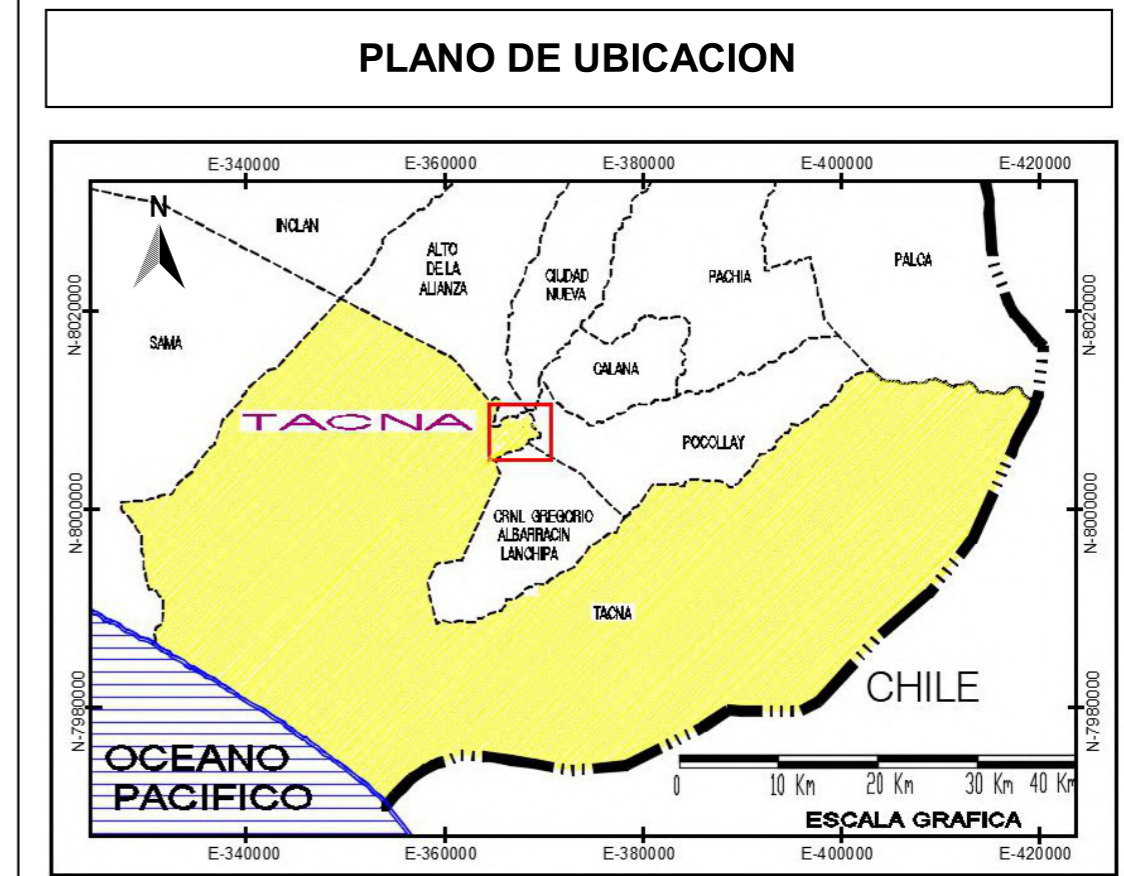
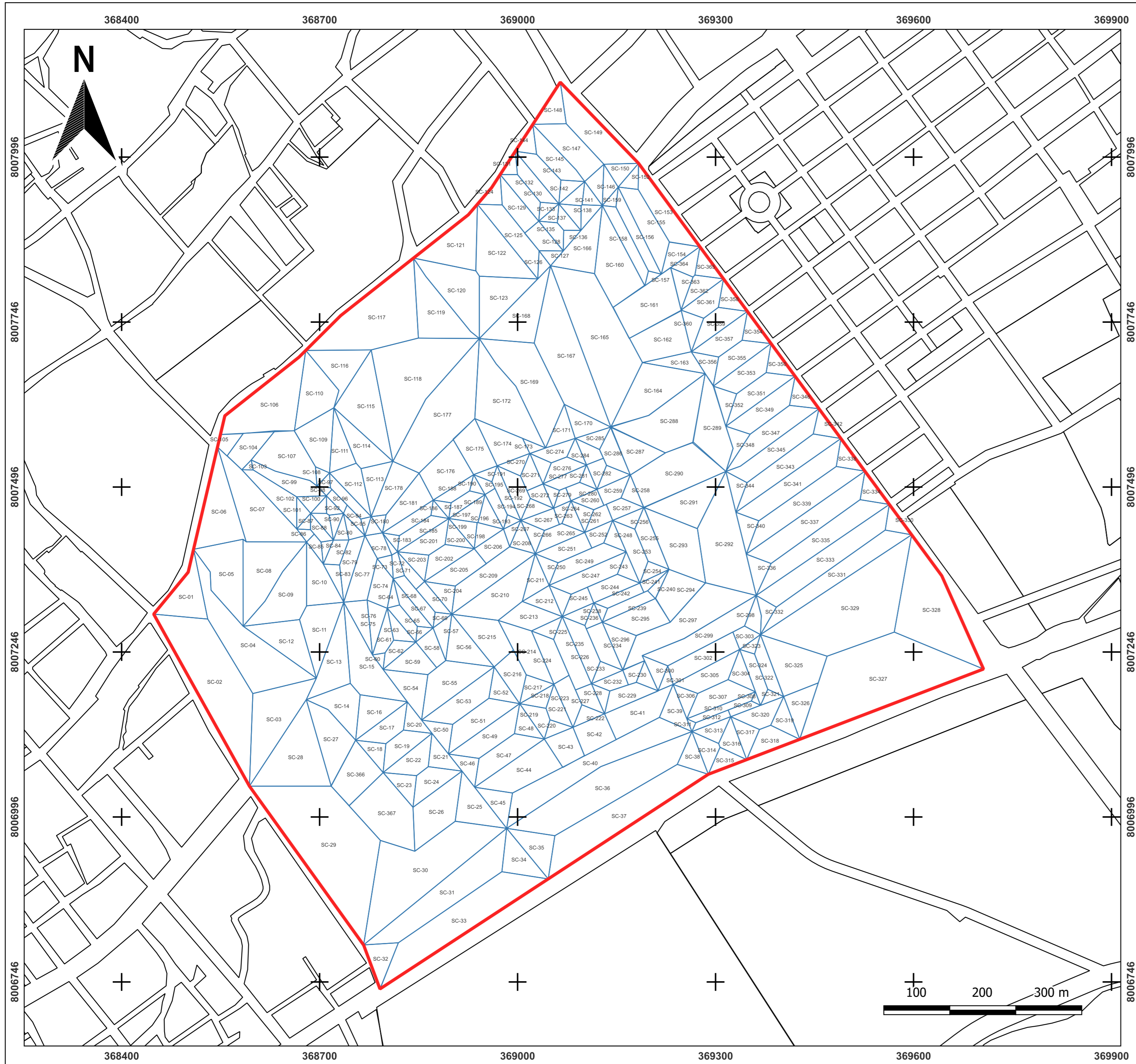
Fecha: 18/12/2022
Lámina: API-01
Plano N°: 3/7

Escala: 1:4500



Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

DISTRIBUCION DE SUBCUENCAS EN LA ZONA DE ESTUDIO



Departamento: Tacna
Provincia: Tacna

Distrito: Tacna
Ubicacion: Junta vecinal Jeus Maria

Realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 -
Proyección Cartografica - UTM Zona: 19 Sur

Proyecto:
"Propuesta de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para la junta vecinal Jesus Maria del Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad - Tacna"

Contiene:
Distribucion de subcuencas en la zona de estudio denominado bajo el prefijo "Sc-" enumerada del 1 al 367

Revisado por:
Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

Elaborado por:
Bach. Yoel Nereo Chipana Vilca

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Subcuencas
- Manzanas

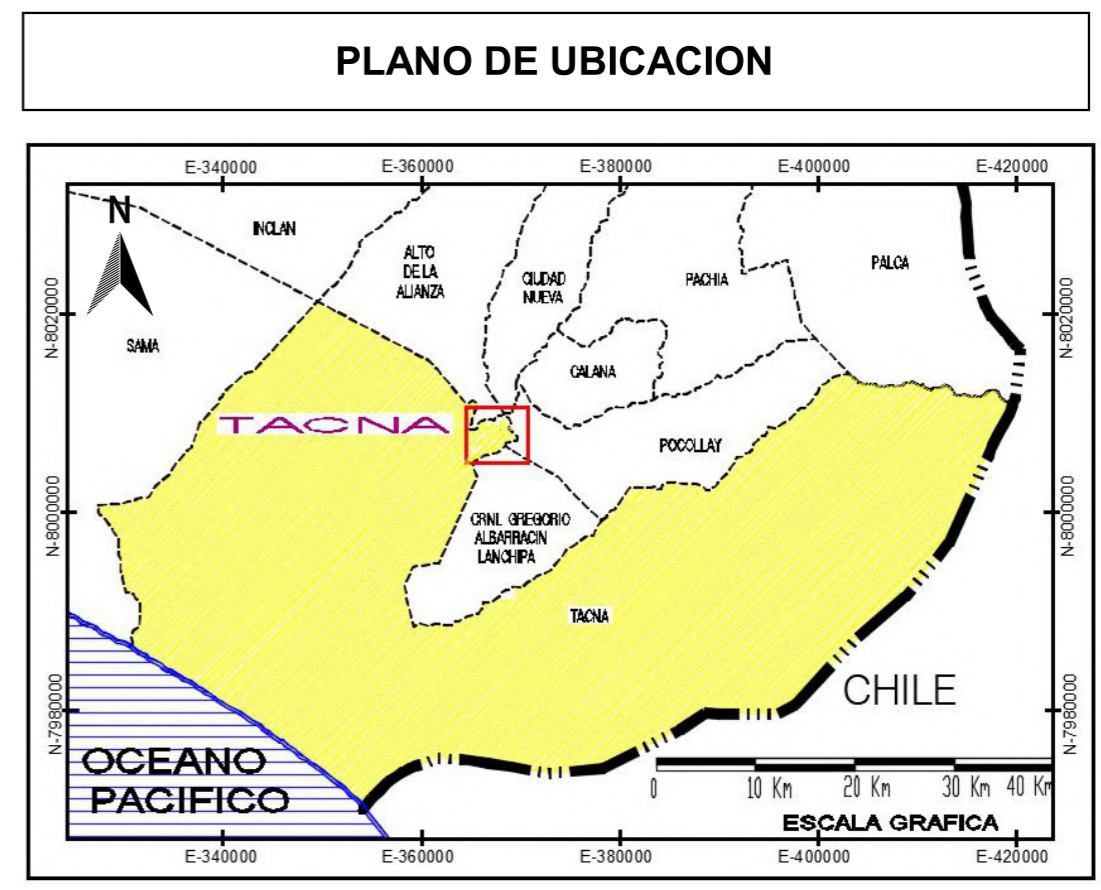
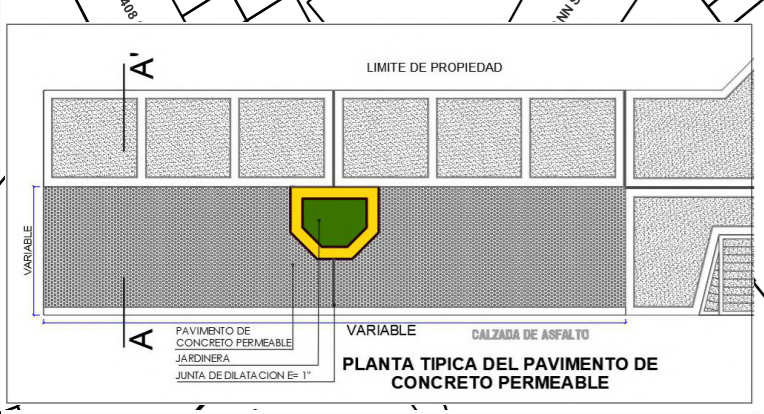
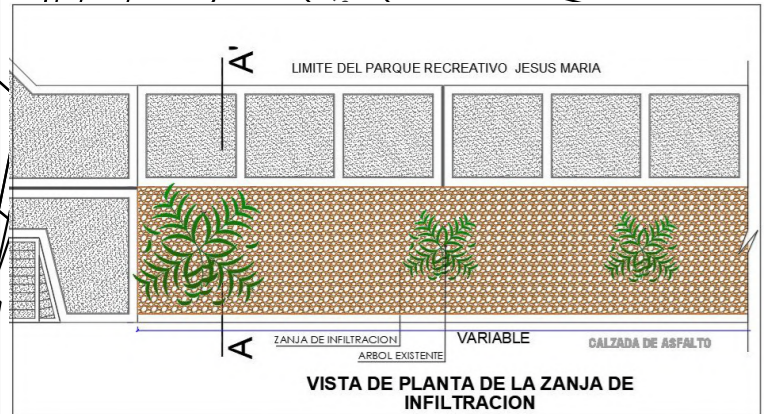
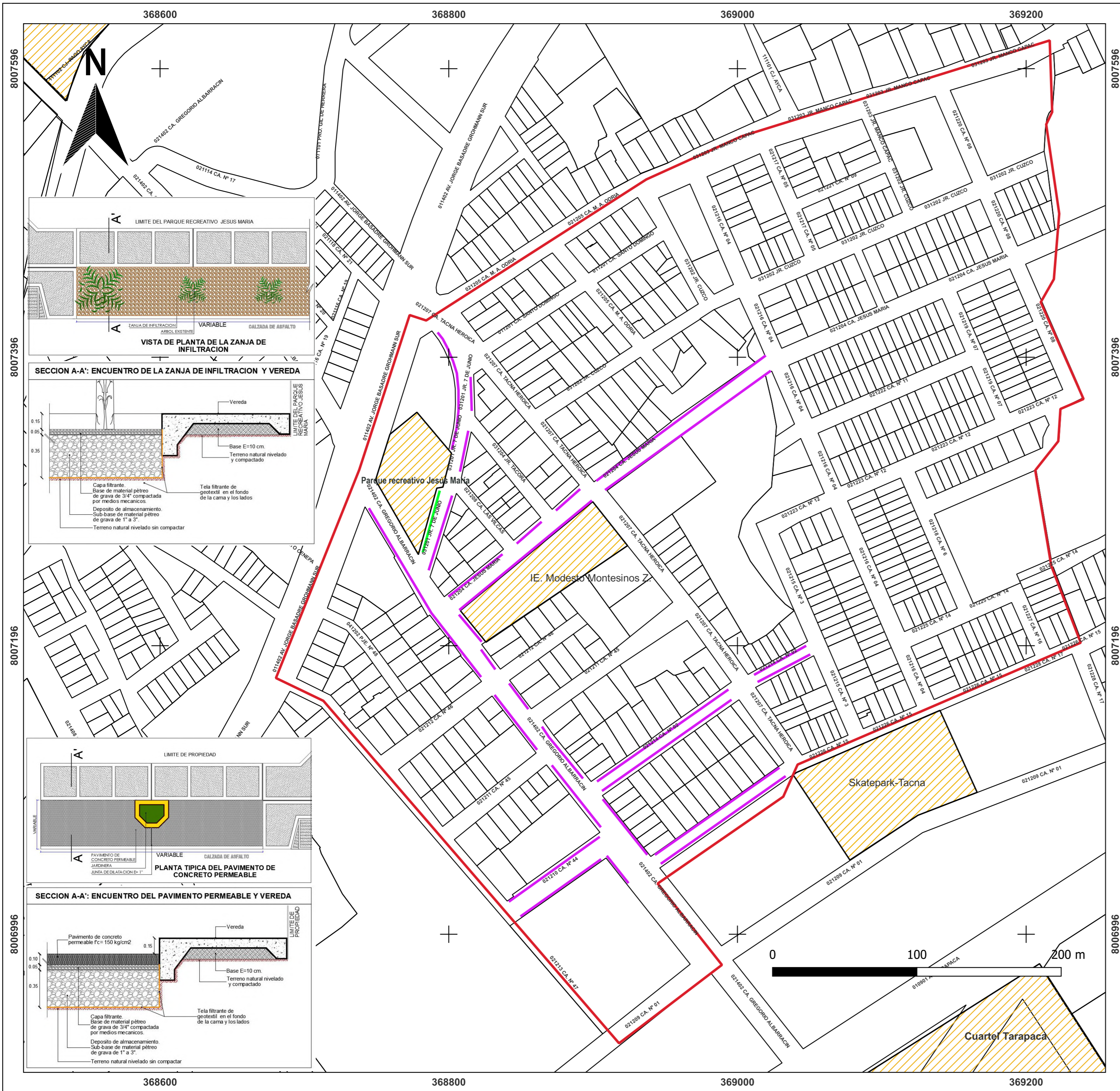
Fecha: 18/12/2022
Làmina: N-SC
Plano N°: 4/7

Escala: 1:4500



**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

UBICACION DE LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN LA JUNTA VECINAL JESUS MARIA



Departamento: Tacna
Provincia: Tacna

Distrito: Tacna
Ubicacion: Junta vecinal Jeus Maria

Realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 - Proyección Cartografica - UTM Zona: 19 Sur

Proyecto:
"Propuesta de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para la junta vecinal Jesus Maria del Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad - Tacna"

Contiene:
Ubicacion de los pavimentos permeables continuos y la zanja de infiltracion en la zona de estudio

Revisado por:
Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

Elaborado por:
Bach. Yoel Nereo Chipana Vilca

Detalles:

- Junta vecinal Jesus Maria
- Puntos de referencia
- Manzanas
- Pavimento de concreto permeable
- Zanja de infiltracion

Fecha: 18/12/2022

Nro. de Lamina

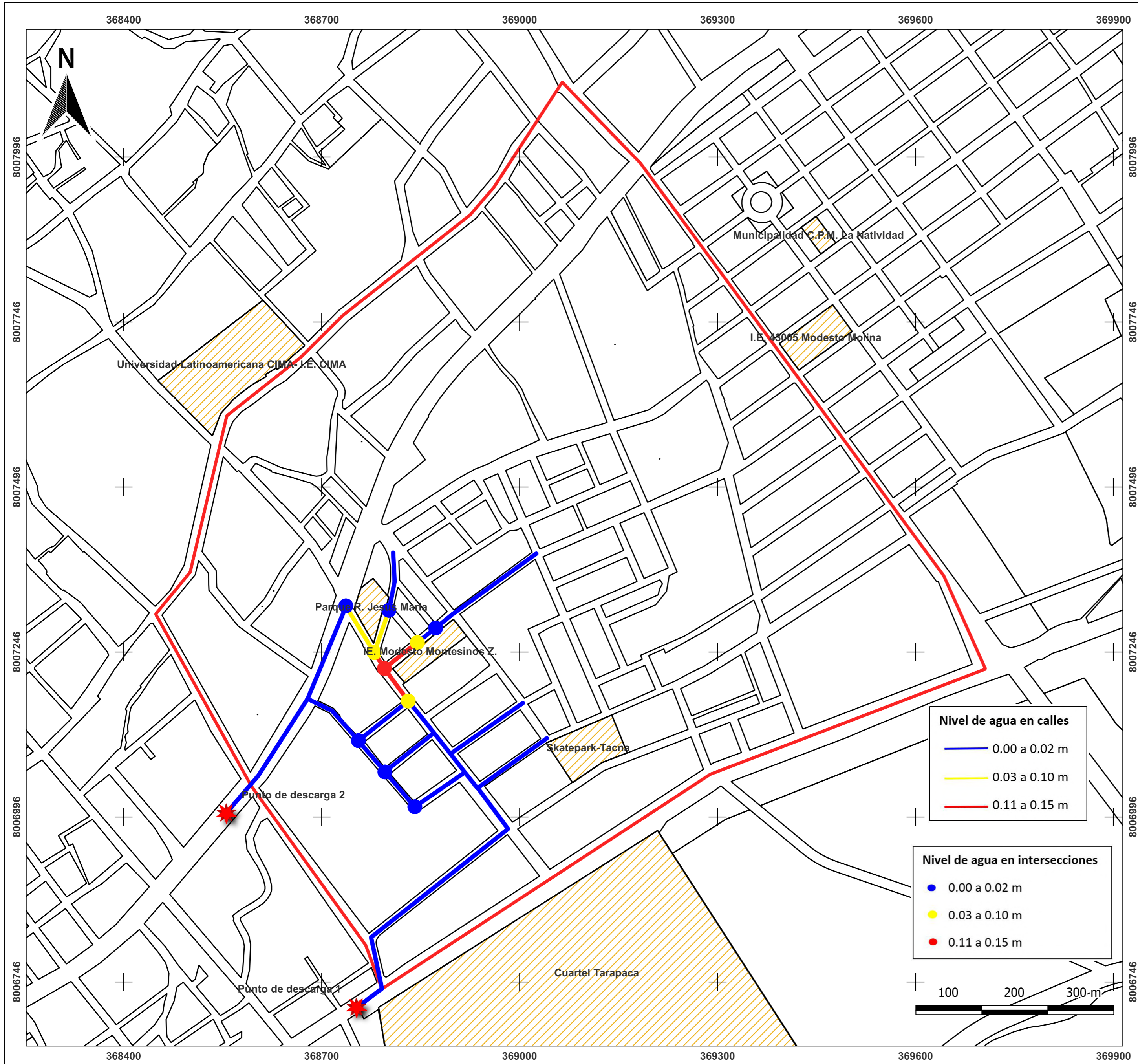
Escala: 1:2000

5/7

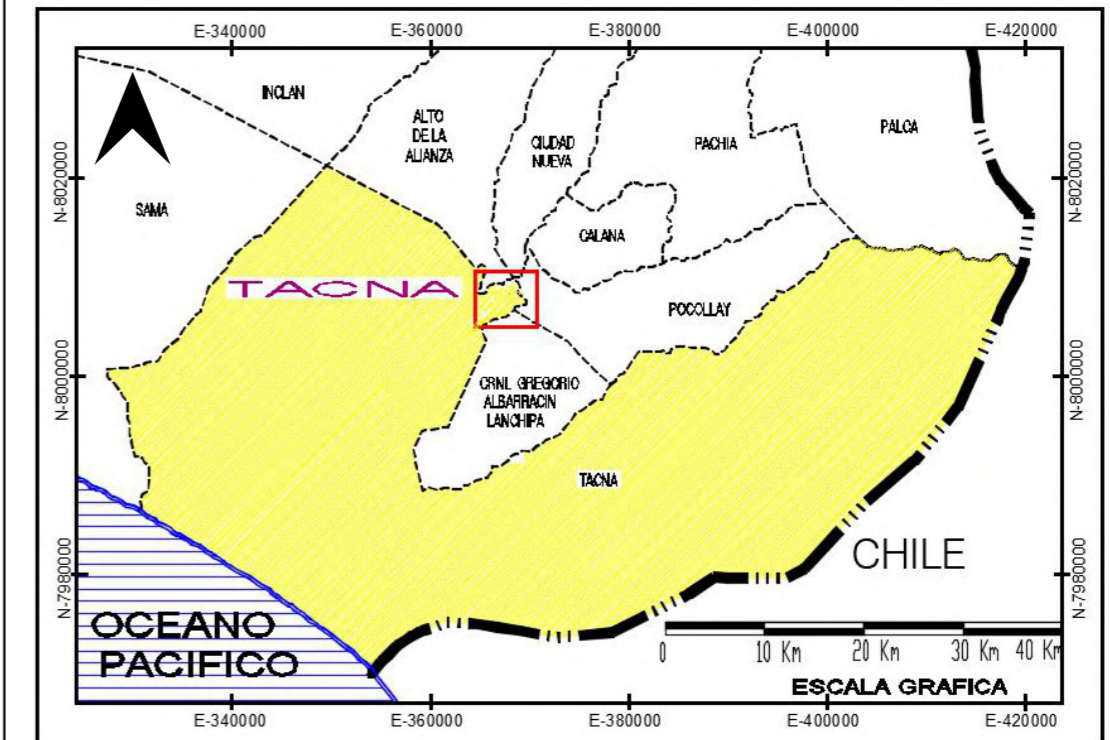


**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

NIVEL DE AGUA EN CALLES E INTERSECCIONES, RESULTADO DE LA SIMULACION SIN APLICAR SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE



PLANO DE UBICACION



Departamento:
Tacna

Provincia:
Tacna

Distrito:
Tacna

Ubicacion:
Junta vecinal Jeus Maria

Realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 -
Proyección Cartografica - UTM Zona: 19 Sur

Proyecto:

"Propuesta de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para la junta vecinal Jesus Maria del Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad - Tacna"

Contiene:

Escenario 1 - Nivel de aguas en calles e intersecciones, resultados de la simulacion realizada en SWMM 5.2.

Revisado por:

Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

Elaborado por:

Bach. Yoel Nereo Chipana Vilca

Detalles:

- Cuenca Urbana
- Puntos de referencia
- Manzanas

Fecha:

18/12/2022

Escala:

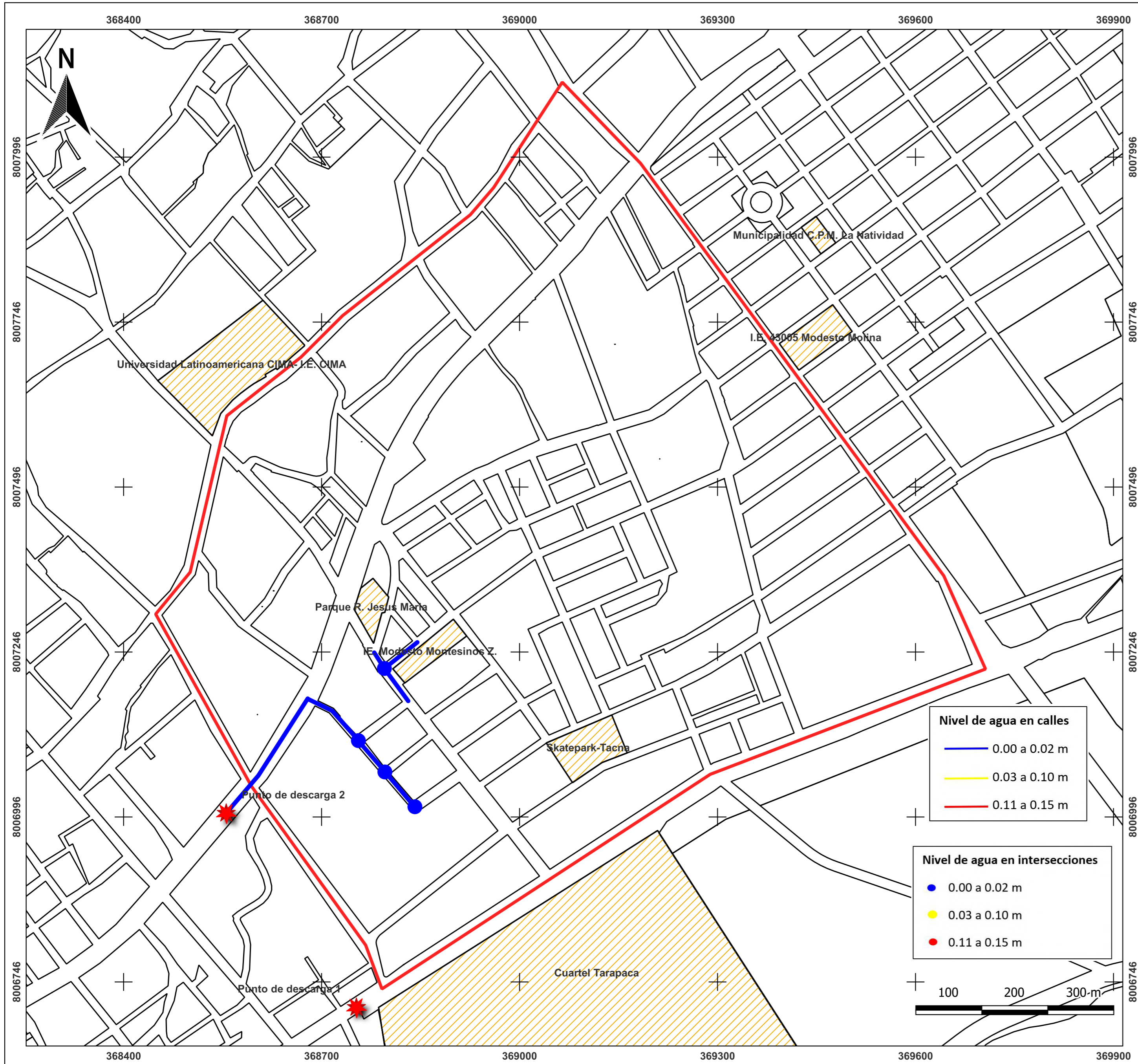
1:4500

Nro. de Lamina

6/7



NIVEL DE AGUA EN CALLES E INTERSECCIONES, RESULTADO DE LA SIMULACION APLICANDO SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE



PLANO DE UBICACION

Departamento: Tacna	Provincia: Tacna
Distrito: Tacna	Ubicacion: Junta vecinal Jeus Maria

Realizado con Sistema de Coordenadas WGS 84 -
Proyección Cartografica - UTM Zona: 19 Sur

Proyecto:
"Propuesta de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible para la junta vecinal Jesus Maria del Centro Poblado Nuestra Señora de La Natividad - Tacna"

Contiene:
Escenario 2 - Nivel de aguas en calles e intersecciones, resultados de la simulacion realizada en SWMM 5.2.

Revisado por:
Msc. Ing. Ana Gabriela Cruz Baltuano

Elaborado por:
Bach. Yoel Nereo Chipana Vilca

Detalles:

Cuenca Urbana

Puntos de referencia

Manzanas

Fecha: 18/12/2022	Nro. de Lamina 7/7
Escala: 1:4500	