

**PROPUESTA DE PROYECTO DE REDES DE DRENAJE PLUVIAL
PARA EL BARRIO PABLO ROJAS**

FLAVIA LIZBET DURAÑONA IBARRA

Foz do Iguaçu
2024



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGÍA, INFRAESTRUCTURA Y
TERRITÓRIO (ILATIT) INGENIERÍA CIVIL DE
INFRAESTRUCTURA**

**PROPUESTA DE PROYECTO DE REDES DE DRENAJE PLUVIAL
PARA EL BARRIO PABLO ROJAS**

FLAVIA LIZBET DURAÑONA IBARRA

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniera Civil de Infraestructura.

Orientador: Prof. Dr. Jiam Pires Frigo

Foz do Iguaçu
2024

FLAVIA LIZBET DURAÑONA IBARRA

**PROPUESTA DE PROYECTO DE REDES DE DRENAJE PLUVIAL
PARA EL BARRIO PABLO ROJAS**

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniera Civil de Infraestructura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Jiam Pires Frigo
UNILA

Prof. Dr. Noé Villegas Flores
UNILA

Prof. Dr. Cesar Winter de Mello
UNILA

Profa. Ma. Mara Rubia Silva
UNILA

Foz do Iguaçu, 06 de noviembre de 2024.

TÉRMINO DE ENTREGA DE TRABAJOS ACADÉMICOS

Nombre completo de la autora: Flavia Lizbet Durañona Ibarra

Curso: Ingeniería Civil de Infraestructura

	Tipo de Documento
(...x..) graduación	(.....) artículo
(.....) especialización	(...x..) trabajo de conclusión de curso
(.....) maestría	(.....) monografía
(.....) doctorado	(.....) disertación
	(.....) tesis
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuales
	(.....) _____

Título del trabajo académico: Propuesta de proyecto de redes de drenaje pluvial para el barrio Pablo Rojas.

Nombre del orientador: Prof. Dr. Jiam Pires Frigo

Fecha de Defensa: 06/11/2024

Licencia no-exclusiva de Distribución

El referido autor(a):

a) Declara que el documento enviado es tu trabajo original y que tienes el derecho de otorgar los derechos contenidos en esta licencia. Asimismo, declara que la entrega del documento no infringe, hasta donde tiene conocimiento, los derechos de cualquier otra persona o entidad.

b) Si el documento entregado contiene material sobre el cual no posee los derechos de autor, declara que ha obtenido la autorización del titular de los derechos de autor para otorgar a la UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material cuyo los derechos pertenecen a terceros está claramente identificado y reconocido en el texto o contenido del documento entregado.

Si el documento presentado se basa en un trabajo financiado o respaldado por una institución distinta de la Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que ha cumplido con las obligaciones exigidas por el respectivo contrato o convenio.

Como titular de los derechos sobre el mencionado contenido, el autor autoriza a la Biblioteca Latinoamericana - BIUNILA a poner a disposición la obra, de forma gratuita y conforme a la licencia pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 06 de noviembre de 2024.

Firma del responsable

Dedicado a mis padres...

AGRADECIMIENTOS

Creador del universo, Dios, gracias por haberme dado la luz y la fuerza para aventurarme en este camino.

Mamá, papá, esto nunca hubiese sido posible sin ustedes. Son los pilares que me sostienen. Su amor y paciencia han sido fundamentales para llegar hasta acá. Una sola vida no será suficiente para compensar todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí.

A mis hermanos, gracias por alegrar mis días y hacer que los pesares de la universidad fueran mucho más llevaderos.

A mis abuelos, tíos y primos, gracias por ser la mejor familia que podría desear.

A mis amigos y colegas, tanto dentro como fuera de la universidad, su apoyo y las enseñanzas que cada uno me brindó fueron invaluableles en este proceso.

A mis profesores, y especialmente a mi orientador, gracias por guiarme en este último tramo. Me llevo lo mejor de cada uno de ustedes.

A mi enamorado, gracias por escuchar cada uno de mis pesares y celebrar conmigo cada pequeño logro que alcanzaba.

Y por último, a mí misma, por haber sido tan resiliente y haber enfrentado todos los obstáculos con dignidad y paciencia.

RESUMEN

El crecimiento demográfico y la urbanización acelerados en la región metropolitana de Ciudad del Este han generado importantes impactos ambientales y sociales, tales como la alteración del ciclo hidrológico de las cuencas, el relieve y el uso del suelo. La impermeabilización del terreno ha reducido notablemente la infiltración de agua de lluvia, lo que ha incrementado la frecuencia de inundaciones, especialmente en el barrio Pablo Rojas. El área en cuestión posee un sistema de drenaje pluvial, sin embargo, ineficiente, pues gran parte de la escorrentía superficial fluye por cunetas hasta el arroyo Acaraymi, siendo inadecuado para el tamaño del área de contribución. Este estudio propone un proyecto de redes de drenaje pluvial para dicho barrio, basado en un análisis topográfico detallado y en la caracterización de sus microcuencas, capaz de lidiar con el caudal máximo esperado. Para esto, fue realizado el dimensionamiento del sistema, luego de la delimitación del área de estudio y la elaboración del trazado del sistema de drenaje con base a la topografía natural del terreno. Todo el sistema proyectado está compuesto por 7,349 metros de colectores de concreto, cuyos diámetros oscilan entre 0,40 metros a 1,75 metros, 60 pozos de visita y una estimativa de 231 bocas de tormenta, proponiendo un sistema capaz de canalizar eficazmente un caudal de $27,86 \text{ m}^3/\text{s}$, hacia el arroyo Acaraymi. Los resultados proponen soluciones estructurales para mitigar las inundaciones recurrentes, contribuyendo a una gestión más adecuada y eficiente de las aguas pluviales en la zona.

Palabras clave: Microcuencas, Drenaje Pluvial, Inundaciones.

RESUMO

O crescimento populacional acelerado e a urbanização na área metropolitana de Ciudad del Este geraram consequências ambientais, econômicas e sociais significativas, incluindo alterações no ciclo natural das bacias hidrográficas, no relevo e no uso do solo. A impermeabilização do solo reduziu significativamente a taxa de infiltração da chuva, aumentando a frequência de inundações em várias áreas da cidade. Essa situação ressalta a urgente necessidade de uma gestão adequada das águas pluviais, especialmente no bairro Pablo Rojas. Embora a área em questão possua um sistema de drenagem pluvial, ele é ineficiente, pois grande parte do escoamento superficial flui por valetas até o córrego Acaraymi, o que é inadequado para o tamanho da área de contribuição. Este estudo propõe um projeto de rede de drenagem pluvial para o bairro, baseado em uma análise topográfica detalhada e na caracterização de suas microbacias, com capacidade para lidar com a vazão máxima esperada. Para isso, foi realizado o dimensionamento do sistema, após a delimitação da área de estudo e a elaboração do traçado da rede de drenagem com base na topografia natural do terreno. Todo o sistema projetado inclui 7.349 metros de coletores de concreto, com diâmetros variando de 0,40 a 1,75 metros, 60 poços de visita e uma estimativa de 231 bocas de lobo, propondo um sistema capaz de canalizar eficientemente uma vazão de 27,86 m³/s para o córrego Acaraymi. Os resultados propõem soluções estruturais para mitigar as inundações recorrentes, contribuindo para uma gestão mais adequada e eficiente das águas pluviais na área.

Palavras-chave: Microbacias, Drenagem Pluvial, Inundações.

ABSTRACT

Accelerated population growth and urbanization in the metropolitan area of Ciudad del Este have generated significant environmental, economic, and social consequences, including alterations to the natural cycle of watersheds, topography, and land use. The impermeabilization of the soil has significantly reduced the infiltration rate of rainfall, increasing the frequency of floods in various parts of the city. This situation underscores the urgent need for adequate stormwater management, especially in the Pablo Rojas neighborhood. Although the area in question has a stormwater drainage system, it is inefficient, as much of the surface runoff flows through ditches to the Acaraymi stream, which is inadequate for the size of the contributing area. This study proposes a stormwater drainage network project for this neighborhood, based on a detailed topographic analysis and characterization of its micro-watersheds, designed to handle the expected peak flow. For this purpose, the system was sized after defining the study area and mapping the drainage layout based on the natural topography of the terrain. The entire projected system includes 7,349 meters of concrete collectors, with diameters ranging from 0.40 to 1.75 meters, 60 manholes, and an estimated 231 storm drains, proposing a system capable of effectively channeling a flow of 27.86 m³/s to the Acaraymi stream. The results propose structural solutions to mitigate recurrent flooding, contributing to more adequate and efficient stormwater management in the area.

Keywords: Micro-watersheds, Stormwater Drainage, Flooding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sub-cuenca no urbanizada	19
Figura 2 - Sub-cuenca parcialmente urbanizada	19
Figura 3 - Sub-cuenca urbanizada	20
Figura 4 - Ejemplo de Modelo Digital de Terreno	21
Figura 5 - Componentes esenciales de un sistema de red de drenaje pluvial	25
Figura 7 – Flujograma de etapas del método	26
Figura 8 – Delimitación del Barrio Pablo Rojas	30
Figura 9 – Planta topográfica del área de estudio	31
Figura 10 - Inundación sobre la doble avenida Tte. Rojas Silva	32
Figura 11 - Inundación sobre la avenida Tte. Fariña	33
Figura 12 - Inundación sobre la avenida Patricio Colmán	33
Figura 13 - Inundación sobre la ruta PY07	34
Figura 14 - Disposición de las bocas de tormenta	34
Figura 15 - Nodo inicial sobre Tte.Rojas Silva	35
Figura 16 - Nodo final sobre Tte. Rojas Silva	36
Figura 17 – Áreas de contribución	37
Figura 18 – Trazado del Sistema de Drenaje Pluvial	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Valores medios del coeficiente de escorrentía para el método racional	23
Tabla 2 – Localización de las bocas de tormenta en coordenadas UTM	35
Tabla 3 –Cálculos para la Red de Drenaje 01	39
Tabla 4 –Cálculos para la Red de Drenaje 02	40
Tabla 5 –Cálculos para la Red de Drenaje 03	42
Tabla 6 –Cálculos para la Red de Drenaje 04	44

LISTA DE ABREVIATURAS

ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnología, Infraestructura y Territorio
INE	Instituto Nacional de Estadística
MNT	Modelo Numérico de Terreno
OMM	Organización Meteorológica Mundial
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
SIG	Sistema Información Geográfica
SWMM	Storm Water Management Model

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	14
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 URBANIZACIÓN	17
2.2 DRENAJE URBANO	17
2.3 CUENCA HIDROGRÁFICA	18
2.4 MODELO NUMÉRICO DE TERRENO	20
2.5 INTENSIDAD DE PRECIPITACIONES	21
2.6 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	22
2.7 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	23
2.8 MÉTODO DE CÁLCULO DE CAUDAL	24
2.9 COMPONENTES DE UNA RED DE DRENAJE PLUVIAL	24
3 MÉTODO	26
3.1 DIMENSIONAMIENTO LAS REDES DE DRENAJE PLUVIAL	26
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	30
4.2 ÁREAS DE CONTRIBUCIÓN	36
4.3 MEMORIAL DE CÁLCULO	38
5 CONSIDERACIONES FINALES	48
REFERENCIAS	49
APÉNDICES	53

1 INTRODUCCIÓN

Ciudad del Este, ubicada en el extremo oriental del territorio paraguayo, es la capital del departamento de Alto Paraná y forma parte de la estratégica región conocida como la triple frontera, colindando con las ciudades de Puerto Iguazú y Foz de Iguazú. Con una población aproximada de 320,782 habitantes, según el censo de 2022, la ciudad ha experimentado un acelerado crecimiento demográfico y económico en las últimas décadas. Este crecimiento la ha consolidado como una de las urbes más importantes del Paraguay, impulsada principalmente por el comercio y la industria, además de su posición estratégica en el ámbito regional.

El desarrollo urbano de Ciudad del Este ha sido dinámico, provocando una rápida expansión de áreas residenciales y comerciales. No obstante, esta urbanización acelerada ha traído consigo desafíos significativos en términos de infraestructura, en particular, la infraestructura pluvial. La expansión de zonas urbanas sin una planificación adecuada ha generado grandes irregularidades en la disposición de las redes de drenaje, lo que ha exacerbado problemas como las inundaciones urbanas en varias zonas durante las temporadas de lluvias intensas.

El barrio Pablo Rojas, ubicado en una de las zonas más vulnerables de Ciudad del Este en términos de inundaciones, enfrenta desafíos significativos en su infraestructura de drenaje pluvial. Con una densidad poblacional considerable y una creciente urbanización, el barrio ha experimentado problemas recurrentes de acumulación de aguas durante las lluvias intensas, afectando la calidad de vida de sus habitantes y generando riesgos sanitarios y materiales. La falta de sistemas de drenaje adecuados y la expansión urbana sin una planificación específica para el manejo de aguas pluviales han agravado estas problemáticas. La elección de este barrio para el desarrollo del proyecto de redes de drenaje se debe a la urgencia de implementar soluciones sostenibles y al potencial de este estudio para servir como modelo para otras zonas afectadas de Ciudad del Este.

Además, el perfil demográfico y social de la población de Ciudad del Este se caracteriza por una mezcla de diversos estratos económicos, lo que añade complejidad a la distribución de servicios esenciales, incluida la gestión de aguas pluviales. El rápido crecimiento ha superado la capacidad de la infraestructura existente.

Desde un punto de vista histórico, el desarrollo de la infraestructura pluvial en Ciudad del Este ha sido limitado y fragmentado. A pesar de los esfuerzos iniciales de las autoridades locales para mejorar la red de drenaje, muchos de los sistemas actuales

datan de las décadas de los 1970 y 1980, sin haber sido actualizados o expandidos de acuerdo con las necesidades de una ciudad en rápido crecimiento. Según la Ley 1.294/87, Art. 18, las municipalidades tienen la responsabilidad de establecer un sistema de planificación física, urbana y rural en toda su jurisdicción. Sin embargo, el avance en la gestión de aguas pluviales ha sido insuficiente, lo que ha resultado en la falta de estudios detallados que guíen la planificación de un sistema de drenaje integral.

1.1 JUSTIFICATIVA

El presente proyecto radica en la necesidad de implementar un sistema de drenaje pluvial en el barrio Pablo Rojas, con el fin de mitigar los riesgos asociados a las inundaciones, que se ven exacerbados por los efectos del cambio climático y los trastornos ambientales. En las últimas décadas, el aumento en la intensidad y frecuencia de eventos de lluvias extremas, como consecuencia del cambio climático, ha intensificado la vulnerabilidad de muchas áreas urbanas, especialmente aquellas con infraestructuras de drenaje insuficientes o deterioradas.

El cambio climático afecta los patrones de precipitación, lo que genera desafíos adicionales para la infraestructura de drenaje y aumenta los riesgos de inundación en zonas urbanas. En este contexto, la implementación de un sistema de drenaje adecuado en Pablo Rojas contribuirá a reducir los impactos negativos que estos fenómenos climáticos pueden ocasionar, mejorando las condiciones de vida de los habitantes y apoyando el desarrollo urbano sostenible. Además, este sistema permitirá minimizar los daños a la infraestructura local y los costos económicos recurrentes asociados a las inundaciones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

- El objetivo central de este trabajo es la de elaborar un proyecto técnico de drenaje pluvial para el barrio Pablo Rojas de Ciudad del Este, que permita transportar el caudal de proyecto, mejorar la infraestructura de la zona y mitigar los problemas de inundaciones con un diseño eficiente de redes de drenaje.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Emplear tecnología satelital para recolectar información precisa y actualizada sobre el área de estudio;

- Generar una carta topográfica, a partir del modelo digital de terreno, que refleje con precisión la topografía del área de estudio;
- Realizar un diagnóstico de la situación y de las condiciones de drenaje actuales del área de estudio;
- Diseñar y desarrollar un sistema de drenaje pluvial eficiente para el barrio Pablo Rojas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 URBANIZACIÓN

Según la Real Academia Española, urbanizar se define como acondicionar una porción de terreno y prepararlo para su uso urbano, abriendo calles, dotándolas de pavimento, luz y otros servicios. La urbanización, resultado de un proceso de evolución socioeconómica, se aceleró en la segunda mitad del siglo XX, con la concentración de la población en espacios reducidos. Este proceso ha provocado una competencia intensa por recursos naturales como el agua y el suelo, destruyendo la biodiversidad natural (Tucci, 2007).

Gran parte de las áreas urbanas de riesgo y protección ambiental son ocupadas de forma ilegal debido a los bajos ingresos de los ciudadanos o a la falta de alternativas habitacionales, ya sea por políticas públicas o por el mercado privado (Maricato, 2003). Este fenómeno es evidente en Ciudad del Este, donde la expansión urbana sin planificación ha llevado a la ocupación de áreas vulnerables, aumentando el riesgo de inundaciones.

La expansión de los centros urbanos, determinada por la demanda de áreas y por las restricciones políticas que dirigen el uso de la tierra, está fuertemente asociada a la vulnerabilidad de la población (Hidalgo, 2015). Este avance a menudo se genera en ambientes frágiles como bosques, costas, ríos, arroyos y manantiales, lo que subraya la necesidad de un equilibrio entre urbanización y medio ambiente.

La falta de planificación adecuada durante el crecimiento urbano en Ciudad del Este ha resultado en grandes irregularidades, como la urbanización en áreas con sistemas de drenaje insuficientes, lo que aumenta el riesgo de inundaciones. Esto se observa claramente en las ciudades más grandes del Paraguay, como Ciudad del Este y Asunción.

2.2 DRENAJE URBANO

Se puede definir que el Drenaje Urbano es el conjunto de acciones y medidas cuyo objetivo es minimizar los riesgos a la que la comunidad está sujeta y también disminuir los diversos perjuicios causados por las inundaciones participando en un plano integrado para el desarrollo urbano de forma armónica y sustentable, englobando de esta forma dos subsistemas: microdrenaje y macrodrenaje.

Microdrenaje es definida por un sistema de conductos en nivel de loteamiento o de red primaria urbana, construido localmente para captación distribuida de las escorrentías superficiales generadas por las áreas organizadas, siendo destinado a recibir y conducir las aguas de las lluvias proveniente de la construcciones, lotes, rutas y plazas. (Gomez, Pires e Moura 2016).

Macro drenaje corresponde a una red de mayor porte, que recibe agua ya concentrada. Los primeros componentes de la red de macro del drenaje se refieren a los propios caminos del drenaje natural, preexistentes a la urbanización, constituidos por ríos y arroyos. (Gomez, Pires e Moura 2016).

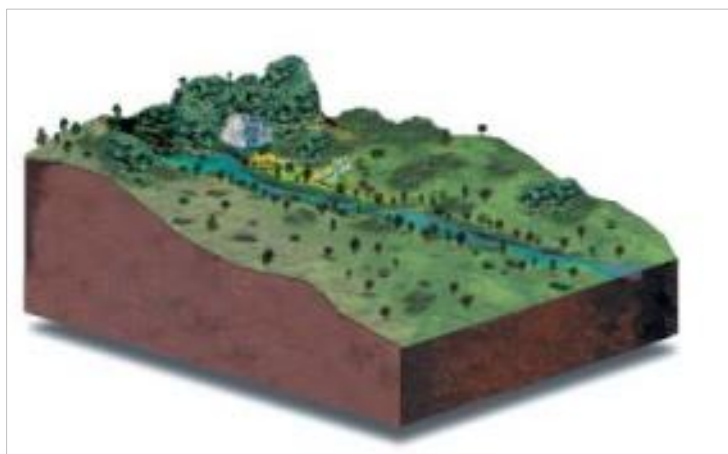
Según los mismos autores, a medida que crece la urbanización crece también la demanda por obras de complementación en el macro drenaje natural, haciendo crecer a su vez el nivel de impermeabilización de la cuenca hidrográfica. La densidad de drenaje define la razón entre el claro total de los cursos de agua presentes en la cuenca y el área de drenaje de la propia cuenca. Cuanto más densa es la red de drenaje de una cuenca hidrográfica, más rápidamente el volumen precipitado drenará por su sección exutoria (Gomez, Pires e Moura 2016).

2.3 CUENCA HIDROGRÁFICA

Tucci (2007) define una cuenca hidrográfica como un área delimitada por divisores topográficos, dentro de la cual el agua de precipitación se concentra y fluye hacia un punto común de salida, como un río, lago o embalse. La cuenca hidrográfica se compone de una red de drenaje natural que incluye ríos, arroyos y otras corrientes, y es fundamental en la planificación de la gestión de recursos hídricos, especialmente en áreas urbanas donde las modificaciones en el uso del suelo pueden alterar significativamente el comportamiento hidrológico.

El estudio de una cuenca es realizado con la finalidad de conocer las características e influencias relativas a su forma geométrica, relieve, declividad y geología. Dichas características intervienen de manera fundamental en los volúmenes de flujo de agua (Pinto y Pinheiro, 2006).

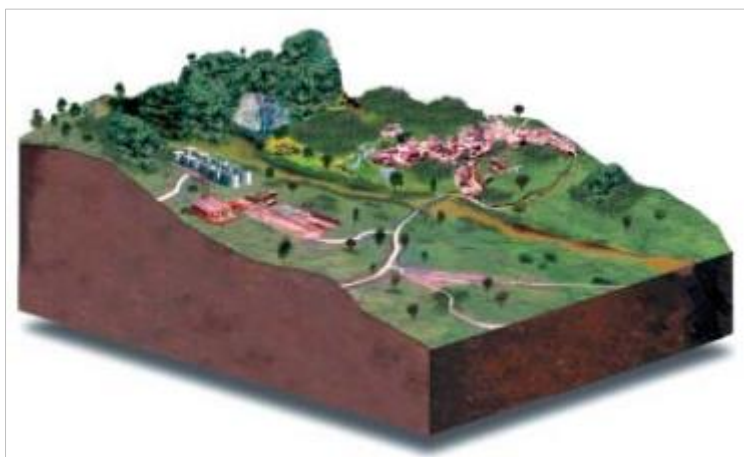
Figura 1 - Sub-Cuenca no urbanizada.



Fuente: Pinto y Pinheiro, 2006.

En esta situación se debe priorizar el plano director con el zoneamiento de las áreas de inundación del curso de agua natural, revitalizar el curso de agua, mantener el lecho en condiciones naturales y promover la deforestación de áreas degradadas.

Figura 2 - Sub-cuenca parcialmente urbanizada.



Fuente: Pinto y Pinheiro, 2006.

En áreas parcialmente urbanizadas, es fundamental adoptar medidas preventivas y de emergencia debido a la creciente ocupación cerca de los cursos de agua. Entre estas acciones se incluyen el establecimiento de un zoneamiento que evite construcciones en áreas de riesgo, la preservación de franjas no edificables a lo largo de los cuerpos de agua y la implementación de legislación municipal que favorezca la retención e infiltración de aguas pluviales, mediante sistemas como zanjas de infiltración y drenajes en calles y viviendas. También se recomienda la instalación de bacias de percolación para mejorar la infiltración, la reforestación para prevenir la erosión y el depósito de sedimentos, la promoción de programas de educación ambiental, y la colocación de interceptores de

aguas residuales para su futuro tratamiento. Estas medidas son clave para mitigar los impactos de la urbanización en las cuencas hidrográficas.

Figura 3 - Sub-cuenca urbanizada.



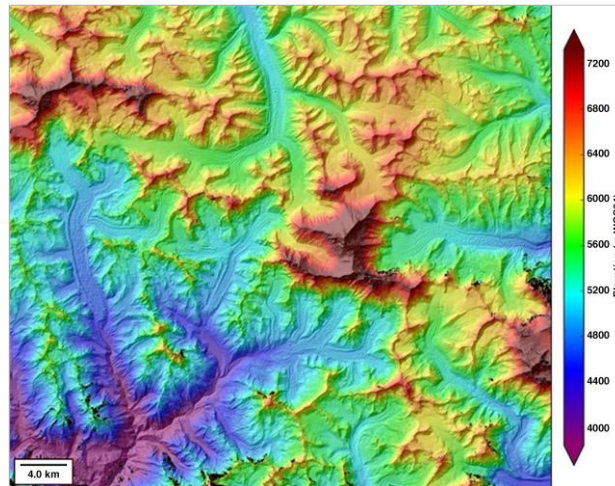
Fuente: Pinto y Pinheiro, 2006.

En cuencas urbanizadas, donde la ocupación de las márgenes y del cauce del río ya está consolidada, la renaturalización y la revalorización ecológica son limitadas, por lo que la intervención del administrador debe enfocarse en aguas arriba para reducir los picos de caudal. Las soluciones para minimizar las inundaciones deben centrarse en aumentar la infiltración del agua superficial en el suelo. Algunas opciones incluyen la creación de pequeños reservorios en condominios, parques y escuelas; la instalación de bacías para amortiguación de crecidas; evitar la pavimentación de calles; establecer parques y áreas verdes; y la implementación de medidas de apoyo a la población, como sistemas de alerta, evacuación y atención a las comunidades afectadas.

2.4 MODELO NUMÉRICO DE TERRENO

Según Felgueiras y Camara (2001), un Modelo Numérico de Terreno (MNT) o también conocido como Modelo Digital de Terreno (MDT), es una representación matemática computacional de la distribución de un fenómeno espacial que ocurre dentro de una región de la superficie terrestre. Datos de relieve, informaciones geológicas, levantamientos de profundidades del mar o de un río, informaciones meteorológicas y datos geofísicos y geoquímicos son ejemplos típicos de fenómenos representados por un MNT.

Figura 4 - Ejemplo de Modelo Digital de Terreno.



Fuente: Adenilson Giovanini, 2021.

Para representar una superficie real en la computadora es indispensable la elaboración de un modelo digital, para generar productos como cartas topográficas mediante el mismo. Dicho modelo puede estar representado por una Red de puntos o por ecuaciones analíticas de modo a caracterizar espacialmente el terreno. Para la creación de un modelo numérico de terreno podemos citar tres etapas: adquisición de muestras, generación del modelo o modelaje y la utilización del modelo o aplicaciones.

2.5 INTENSIDAD DE PRECIPITACIONES

Los datos de precipitación son esenciales para entender la dinámica morfológica de un área específica. Los diversos factores que interactúan como la duración del periodo de lluvias y la cantidad promedio anual de precipitación son de suma importancia para definir la intensidad pluviométrica.

Zahed y Susko (1995) definen las precipitaciones máximas o lluvias intensas como aquellas lluvias cuyas intensidades superen un valor medio definido. Determinar estas intensidades es fundamental para diversos métodos que calculan los caudales del proyecto mediante modelos de transformación lluvia-caudal. Las obras de drenaje urbano involucran grandes costos, y es esencial asegurar la seguridad de la población y la correcta aplicación de los recursos públicos.

La ecuación de lluvias intensas facilita la estimación de parámetros hidrológicos, como el tiempo de concentración y la distribución temporal de las precipitaciones. A partir de registros locales de precipitación, se pueden generar curvas IDF, las cuales permiten estimar la intensidad de la lluvia (mm/h) en una duración específica (t) y para un determinado período de retorno. Las curvas resultantes son la relación IDF, y puede ser expresada por la ecuación 1 del tipo:

$$i = \frac{k \times TR^a}{(t+b)^c} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde;

TR es el tiempo de retorno en años;

I es la intensidad de precipitación en $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$;

t es la duración en minutos;

a, b y c son parámetros ajustados para cada localidad o estación de medición (Souza, 2011).

2.6 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

En el ciclo hidrológico, la precipitación llega al suelo y parte de esta agua se almacena temporalmente en las depresiones del terreno. Posteriormente, el agua comienza a infiltrarse en el suelo hasta saturarlo. Este proceso, conocido como escorrentía superficial libre, puede ocurrir en diversas superficies dentro de una cuenca hidrográfica. La escorrentía sigue un patrón que se desarrolla en pequeñas canaletas formadas naturalmente en el terreno, siguiendo las características topográficas y la acción de la gravedad. Además, la escorrentía se ve influenciada por los obstáculos presentes, como plantas y rocas (CARVALHO, 2006).

La escorrentía superficial se genera después de una precipitación intensa, donde el agua fluye por la superficie del terreno hacia ríos o cuerpos de agua, aunque parte de esta agua puede infiltrarse en el suelo y alcanzar las aguas subterráneas. La impermeabilización del suelo, causada por la urbanización, intensifica este fenómeno al reducir la infiltración y aumentar el volumen de agua escurriendo superficialmente. Por otro lado, el desmonte o la deforestación expone el suelo a una mayor acción de la lluvia, lo que aumenta la erosión y el transporte de sedimentos y nutrientes hacia cuerpos de agua cercanos (PAZ, 2004).

La extensión y las características de la superficie afectan la cantidad de precipitación que se convierte en escorrentía. Factores como la permeabilidad del suelo juegan un papel crucial en la infiltración: a mayor capacidad de infiltración, menor es la escorrentía superficial (CARVALHO, 2006). El coeficiente de escorrentía se define como la relación entre el volumen de agua escurrida y el volumen total de precipitación.

Está influenciado por características del suelo, como la cobertura vegetal y el uso del suelo, así como por la intensidad de la precipitación y el periodo de retorno. La tabla

1, muestra los valores medios del coeficiente de escorrentía para el método racional para diversas tipologías de ocupación.

Tabla 1 – Valores medios del coeficiente de escorrentía para el método racional.

Tipología de ocupación	Coeficiente de escorrentía
Comercial	
En el centro de la ciudad	0,70-0,95
En sus alrededores	0,50 -0,70
Residencial	
Habitaciones unifamiliares	0,30-0,50
Edificios apartados	0,40-0,60
Edificios geminados	0,60-0,70
Suburbano	0,25-0,40
Industrial	
Poco denso	0,50-0,80
Muy denso	0,60-0,90
Parques y cementerios	0,10-0,40
Campos de juegos	0,20-0,40

Fuente: ASCE, 2000.

2.7 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración (t_c) es el intervalo de tiempo necesario para que el agua de la parte más remota de una cuenca hidrográfica llegue al punto de salida o punto más bajo de la cuenca, donde converge toda la escorrentía superficial, siendo la sumatoria entre el tiempo de entrada más el tiempo de viaje. Este parámetro es crucial en la hidrología porque indica el tiempo que tarda en reaccionar toda la cuenca a un evento de precipitación. El tiempo de concentración depende de varios factores como:

- Forma de la cuenca: Cuencas alargadas tienden a tener tiempos de concentración mayores que cuencas más compactas.
- Declividad media de la cuenca: Cuencas con pendientes más pronunciadas tienen tiempos de concentración menores, ya que el agua fluye más rápido.
- Longitud y pendiente del cauce principal: La pendiente y la longitud del cauce influyen la velocidad con la que el agua escurre por el cauce principal hacia el punto de salida.

El tiempo de entrada es comúnmente calculado por el método de Témez, conforme la ecuación 2:

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{0.25}} \right)^{0.76} \quad \text{Ec. (2)}$$

En zonas urbanas, por lo general, el tiempo de entrada o tiempo inicial varía entre 5 a 20 minutos. Ya en zonas urbanas muy impermeables se recomienda adoptar un

tiempo de entrada variando de 5 a 10 min. Por otro lado, en zonas urbanas menos impermeables y con menos densidad de obras de colecta de escorrentía puede variar de 15 a 20 minutos (*GRIBBIN, 2014*).

El tiempo de viaje es calculado dividiendo la longitud total del tramo por la velocidad del flujo de agua.

2.8 MÉTODO DE CÁLCULO DE CAUDAL

El método más adecuado cuando se pretende dimensionar estructuras de drenaje considerando un régimen permanente, para cuencas urbanas con $A < 2 \text{ km}^2$ es el Método Racional (*GRIBBIN, 2014*), como muestra la ecuación 3.

$$Q = CIA \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

C es el coeficiente de escorrentía;

I intensidad de precipitación; y

A el área de la sub-cuenca en análisis.

Entre otros métodos de cálculo de caudal son SCS (Soil Conservation Service), Método Racional Modificado y el método de I-PAI-WU modificado.

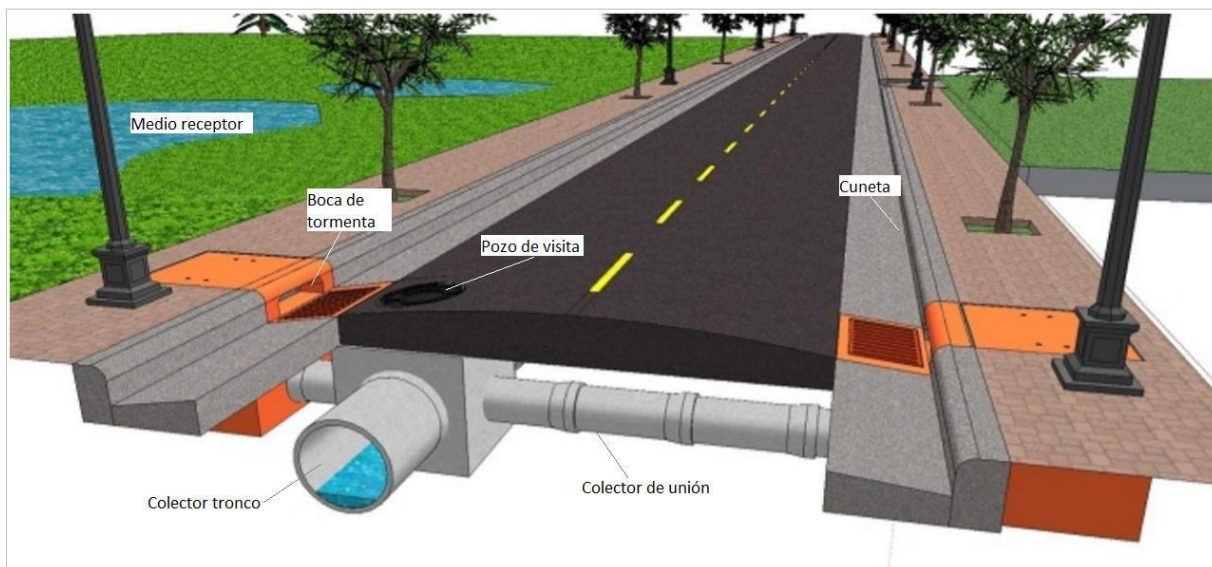
2.9 COMPONENTES DE UNA RED DE DRENAJE PLUVIAL

Las redes de drenaje pluvial están compuestas esencialmente por (*GRIBBIN, 2014*):

- Colector Tronco
- Colector de unión
- Bocas de tormenta.
- Pozos de visita.
- Cunetas.
- Estructuras de salida de cuerpo de agua.
- Medio receptor.

En la figura 5 se puede observar los componentes esenciales de un sistema de red de drenaje.

Figura 5 - Componentes esenciales de un sistema de red de drenaje pluvial.

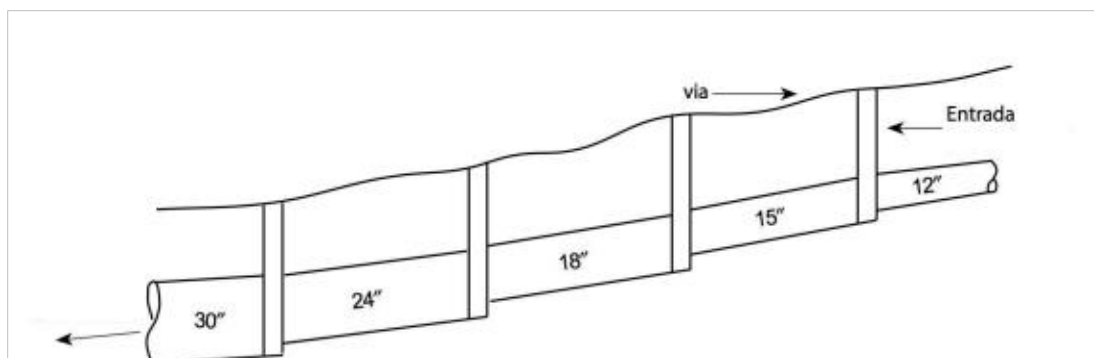


Fuente: Linha Popular adaptado, 2023.

Otros aspectos relevantes que se deben tener en consideración para la implantación de la red de drenaje es que, siempre que sea posible, garantizar que el drenaje del flujo de agua ocurra por gravedad, adoptando declividades iguales a las del terreno.

Según Gribbin (2014), no se debe disminuir el tamaño de los colectores aguas arriba para aguas abajo y al hacer la transición de un colector mayor a uno menor, se deben igualar las alineaciones de las coronas (no de las soleras) y la velocidad mínima o velocidad de autolimpieza, generalmente es considerada en 0,6 m/s, ya la velocidad máxima permitida de modo a evitar erosión de los colectores es de 5 m/s. La reducción de los diámetros mencionados por Gribbin, deben ocurrir conforme se ilustra en la figura 6.

Figura 6 – Disposición de los colectores de concreto.

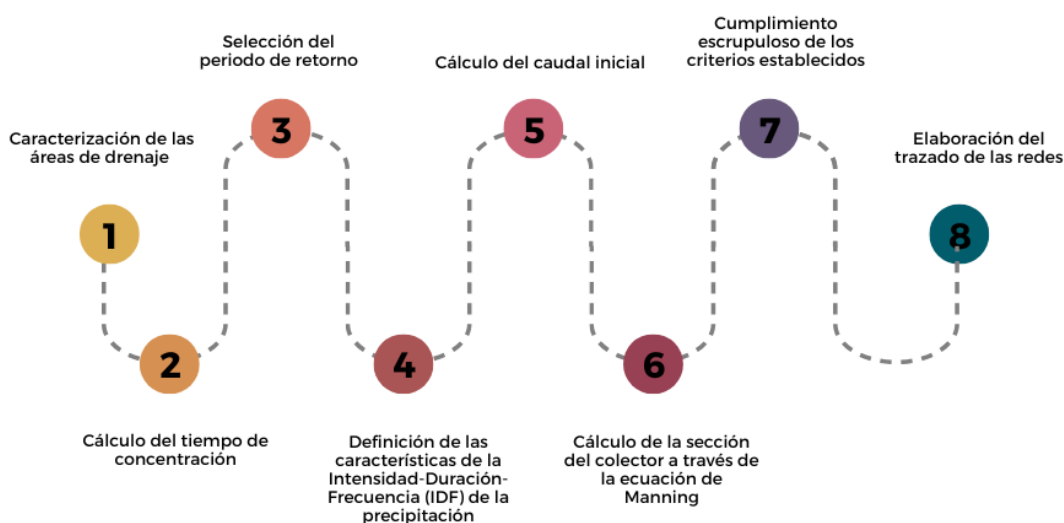


Fuente: Gribbin, 2014.

3 MÉTODO

El enfoque de este trabajo es práctico y está dirigido al desarrollo de un proyecto de drenaje pluvial en el barrio Pablo Rojas. La investigación se apoya en el análisis de datos topográficos y en el diseño de un sistema de drenaje que se ajuste a las condiciones específicas del área. Las etapas del método constan en el siguiente flujograma:

Figura 7 – Flujograma de etapas del método.



Fuente: Autora, 2024.

3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS REDES DE DRENAJE PLUVIAL

Para la realización de cálculos para la infraestructura de la red de drenaje, fueron seguidas las siguientes etapas:

- i. **Determinación de las Áreas de Contribución:** para la determinación de las áreas de contribución de cada porción de área con base a las curvas de nivel obtenidas mediante el MDT.
- ii. **Tiempo de Concentración:** para calcular el tiempo de concentración, se suman el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada fue determinado en 10 minutos para todas las sub-cuencas.
- iii. **Intensidad de Precipitación, Ecuación 4:** para el cálculo de la intensidad de precipitación, por falta de la curva IDF de Ciudad del este, fue utilizada la curva IDF para la ciudad de Foz do Iguaçu por su proximidad.

$$i = \frac{2853 \times TR^{0.13}}{(t + 25.74)^{0.93}}$$

Ec. (4)

Donde,

I: intensidad de precipitación (mm/h);

TR: período de retorno (años);

t: tiempo de concentración (min);

- iv. Cálculo del caudal inicial: para calcular el caudal inicial en el terreno se utilizó el método racional, expresada por la ecuación 3 del apartado 2.8.

$$Q = CIA \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde,

Q: caudal de escorrentía (m^3/s);

C: coeficiente de escorrentía (-);

I: intensidad de precipitación (mm/h);

A: área da cuenca estudiada (ha).

- v. Declividad: la declividad de cada colector fue calculada por los datos de cota y largura de los segmentos obtenidos mediante el MDTen Qgis.
- vi. Relación entre altura del flujo de agua y el diámetro de los colectores (h/D): para garantizar el control de septicidad, el flujo de agua debe ocurrir en superficie libre. Es recomendado que para diámetros menores que 600 mm se adopte h/D menor o igual a 0,5 y para diámetros mayores a 600 mm, la relación h/D deberá ser menor o igual a 0,7. Este parámetro fue ajustado para cada colector.
- vii. Cálculo del caudal de proyecto: el caudal de proyecto fue calculado por la ecuación 5 De Manning.

$$Q = \frac{1}{n} S R_h^{2/3} i^{1/2} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde,

Q: caudal de proyecto (m^3/s);

n: coeficiente de Manning ($0,013 m^{1/3}/s$);

S: área mojada de la sección (m^2);

Rh: radio hidráulico (m);

i: declividad del colector (m/m).

- viii. Ángulo Central: calculado por la ecuación 6.

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{2h}{D} \right) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde,

θ : ángulo central (rad);

h: altura de escorrentía (m);

D: diámetro del colector (m).

- ix. Área mojada: calculada por la ecuación 7.

$$S = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin\theta) \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde,

S: área mojada de la sección (m^2);

θ : ángulo central (rad);

D: diámetro del colector (m).

- x. Perímetro mojado: calculado por la ecuación 8.

$$P = \frac{D\theta}{2} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde,

P: perímetro mojado de la sección circular (m);

θ : ángulo central (rad);

D: diámetro del colector (m).

- xi. Radio hidráulico: calculado por la ecuación 9.

$$R_h = \frac{S}{P} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde,

R_h: radio hidráulico (m);

S: área mojada de la sección (m^2);

P: perímetro mojado de la sección circular (m);

- xii. Diámetro de los colectores

Para hallar el diámetro de los colectores, se utilizará la herramienta “Buscar Objetivo” de *excel*, hasta llegar al diámetro adecuado y adoptar el diámetro comercial más próximo del obtenido.

- xiii. Criterios de velocidad

Para realizar la verificación de velocidad, primero se calcula la velocidad del flujo de agua en el colector dado por la ecuación 10. Una vez obtenida, se realiza la verificación de los criterios, teniendo en consideración la velocidad mínima de 0,6 m/s y la velocidad máxima de 5 m/s.

$$U = \frac{Q}{S} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde,

Q: caudal de proyecto (m^3/s);

U: velocidad de flujo de agua (m/s).

S: área mojada de la sección (m^2);

xiv. Tiempo de recorrido en el colector

Para los tramos iniciales sólo se consideró como tiempo de concentración el tiempo de entrada, calculando el tiempo de recorrido inmediatamente después de elegir el diámetro comercial. Para los tramos siguientes se adoptó el tiempo de viaje igual al calculado para el tramo anterior, calculada por la ecuación 11.

$$t_p = \frac{U}{60L} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde,

t_p : tiempo de recorrido del agua en el colector (min).

L: largura del tramo (m);

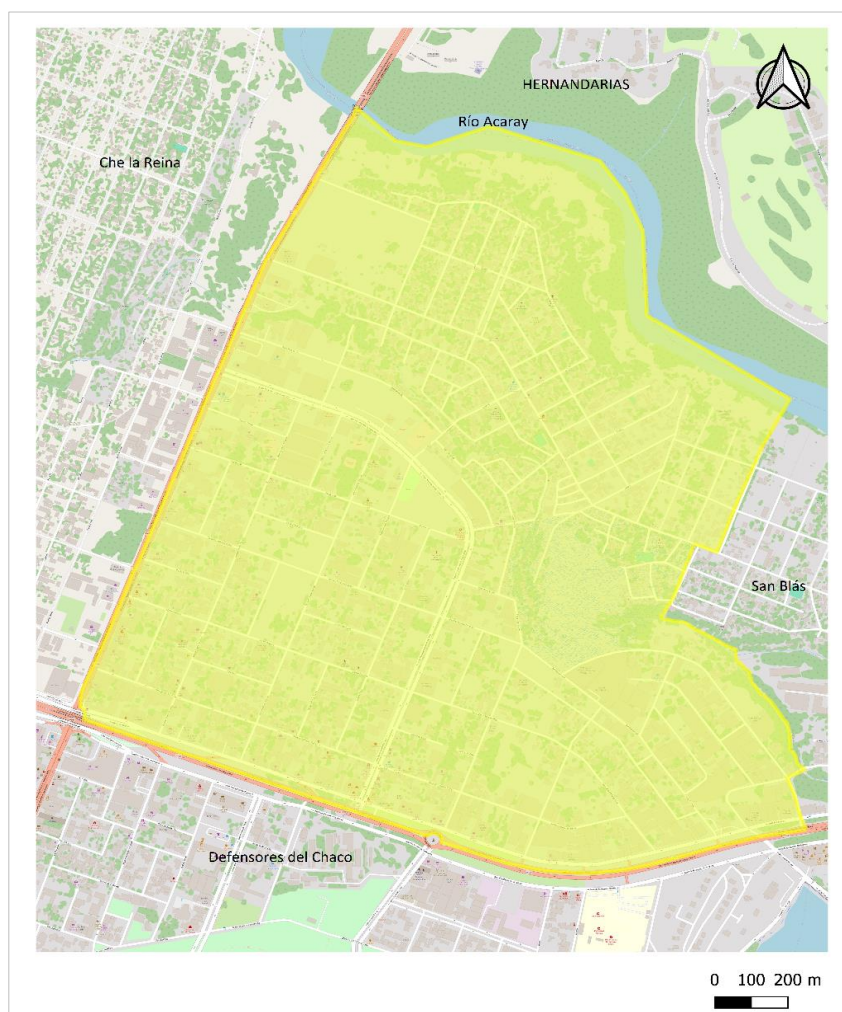
U: velocidad del flujo de agua (m/s).

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Para la elaboración del proyecto de drenaje pluvial, fue seleccionado el Barrio Pablo Rojas de Ciudad del Este. Con un área de 2,74 km² y aproximadamente 5 mil habitantes. El barrio Pablo Rojas conecta directamente otros barrios con el microcentro de ciudad del este, caracterizado por su gran movimiento turístico y económico tornando a sus vías, sumamente importantes para la movilización general de los usuarios. La delimitación del barrio es mostrada en la figura 8.

Figura 8 – Delimitación del Barrio Pablo Rojas.



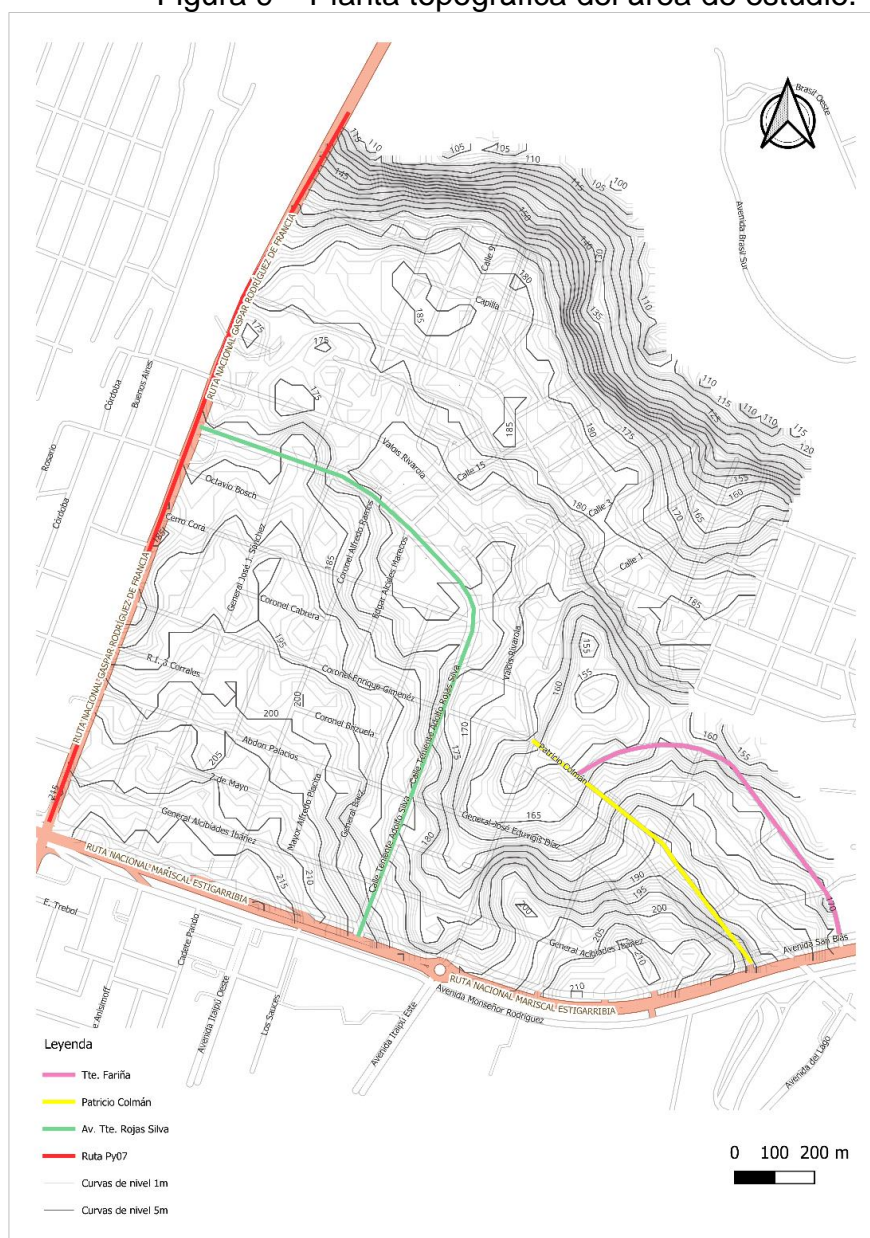
Fuente: Autora (2024).

En el análisis inicial, se intentó compatibilizar la red de drenaje existente con la solución propuesta. Sin embargo, esto no fue posible debido a la ausencia de un proyecto del sistema de drenaje actual, lo que impidió la integración de ambas redes. Como resultado, se diseñó una nueva red de drenaje considerando la zona como si no tuviera elementos de captación y manejo de aguas pluviales.

Este escenario refleja lo señalado por Tucci (2007), quien destaca que la urbanización suele destruir la biodiversidad natural. Las fallas en la gestión del drenaje son consecuencia de una planificación deficiente por parte de los profesionales y autoridades responsables, ya que la atención se centró en el loteamiento del suelo sin considerar adecuadamente el drenaje urbano. Esta situación no solo se presenta en el barrio Pablo Rojas, sino también en muchas otras áreas de Ciudad del Este.

Dado el relieve del barrio, caracterizado por elevaciones variables, el proyecto se dividió en cuatro partes, donde tres cuartas partes de las redes de drenaje proyectadas desembocan directamente en el arroyo Acaraymi. La carta topográfica del Barrio Pablo Rojas es representada en la figura 9, a seguir:

Figura 9 – Planta topográfica del área de estudio.



Fuente: Autora (Dic. 2022).

Entre sus vías principales se encuentra la doble avenida Tte. Rojas Silva y Tte. Fariña, Patricio Colman y la Ruta PY07 que presentan históricos de inundaciones frecuentes como se muestran en la figura 10, 11, 12 y 13 respectivamente. Con base al historial de inundaciones, se resalta la necesidad innata de análisis y elaboración de proyectos de infraestructura de drenaje pluvial para el barrio en cuestión.

La figura 10 muestra la avenida inundada a una cota de 173 metros de elevación, evidenciando la incapacidad del sistema de drenaje pluvial para manejar el volumen de agua generado por un evento de lluvia intensa. La acumulación de agua afecta la circulación de vehículos y representa un riesgo para la infraestructura circundante.

Figura 10 - Inundación sobre la doble avenida Tte. Rojas Silva.



Fuente: Autora (Oct. 2023).

La figura 11 muestra la Av. Tte. Fariña pavimentada, sin veredas, ubicada en una cota de 162 metros de elevación, que ha sido afectada por una inundación tras una lluvia intensa. La acumulación de agua en la vía dificulta el paso de vehículos y genera condiciones de inseguridad para los peatones, debido a la ausencia de espacios peatonales definidos. Este escenario subraya la necesidad de un sistema de drenaje pluvial adecuado, que permita el rápido desalojo del agua y la importancia de considerar la infraestructura peatonal en el diseño urbano para mejorar la seguridad en condiciones climáticas adversas.

Figura 11 - Inundación sobre la avenida Tte. Fariña.



Fuente: Autora (Dic. 2022).

En la figura 12, se puede observar la av. Patricio Colmán, que se encuentra a una cota de 160 metros y presenta una situación similar de inundación que la avenida Tte. Fariña, aunque en este caso, la vía tiene áreas verdes adyacentes, lo que podría facilitar una menor retención de agua si se implementaran adecuadas estrategias de drenaje.

Figura 12 - Inundación sobre la avenida Patricio Colmán.



Fuente: Autora (Dic. 2023).

En la figura 13, se puede observar la Ruta Py07, que se encuentra a una cota de 185 metros y presenta una situación similar de inundación que la avenida Tte. Rojas.

Figura 13 - Inundación sobre la ruta PY07.



Fuente: Autora (Oct. 2023).

Dentro del barrio se constatan 13 bocas de tormenta, distribuidos en diversos puntos, en donde la mayoría se encuentra sobre la Ruta PY07, como muestra la figura 14 a seguir:

Figura 14 - Disposición de las bocas de tormenta.



Fuente: Autora (2024).

Tabla 2 - Localización de las bocas de tormenta en coordenadas UTM.

Bocas de Tormenta	Zona	Este	Norte
A		737439	7177028
B		737475	7177121
C		737488	7177158
D		737523	7177241
E		737531	7177270
F		737556	7177332
G	21S	737582	7177402
H		737583	7177407
I		737691	7177662
J		737707	7177699
K		737794	7177787
L		738282	7177560
M		738333	7177488
N		738642	7176950

Fuente: Autora (2024).

Fue realizada una breve visita a campo sobre la doble av. Tte. Rojas Silva, donde se constató lo siguiente: el nodo inicial que recibe todo el flujo de agua de montante, posee un diámetro de 400mm, como se muestra en la figura 14. Además se pueden observar materias sólidas que podrían comprometer la funcionalidad del colector.

Figura 15 - Nodo inicial sobre Tte.Rojas Silva.



Fuente: Autora (2024).

El nodo intermedio presenta un diámetro de 1000 mm aproximadamente, imágenes no pudieron constatarse debido a la peligrosidad del acceso al pozo de visita.

El nodo final presenta un diámetro de aproximadamente 700 mm, como se muestra en la Figura 15, y en la misma se puede observar además la presencia de

materia grisácea.

Figura 16 - Nodo final sobre Tte. Rojas Silva.



Fuente: Autora (2024).

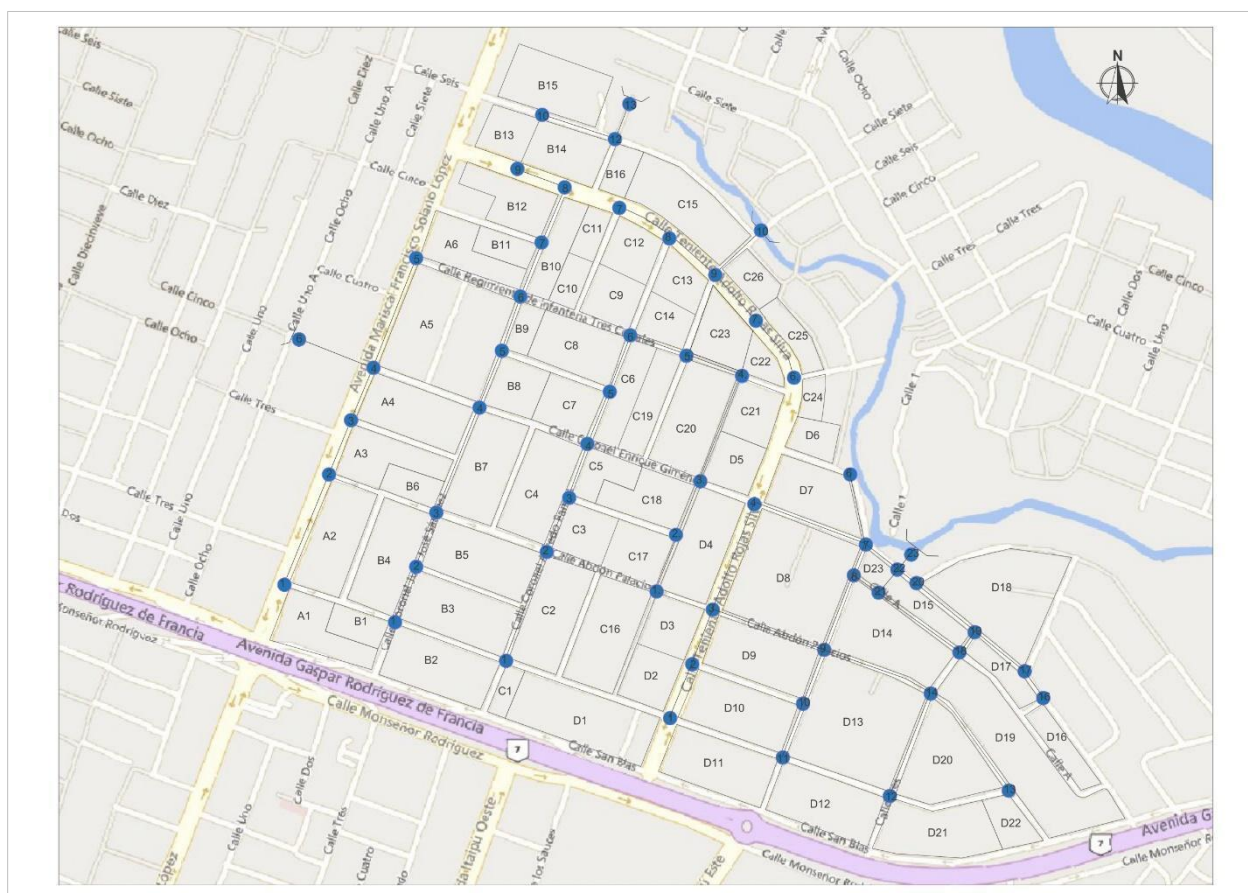
La imagen muestra una acumulación visible de residuos sólidos, como ramas y basura, lo cual puede obstruir el flujo de agua y reducir la capacidad hidráulica de la estructura. Esta situación contribuye a un mayor riesgo de inundaciones durante eventos de lluvia intensa, especialmente si el sistema de drenaje no es capaz de manejar el volumen adicional de agua combinado con los residuos.

La presencia de materia grisácea sugiere una posible conexión de aguas residuales, lo cual no solo es un problema de capacidad del drenaje pluvial, sino también de contaminación, indicando que el sistema de drenaje está recibiendo efluentes sanitarios o industriales no tratados. Esta situación representa un riesgo ambiental y sanitario para el área circundante, subrayando la necesidad de una separación adecuada de los sistemas de aguas pluviales y aguas residuales, además de un mantenimiento regular para evitar la acumulación de residuos.

4.2 ÁREAS DE CONTRIBUCIÓN

Debido al relieve accidentado del Barrio Pablo Rojas y con el fin de simplificar los cálculos, el área de estudio se dividió en cuatro secciones, cada una asignada a una red de drenaje específica. Para facilitar la identificación, las áreas de la **Red de Drenaje 01** se etiquetan con la letra **A**, las de la **Red de Drenaje 02** con la letra **B**, las de la **Red de Drenaje 03** con la letra **C** y las de la **Red de Drenaje 04** con la letra **D**. Esta nomenclatura permite una referencia clara y organizada de cada sección dentro del análisis de drenaje y se muestra en la figura 17.

Figura 17 – Áreas de contribución.



Fuente: Autora (2024).

La Figura 18 ilustra el trazado del sistema de drenaje pluvial en el área de estudio, resaltando las principales conducciones y su distribución en función de la topografía. Este esquema permite visualizar la disposición de las redes de drenaje en relación con las curvas de nivel, facilitando el análisis de la capacidad de captación y el flujo de escorrentía en las distintas áreas. La planificación del sistema toma en cuenta las pendientes naturales del terreno, garantizando que el recorrido del agua de lluvia hacia los puntos de descarga se den por gravedad.

Figura 18 – Trazado del Sistema de Drenaje Pluvial.



Fuente: Autora (2024).

4.3 MEMORIAL DE CÁLCULO

En las tablas a seguir, se pueden apreciar el memorial de cálculo para los sistemas de redes de drenaje.

Los parámetros de la curva IDF utilizados fueron los de Foz do Iguaçu, con $k=2853$, $a=0,13$, $b=25,75$ y $c=0,93$. Con un periodo de retorno de 20 años, tiempo de entrada de 10 minutos y el coeficiente de rugosidad Manning $n=0,013$ para el colector de concreto.

Tabla 3- Cálculos para la Red de Drenaje 01.

Tramo	Largo del tramo	Área de drenaje		Tiempo de Concentración			Intensidad de precipitación	Coefficiente de escorrentía	Largo del colector	Caudal inicial	Inclinación
(-)	(m)	(Σ)	(ha)	te (min)	tv (min)	total (min)	(mm/h)	(-)	(m)	(m ³ /s)	(m/m)
1 a 2	237,94	A1	1,59	10	-	10,00	151,80	0,80	237,94	0,54	0,05
2 a 3	117,49	A1+A2	3,83	10	1,10	11,10	147,61	0,86	117,49	1,35	0,04
3 a 4	114,38	A1+A2+A3	5,41	10	0,41	11,51	146,10	0,78	114,38	1,72	0,04
5 a 4	235,57	A6	1,43	10	-	10,00	151,80	0,80	235,57	0,48	0,01
4 a 6	174,08	A1 a A6	13,62	10	1,96	13,47	139,34	0,73	174,08	3,84	0,03

h/D	Ángulo central	Diámetro	Área mojada	Perímetro mojado	Radio Hidráulico	Caudal de proyecto	Diámetro adoptado	Área adoptada	Velocidad	Velocidad mínima	Velocidad máxima	Verif. de velocidad	tiempo viaje en el tramo
(-)	(rad)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(-)	(min)
0,55	3,34	0,53	0,13	0,89	0,14	0,58	0,60	0,16	3,61	0,60	5,00	ok	1,10
0,55	3,34	0,77	0,26	1,28	0,20	1,35	0,80	0,28	4,77	0,60	5,00	ok	0,41
0,60	3,54	0,82	0,33	1,45	0,23	1,72	0,90	0,40	4,32	0,60	5,00	ok	0,44
0,60	3,54	0,66	0,22	1,17	0,18	0,48	0,70	0,24	2,01	0,60	5,00	ok	1,96
0,70	3,96	1,02	0,61	2,02	0,30	3,84	1,20	0,85	4,54	0,60	5,00	ok	0,64

Los cálculos para la Red de Drenaje 01 indican que el sistema está diseñado para transportar un caudal total de 3,84 m³/s, adaptado a las características hidrológicas del área de estudio. Las inclinaciones en los tramos varían entre un mínimo de 0,01 m/m y un máximo de 0,05 m/m, lo que permite un flujo gravitacional eficiente sin necesidad de bombeo adicional. Los diámetros adoptados para los distintos tramos oscilan entre 0,60 m y 1,20 m, seleccionados para garantizar que las velocidades de flujo se mantengan dentro de los rangos aceptables, evitando problemas de sedimentación o erosión. Estos resultados confirman que el diseño cumple con los requisitos hidráulicos necesarios para una evacuación adecuada de las aguas pluviales y para reducir el riesgo de inundaciones en la zona de estudio.

Tabla 4 - Cálculos para la Red de Drenaje 02.

Tramo	Largo del tramo	Área de drenaje	Tiempo de Concentración			I	Coeficiente de escorrentía	Largo del colector	Caudal inicial	Inclinación	
			(-)	(m)	(Σ)						(ha)
1 a 2	117,19	B1+B2	2,97	10	-	10,00	151,80	0,71	117,19	0,89	0,04
2 a 3	114,41	B1 a B3	5,29	10	0,48	10,48	149,95	0,70	114,41	1,55	0,03
3 a 4	222,38	B1 a B6	10,45	10	0,39	10,86	148,48	0,68	222,38	2,95	0,03
4 a 5	126,95	B1 a B7	12,71	10	0,79	11,66	145,56	0,69	126,95	3,53	0,02
5 a 6	117,23	B1 a B8	13,77	10	0,53	12,19	143,68	0,66	117,23	3,61	0,02
6 a 7	115,3	B1 a B9	14,26	10	0,46	12,65	142,09	0,65	115,30	3,65	0,04
7 a 8	121,26	B1 a B9 +B11	14,90	10	0,45	13,09	140,59	0,66	121,26	3,83	0,02
8 a 9	101,39	B1 a B9 +B11	14,90	10	0,44	13,53	139,12	0,66	101,39	3,79	0,02
9 a 10	121,25	B1 a B9 +B11 +B12	16,38	10	0,35	13,88	138,00	0,68	121,25	4,24	0,03
10 a 12	155,38	B1 a B9 +B11 + B12 +B13	17,30	10	0,43	14,31	136,63	0,67	155,38	4,41	0,01
12 a 13	88,00	B1 a B16	22,63	10	0,61	14,74	135,29	0,63	88,00	5,32	0,01

h/D	Ángulo central	Diámetro	Área mojada	Perímetro mojado	Radio Hidráulico	Caudal de proyecto	Diámetro adoptado	Área adoptada	Velocidad	Velocidad mínima	Velocidad máxima	Verif. de velocidad	tiempo viaje en el tramo
(-)	(rad)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	(m/s)		(min)
0,55	3,34	0,65	0,19	1,08	0,17	0,89	0,70	0,22	4,10	0,60	5,00	ok	0,48
0,60	3,54	0,79	0,30	1,39	0,22	1,55	0,80	0,31	4,92	0,60	5,00	ok	0,39
0,75	4,19	0,94	0,56	1,96	0,28	2,95	1,00	0,63	4,67	0,60	5,00	ok	0,79
0,70	3,96	0,91	0,49	1,80	0,27	2,34	1,00	0,59	3,99	0,60	5,00	ok	0,53
0,70	3,96	1,14	0,76	2,26	0,34	3,61	1,20	0,85	4,27	0,60	5,00	ok	0,46
0,70	3,96	0,96	0,54	1,90	0,28	3,65	1,20	0,85	4,32	0,60	5,00	ok	0,45
0,70	3,96	1,09	0,70	2,16	0,32	3,87	1,20	0,85	4,58	0,60	5,00	ok	0,44
0,70	3,96	1,17	0,80	2,31	0,35	4,14	1,20	0,85	4,90	0,60	5,00	ok	0,35
0,70	3,96	1,11	0,72	2,20	0,33	4,67	1,30	0,99	4,71	0,60	5,00	ok	0,43
0,70	3,96	1,41	1,17	2,80	0,42	4,90	1,40	1,15	4,26	0,60	5,00	ok	0,61
0,70	3,96	1,42	1,19	2,82	0,42	5,33	1,50	1,32	4,03	0,60	5,00	ok	0,36

Fuente: Autora (2024).

Los cálculos para la Red de Drenaje 02 indican que el sistema está diseñado para transportar un caudal total de 5,33 m³/s, lo cual responde a la demanda hidrológica del área de estudio. Las pendientes en los tramos varían entre un mínimo de 0,01 m/m y un máximo de 0,04 m/m, permitiendo un flujo gravitacional adecuado.

Los diámetros adoptados para los tramos varían entre 0,70 m y 1,50 m, asegurando que las velocidades de flujo se mantengan dentro de los rangos recomendados para evitar tanto sedimentación como erosión. Estos resultados muestran que la Red de Drenaje 02, al igual que la Red de Drenaje 01, cumple con los requisitos hidráulicos, proporcionando una capacidad adecuada para el manejo de aguas pluviales.

Tabla 5 - Cálculos para la Red de Drenaje 03.

Tramo	Largo del tramo	Área de drenaje	Tiempo de Concentración			I	Coeficiente de escorrentía	Largo del colector	Caudal inicial	Inclinación	
			te (min)	tv (min)	total (min)						
(-)	(m)	(Σ)	(ha)			(mm/h)	(-)	(m)	(m ³ /s)	(m/m)	
1 a 2	234,72	C1	0,40	10	-	10,00	151,80	0,70	234,72	0,12	0,04
2 a 3	118,43	C1 a C2	2,61	10	1,32	11,32	146,79	0,40	118,43	0,43	0,03
3 a 4	117,00	C1 a C3	3,67	10	0,81	12,13	143,88	0,50	117,00	0,74	0,05
4 a 5	114,12	C1 a C5	6,68	10	0,60	12,73	141,79	0,40	114,12	1,06	0,04
5 a 6	120,2	C1 a C5 +C7	7,87	10	0,43	13,16	140,35	0,36	120,20	1,09	0,05
6 a 5.	116,41	C1 a C10	12,39	10	0,48	13,64	138,76	0,46	116,41	2,19	0,03
5. a 4.	119,12	C1 a C10 +C14+C19	14,38	10	0,42	14,06	137,41	0,49	119,12	2,68	0,01
1. a 2.	120,65	C16	2,37	10	-	10,00	151,80	0,75	120,65	0,75	0,02
2. a 3.	113,42	C16+C17	3,60	10	0,77	10,77	148,83	0,73	113,42	1,09	0,04
3. a 4.	232,07	C16 a C18	5,00	10	0,50	11,27	146,97	0,74	232,07	1,51	0,06
7 a 8	119,24	C11	0,54	10	-	10,00	151,80	0,54	119,24	0,12	0,03
8 a 9	119,79	C11+C12	1,57	10	1,56	11,56	145,93	0,46	119,79	0,29	0,03
6. a 7.	139,92	C24	0,40	10	-	10,00	151,80	0,90	139,92	0,15	0,01
4. A 7.	111,87	C1 a C10 + C14+C16 a C21	22,80	10	0,50	14,56	135,83	0,57	111,87	4,88	0,01
7. a 9	125,26	C1 a C10+ C14+C16 a C22+C24+C25	27,39	10	0,67	15,23	133,78	0,54	125,26	5,52	0,01
9 a 10	128,35	C1 a C26	31,53	10	0,67	15,90	131,80	0,57	128,35	6,60	0,01

h/D	Ángulo central	Diámetro	Área mojada	Perímetro mojado	Radio Hidráulico	Caudal de proyecto	Diámetro adoptado	Área adoptada	Velocidad	Velocidad mínima	Velocidad máxima	Verif. de velocidad	tiempo viaje en el tramo
(-)	(rad)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	(m/s)		(min)
0,50	3,14	0,52	0,11	0,82	0,13	0,42	0,60	0,14	2,97	0,60	5,00	ok	1,32
0,60	3,54	0,52	0,13	0,92	0,14	0,43	0,60	0,18	2,43	0,60	5,00	ok	0,81
0,60	3,54	0,50	0,13	0,89	0,14	0,57	0,60	0,18	3,23	0,60	5,00	ok	0,60
0,60	3,54	0,68	0,23	1,21	0,19	1,07	0,70	0,24	4,44	0,60	5,00	ok	0,43
0,65	3,75	0,62	0,21	1,16	0,18	1,10	0,70	0,26	4,15	0,60	5,00	ok	0,48
0,70	3,96	0,85	0,43	1,69	0,25	2,21	0,90	0,48	4,65	0,60	5,00	ok	0,42
0,70	3,96	1,17	0,80	2,31	0,35	2,70	1,20	0,85	3,19	0,60	5,00	ok	0,62
0,70	3,96	0,63	0,24	1,26	0,19	0,75	0,70	0,29	2,61	0,60	5,00	ok	0,77
0,70	3,96	0,63	0,24	1,26	0,19	1,09	0,70	0,29	3,79	0,60	5,00	ok	0,50
0,65	3,75	0,60	0,20	1,13	0,17	1,09	0,70	0,26	4,12	0,60	5,00	ok	0,94
0,70	3,96	0,30	0,05	0,59	0,09	0,12	0,40	0,09	1,28	0,60	5,00	ok	1,56
0,70	3,96	0,39	0,09	0,77	0,12	0,29	0,40	0,09	3,09	0,60	5,00	ok	0,65
0,70	3,96	0,36	0,07	0,71	0,11	0,15	0,40	0,09	1,60	0,60	5,00	ok	1,46
0,70	3,96	1,44	1,22	2,86	0,43	4,92	1,50	1,32	3,72	0,60	5,00	ok	0,50
0,70	3,96	1,55	1,41	3,07	0,46	5,63	1,75	1,80	3,13	0,60	5,00	ok	0,67
0,70	3,96	1,66	1,61	3,29	0,49	6,65	2,00	2,35	2,83	0,60	5,00	ok	0,76

Fuente: Autora (2024).

La Red de Drenaje 03 fue diseñada para manejar un caudal total de 6.65 m³/s, adaptándose a las necesidades de manejo de aguas pluviales de esta sección del área de estudio. Las declividades de los tramos oscilan entre 0,01 m/m y 0,05 m/m, lo que facilita el flujo por gravedad sin necesidad de bombeo adicional. Los diámetros seleccionados para los distintos tramos varían entre 0,40 m y 1,75 m. Para el último tramo 9 a 10, deberán ser instalados dos colectores en paralelo, con un diámetro mínimo de 1 metro para manejar todo el caudal.

Tabla 6 - Cálculos para la Red de Drenaje 04.

Tramo	Largo del tramo	Área de drenaje		Tiempo de Concentración			I	Coeficiente de escorrentía	Largo del colector	Caudal inicial	Inclinación
				te (min)	tv (min)	total (min)					
(-)	(m)	(Σ)	(ha)				(mm/h)	(-)	(m)	(m ³ /s)	(m/m)
1 a 2	118,33	D1	3,01	10	-	10,00	151,80	0,80	118,33	1,02	0,05
2 a 3	116,42	D1+D2	4,11	10	0,41	10,41	150,21	0,79	116,42	1,35	0,03
3 a 4	230,66	D1 a D3	5,22	10	0,54	10,94	148,18	0,77	230,66	1,65	0,03
4 a 7	142,17	D1 a D5	8,38	10	0,88	11,82	144,98	0,70	236,98	2,38	0,04
6 a 7	236,98	D6	0,67	10	-	10,00	151,80	0,80	142,17	0,23	0,11
7 a 22	85,00	D1 a D8	15,53	10	0,97	12,80	141,58	0,67	85,00	4,08	0,04
11 a 10	115,86	D11+D12	4,48	10	-	10,00	151,80	0,78	115,86	1,47	0,04
10 a 9	115,56	D10 a D12	6,72	10	0,49	10,49	149,88	0,75	115,56	2,10	0,08
9 a 8	162,25	D9 a D13	13,67	10	0,44	10,93	148,23	0,57	162,25	3,20	0,04
8 a 21	68,50	D9 a D13	13,67	10	0,60	11,53	146,02	0,57	68,50	3,16	0,01
21 a 22	50,00	D9 a D14	16,38	10	0,31	11,84	144,92	0,52	50,00	3,46	0,02
12 a 14	221,25	D21	2,03	10	-	10,00	151,80	0,80	221,25	0,69	0,10
13 a 14	255,50	D22	0,96	10	-	10,00	151,80	0,80	255,50	0,33	0,10
		D20+D21+									
14 a 9	232,00	D22	5,47	10	1,26	11,26	147,00	0,73	232,00	1,63	0,04
16 a 17	69,00	D18	0,82	10	-	10,00	151,80	0,80	69,00	0,28	0,01
17 a 19	128,81	D18	0,82	10	0,58	10,58	149,55	0,80	128,81	0,27	0,08
18 a 19	52,00	D19	4,15	10	-	10,00	151,80	0,80	52,00	1,40	0,02
19 a 20	153,79	D17 a D19	5,68	10	1,12	11,12	147,51	0,79	153,79	1,85	0,07
20 a 22	44,00	D16 a D20	11,95	10	0,52	11,64	145,61	0,73	44,00	3,55	0,05
22 a 23	57,00	D1 a D23	48,05	10	0,29	13,09	140,60	0,64	57,00	11,98	0,02

h/D	Ángulo central	Diámetro	Área mojada	Perímetro mojado	Radio Hidráulico	Caudal de proyecto	Diámetro adoptado	Área adoptada	Velocidad	Velocidad mínima	Velocidad máxima	Verif. de velocidad	tiempo viaje en el tramo
(-)	(rad)	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	(m/s)		(min)
0,70	3,96	0,58	0,20	1,15	0,17	1,02	0,60	0,21	4,83	0,60	5,00	ok	0,41
0,70	3,96	0,73	0,31	1,45	0,22	1,36	0,80	0,38	3,62	0,60	5,00	ok	0,54
0,70	3,96	0,76	0,34	1,51	0,23	1,65	0,80	0,38	4,39	0,60	5,00	ok	0,88
0,70	3,96	0,83	0,40	1,64	0,25	2,38	1,00	0,59	4,05	0,60	5,00	ok	0,97
0,50	3,14	0,41	0,07	0,65	0,10	0,36	0,50	0,10	3,70	0,60	5,00	ok	0,64
0,70	3,96	1,04	0,64	2,06	0,31	4,10	1,20	0,85	4,85	0,60	5,00	ok	0,29
0,70	3,96	0,68	0,27	1,35	0,20	1,47	0,80	0,38	3,91	0,60	5,00	ok	0,49
0,70	3,96	0,70	0,28	1,38	0,21	2,10	0,90	0,48	4,41	0,60	5,00	ok	0,44
0,70	3,96	0,91	0,49	1,81	0,27	3,20	1,10	0,71	4,50	0,60	5,00	ok	0,60
0,70	3,96	1,11	0,73	2,21	0,33	3,16	1,20	0,85	3,74	0,60	5,00	ok	0,31
0,70	3,96	1,09	0,69	2,16	0,32	3,46	1,20	0,85	4,09	0,60	5,00	ok	0,20
0,50	3,14	0,53	0,11	0,83	0,13	0,69	0,60	0,14	4,88	0,60	5,00	ok	0,76
0,50	3,14	0,41	0,06	0,64	0,10	0,33	0,50	0,10	3,37	0,60	5,00	ok	1,26
0,65	3,75	0,74	0,29	1,38	0,21	1,63	0,80	0,35	4,71	0,60	5,00	ok	0,82
0,50	3,14	0,55	0,12	0,86	0,14	0,28	0,60	0,14	1,98	0,60	5,00	ok	0,58
0,50	3,14	0,39	0,06	0,62	0,10	0,27	0,60	0,14	1,91	0,60	5,00	ok	1,12
0,70	3,96	0,78	0,36	1,55	0,23	1,40	0,80	0,38	3,73	0,60	5,00	ok	0,23
0,70	3,96	0,68	0,27	1,35	0,20	1,85	0,80	0,38	4,92	0,60	5,00	ok	0,52
0,70	3,96	0,92	0,50	1,83	0,27	3,55	1,10	0,71	4,99	0,60	5,00	ok	0,15
0,70	3,96	1,78	1,86	3,53	0,53	12,04	2,20	2,84	4,24	0,60	5,00	ok	0,22

Fuente: Autora (2024).

Para la Red de Drenaje 04, los cálculos indican una capacidad para transportar un caudal total de 12.04 m³/s, siendo así la red con mayor caudal del área de estudio. Las declividades varían entre 0.01 m/m y 0.11 m/m debido a la topografía del terreno, garantizando el flujo por gravedad. Los diámetros adoptados para los distintos tramos varían entre 0,50 m y 1,20 m, permitiendo que el sistema mantenga velocidades de flujo seguras, en un rango que previene tanto la acumulación de sedimentos como la erosión en los colectores. Para el último tramo 22 a 23, deberán ser instalados dos colectores en paralelo, con un diámetro mínimo de 1,10 metros, pues el diámetro requerido es mucho mayor a los disponibles comercialmente

Durante la implementación del sistema proyectado, se prevé que las obras puedan generar complicaciones debido a la densidad poblacional, ya que se trata de una zona urbana consolidada con residencias, comercios y fábricas. La intervención implicará modificaciones en el sistema vial, excavaciones, movimiento de tierras y la alteración de veredas para la instalación de rejillas de desagüe, lo que puede causar problemas como contaminación acústica, limitaciones en la movilidad de los residentes y generación de residuos sólidos. Por lo tanto, se requiere un plan de desvío de tráfico y una ejecución por etapas para minimizar el impacto.

Se recomienda a las autoridades municipales fortalecer la gestión de residuos sólidos y mejorar los servicios de limpieza de las vías, ya que, después de la implementación del nuevo sistema de drenaje, los residuos podrían obstruir nuevamente las bocas de tormenta y los colectores, comprometiendo la eficiencia en la captación de aguas pluviales. Además, es fundamental realizar un análisis más detallado del cuerpo receptor, considerando tanto los aspectos hidrológicos como ambientales. Estos estudios son esenciales para evaluar la viabilidad de la implementación del proyecto y determinar si el caudal proyectado es adecuado para el entorno receptor.

También sería beneficioso realizar una modelación hidráulica e hidrológica avanzada, utilizando modelos más precisos para simular el comportamiento del agua en el sistema de drenaje proyectado, considerando diferentes escenarios de lluvia y variaciones en el uso del suelo. Esto permitiría optimizar el diseño del sistema y prever posibles desafíos operativos.

Asimismo, es recomendable realizar un análisis costo-beneficio que compare diferentes soluciones de drenaje, considerando no solo el costo de la obra, sino también los costos de mantenimiento y operación a largo plazo. De este modo, se podrá asegurar la sostenibilidad económica del proyecto.

Es necesario alinear el diseño de los sistemas de drenaje con los planes de desarrollo urbano, promoviendo una planificación integrada que contemple la expansión de infraestructura y servicios, garantizando una mejor adaptación al crecimiento de la ciudad. Además, se sugiere considerar un plan de recuperación de áreas degradadas, en paralelo al desarrollo del sistema de drenaje, para restaurar las condiciones naturales del entorno afectado por erosión o contaminación.

5 CONSIDERACIONES FINALES

El Barrio Pablo Rojas enfrenta graves problemas con el drenaje de aguas pluviales, resultado de un sistema ineficiente o, en gran medida, inexistente. Esta situación deriva del acelerado crecimiento poblacional y la falta de planificación urbana en la ciudad, lo cual ha provocado la acumulación de agua y el deterioro de las márgenes del arroyo Acaraymi, el cual recibe toda la escorrentía del área. Ante esta problemática, es imprescindible la implementación de un sistema de drenaje pluvial adecuado.

El uso de herramientas como QGIS y los datos SRTM ha demostrado el valor de las tecnologías de geoprocésamiento en el análisis y desarrollo de sistemas de drenaje, permitiendo construir una carta topográfica precisa para el área de estudio. Estas tecnologías contribuyen a un diseño de red de drenaje ajustado a la topografía local y subrayan la importancia de su uso en la planificación urbana de ciudades en expansión.

El proyecto propone un sistema de drenaje urbano capaz de manejar el caudal proyectado de las áreas de contribución. Con un diseño que incluye 7349 metros de colectores de concreto, oscilan entre 0,40 m y 1,75 m, 60 pozos de visita y una estimativa de 231 bocas de tormenta, el sistema está basado en un flujo gravitacional que dirige el agua hacia el arroyo Acaraymi, siendo capaz de transportar un caudal de $27,86 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para futuros trabajos, sería valioso incorporar estudios de impacto social para evaluar la percepción de los residentes sobre las obras de drenaje, así como la comunicación del proyecto y su aceptación. Esto permitiría diseñar estrategias más efectivas para minimizar el impacto durante la ejecución del proyecto. Otra recomendación clave es implementar un programa de monitoreo periódico de la calidad del agua en el arroyo Acaraymi, antes, durante y después de la ejecución del proyecto, para identificar cualquier posible alteración ambiental y tomar medidas correctivas a tiempo, además se podría ejecutar el proyecto con otros tipos de materiales que hoy existen en el mercado.

Se concluye que los objetivos del estudio fueron alcanzados, sin embargo, dada la complejidad del sistema propuesto, se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar la viabilidad de su implementación. La incorporación de modelos con mayor resolución espacial y la realización de validaciones de campo contribuirán a asegurar que los modelos teóricos representen con precisión la realidad del terreno en el Barrio Pablo Rojas.

REFERENCIAS

[1] ARAUJO, B. A. M.; SILVEIRA, C. S.; SOUZA, J. L.; JÚNIOR, J. V. F. M.; ALMEIDA, F. A. F.; STUART, T. M. C. **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011.

[2] ASCE. **Handbook of Hydrology**. New York: American Society of Civil Engineers, 2000.

[3] ASCE (American Society of Civil Engineers). **Urban Hydrology for Small Watersheds**. New York: ASCE, 2000.

[4] AZEVEDO NETTO, J. M. de; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

[5] BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2004.

[6] BULHÕES, Carlos; ALMIR, José. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. 2. ed. rev. e aum. Porto Alegre: ABRH, 2013.

[7] CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia: Capítulo 4. Precipitação**. [S. l.], 2006.

[8] CONFORMAN COMITÉ DE EMERGENCIA ANTE INUNDACIONES. OnLivePy, 2021. Disponible en: <https://www.onlivepy.com.py/2021/02/02/cde-conforman-comite-de-emergencia-ante-inundaciones/>. Acceso en: 3 dic. 2022.

[9] CORRÊA, Francisco de Assis de Souza. **Engenharia Hidrológica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

[10] CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos: INPE, 2004.

[11] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Álbum de projetos tipo: dispositivos de drenagem**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 180 p. (IPR. Publ., 736). Disponible en: [https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/02/18%20%20Album de projetos tipo dispositivos de drenagem em ipr 736.pdf](https://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2010/02/18%20%20Album%20de%20projetos%20tipo%20dispositivos%20de%20drenagem%20em%20ipr%20736.pdf). Acceso en: 7 set. 2024.

[12] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 096/2006 - ES: **Drenagem – Bueiros de concreto tipo minitúnel sem interrupção do tráfego – Especificação de serviço**. Brasília: DNIT, 2006. Disponible en: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit 096 2006 es.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit%20096%202006%20es.pdf).

Acceso en: 7 set. 2024.

[13] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 333 p. (IPR. Publ., 724). Disponible en: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf. Acesso em: 6 set. 2024.

[14] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Projeto de Emenda 3 da Publicação IPR – 736: **Álbum de projetos-tipo de dispositivos de drenagem**, 5ª edição. Brasília: DNIT, 2018. Disponible en: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/consulta-publica/projeto_de_emenda_3_ipr_736_consulta_publica.pdf. Acesso en: 7 set. 2024.

[15] DINAC (Dirección de Meteorología e Hidrología). **Anuario climatológico del Paraguay 2023**. Asunción: Dirección de Meteorología e Hidrología, 2024. Disponible en: https://www.meteorologia.gov.py/wp-content/uploads/2024/06/anuario_climatologico_2023_DSC.pdf. Acesso en: 6 ago. 2024.

[16] DISTRITO FEDERAL. **Manual de Drenagem Urbana do Distrito Federal**. Brasília: Governo do Distrito Federal, 2018.

[17] FOZ DO IGUAÇU. Ofício nº 1063/2021 - **Resposta ao requerimento nº 17840/2021**. Foz do Iguaçu, 2021. Disponible en: https://sapl.fozdoiguacu.pr.leg.br/media/sapl/public/materialegislativa/2021/17840/oficio_no_1063.pdf. Acesso en: 11 ago. 2024.

[18] GOMES, Marcelo; VERÓL, Aline; MOURA, Osvaldo. **Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

[19] GONÇALVES, Lidiane Souza. **Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite**. 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

[20] GRASSI, Benjamín. **Estudio del Clima Paraguay**, 2019. Asunción: MADES-STP, 2020.

[21] GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

[22] HIDALGO NUNES, Lucí. **Urbanização e Desastres Naturais: Abrangência América do Sul**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

[23] JÚNIOR, Nicácio Lemes de Almeida. **Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica**. 2005. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) -

Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

[24] LA NACIÓN. Bomberos de Ciudad del Este rescataron a 13 niños de zonas inundadas, 2022. Disponible en: <https://www.lanacion.com.py/pais/2022/03/24/bomberos-de-ciudad-del-este-rescataron-a-13-ninos-de-zonas-inundadas/>. Acceso en: 1 dic. 2022.

[25] LOBODA, Isadora. **Análise Multicritério Aplicada ao Planejamento Urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2021. Disponible en: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4641496/mod_resource/content/1/aula%204_LOB1233.pdf. Acceso en: 8 ago. 2024.

[26] MARICATO, E. **Meio ambiente e reforma urbana**. São Paulo: EDUSP, 1994.

[27] MUNICIPALIDAD DE CIUDAD DEL ESTE. **Plano General de Ciudad del Este: Anteproyecto Nomenclatura de Barrios**. Ciudad del Este: División Catastro, 2019.

[28] NUVOLARI, ARIIVALDO (org.). **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

[29] PARANÁ. Secretaria do Planejamento Estratégico. **Manual de drenagem urbana**. Vol. 1. Município de Toledo, 2017.

[30] PARDO CANHOLI, Aluísio. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

[31] PAZ, A. R. da. **Hidrología Aplicada: Texto Básico**. Caxias do Sul, set. 2004. Disponible en: http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERG_S.pdf. Acceso en: 15 oct. 2024.

[32] PODER LEGISLATIVO. **Recursos Hídricos del Paraguay/Ley Nº 3239**, del 10 de julho de 2007. Asunción, 2007.

[33] PRESSERV ENGENHARIA. **Guias, Sarjetas e Sarjetões**. [S. I.], 202?.

[34] SAATY, T. L. **How to make a decision: the analytic hierarchy process**. European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>.

[35] SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980.

[36] SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DO TURISMO. **Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba - PR, versão 1.0**. Curitiba: SEMA, 2002. Disponible en: <https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua->

terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mdu_versao01.pdf. Acesso em: 8 oct. 2024.

[37] SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO (São Paulo). Prefeitura de São Paulo. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Aspectos tecnológicos: Diretrizes para projetos**. São Paulo, 2012.

[38] SOUZA, J. M. **A importância da Avenida Brasil no processo de metropolização da cidade do Rio de Janeiro**, 2019.

[39] TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. Guarulhos, 2002.

[40] TUCCI, C. E. M. **Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

[41] TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da drenagem urbana**. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, RS, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

[42] TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. 4. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

[43] TUCCI, Carlos. **Inundações Urbanas**. 1. ed. Porto Alegre, 2007.

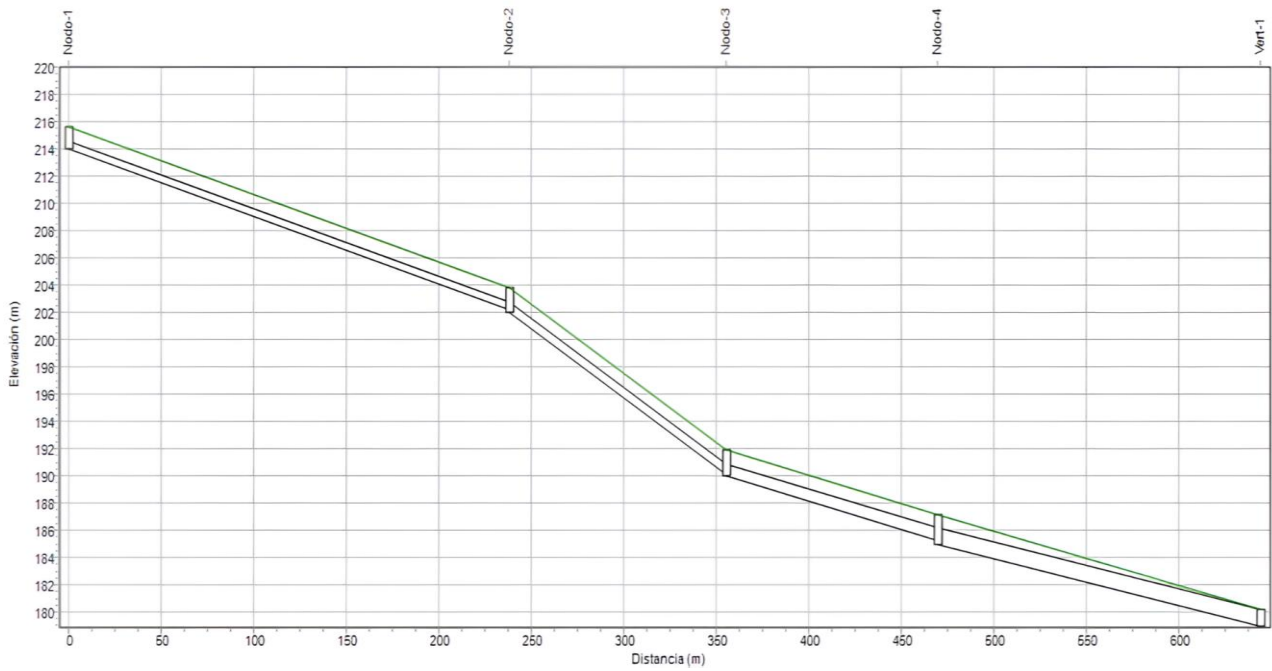
[44] TUCCI, Carlos; PORTO, Rubem; DE BARROS, Mario. **Drenagem Urbana**. 1. ed. atual. Porto Alegre, 2015.

[45] URGEN A PRIETO CONSTRUCCIÓN DE DESAGÜE PLUVIAL EN EL CENTRO. La Clave, 2021. Disponible en: <https://www.laclave.com.py/2021/01/15/urgen-a-prieto-construccion-de-desague-pluvial-en-el-centro/>. Acesso em: 8 dic. 2022.

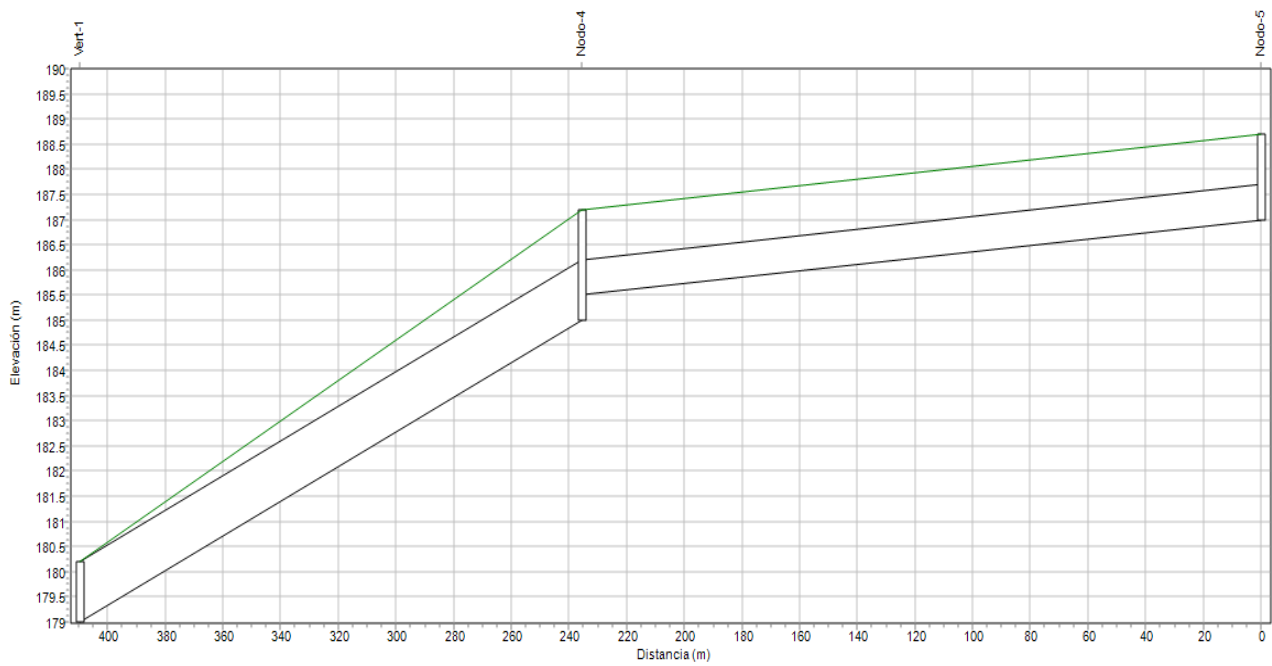
[46] ZAHED, Kamel; SUSKO, Silvana. **Precipitaciones Máximas**. Separata de: *Drenagem Urbana*. 1995.

APÉNDICES

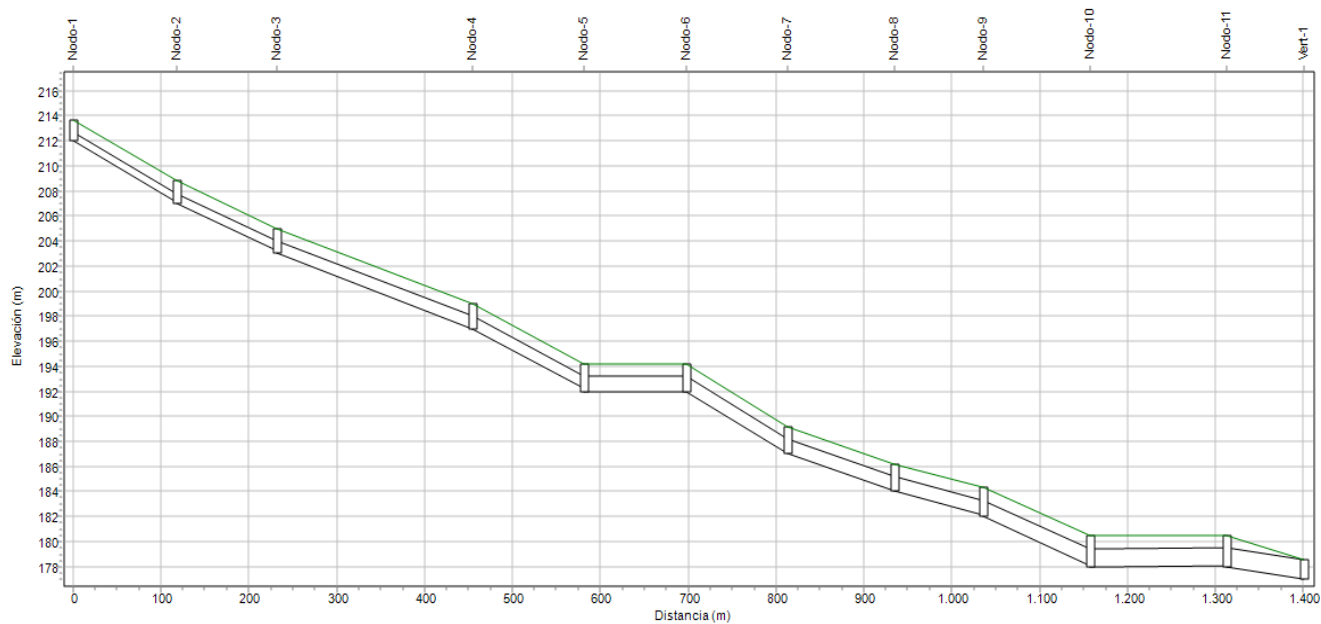
Apêndice A – Perfil de elevação: Nodo 1 a Vert 1 (RD01)



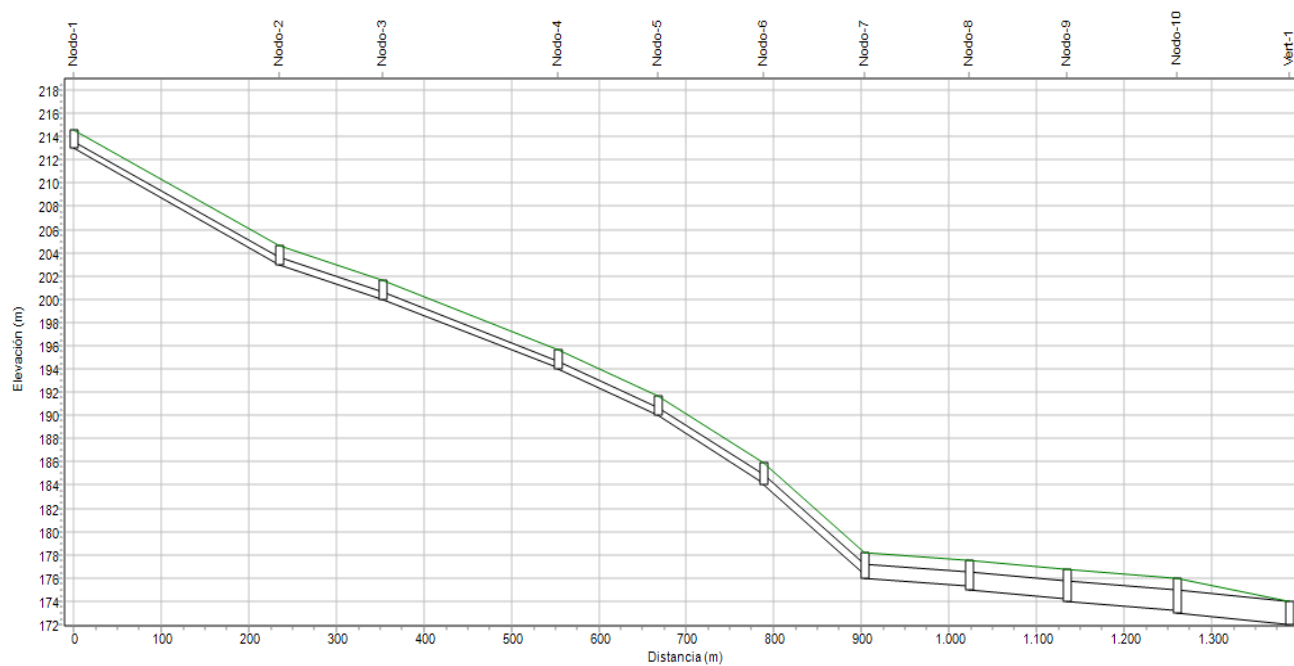
Apêndice B – Perfil de elevação: Nodo 5 a Vert 1 (RD01)

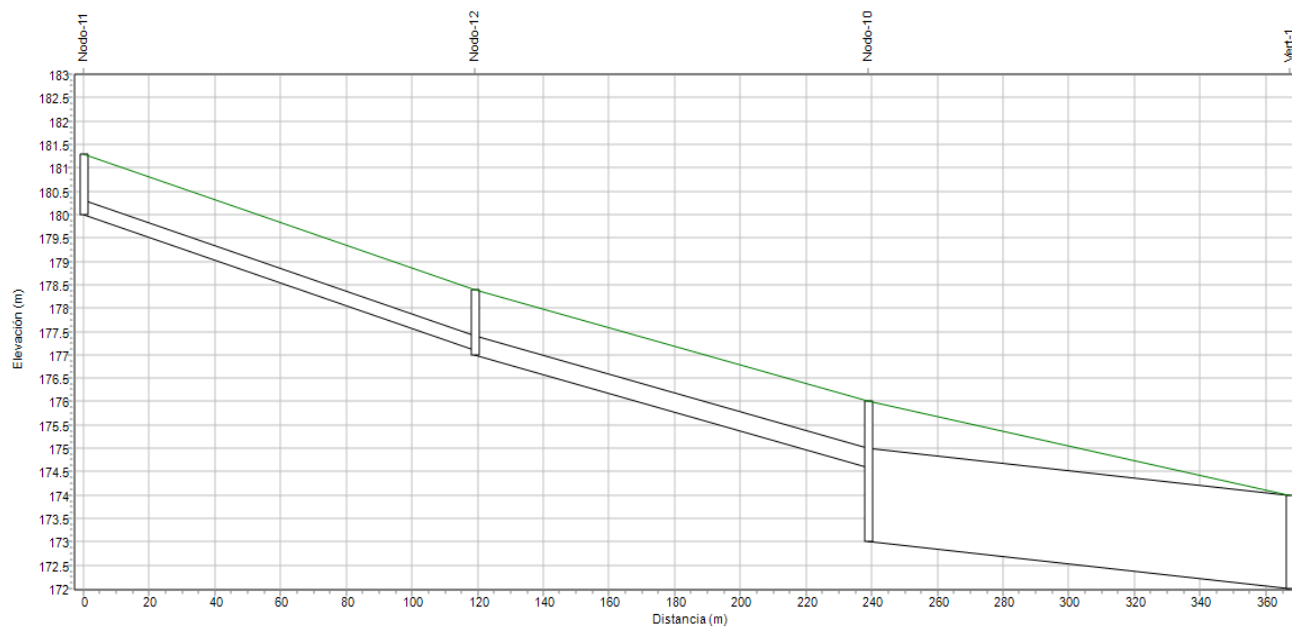
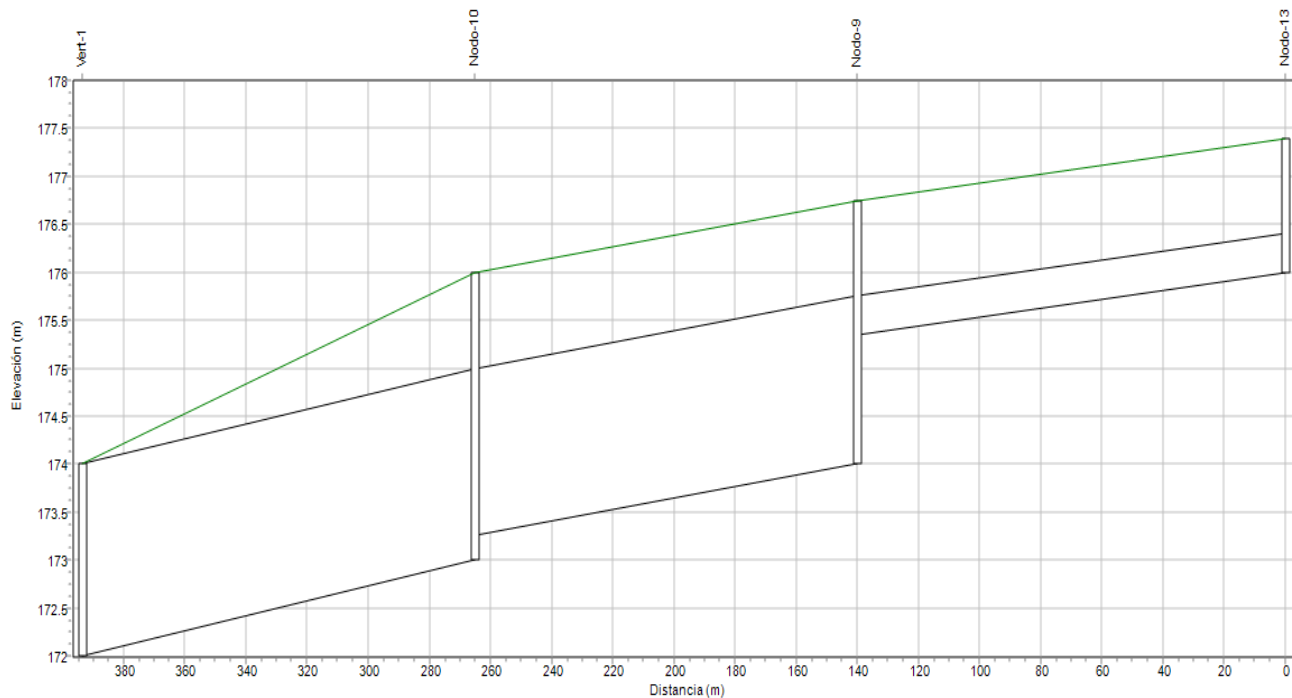


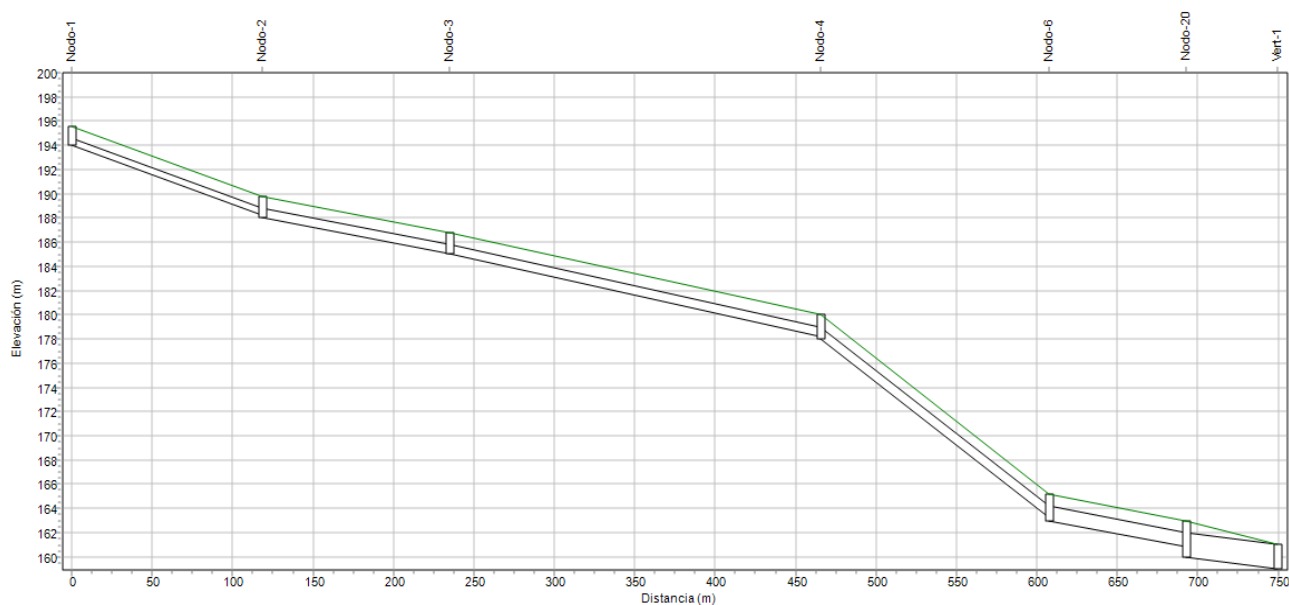
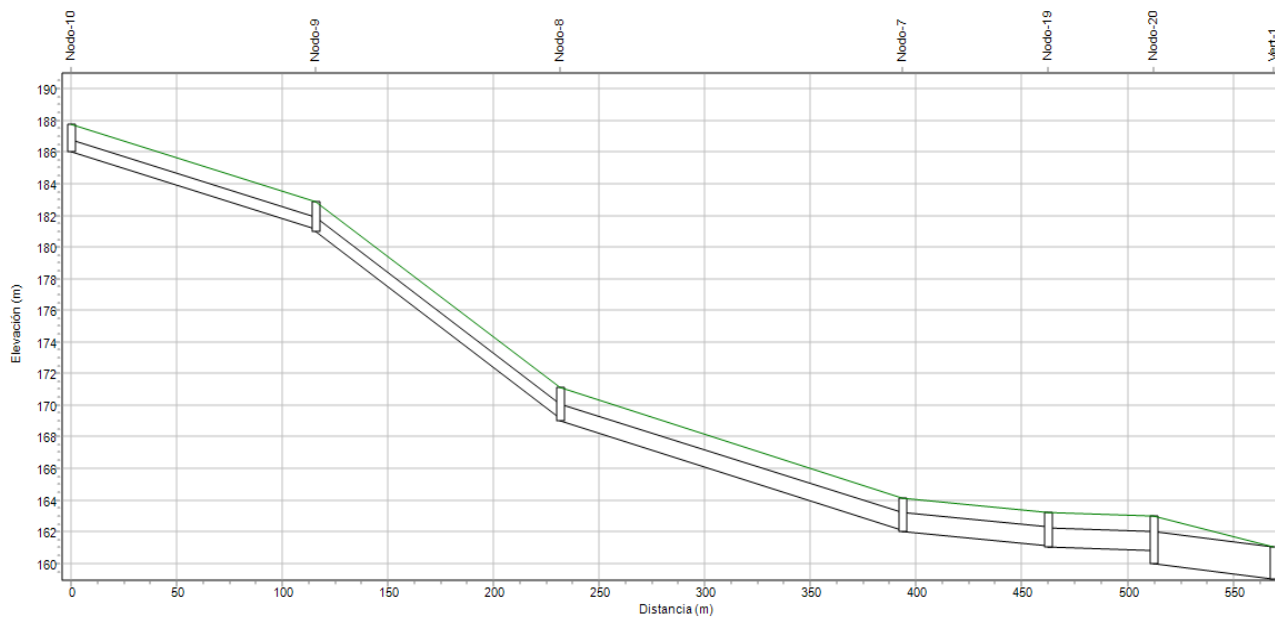
Apêndice C – Perfil de elevação: Nodo 1 a Vert 1 (RD02).

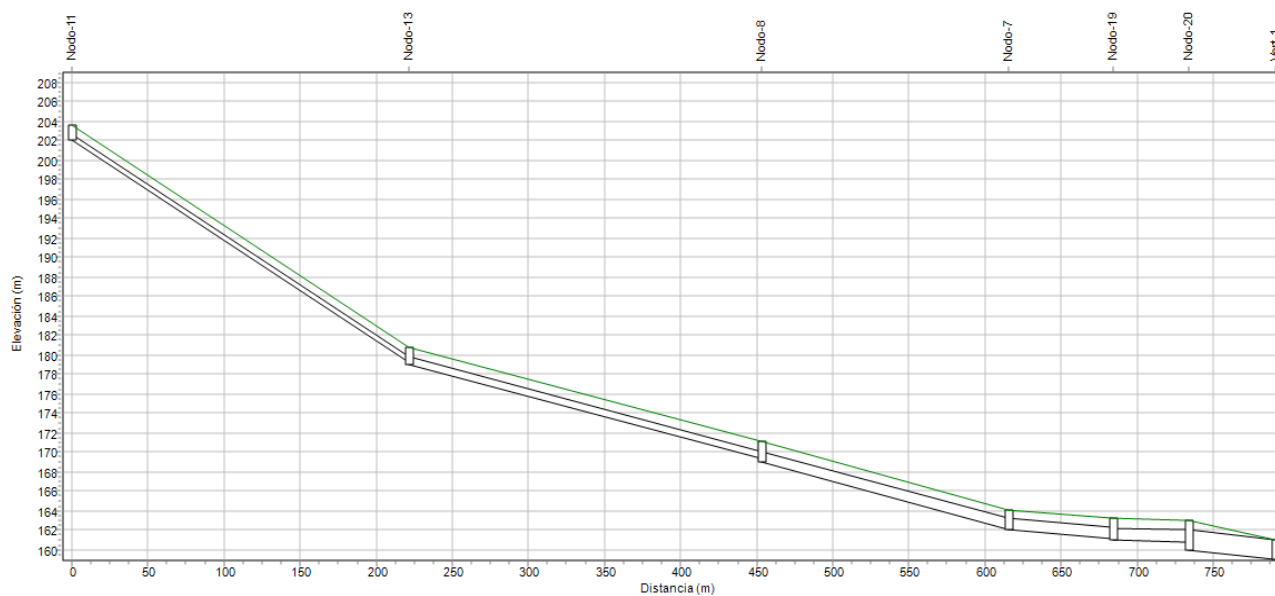
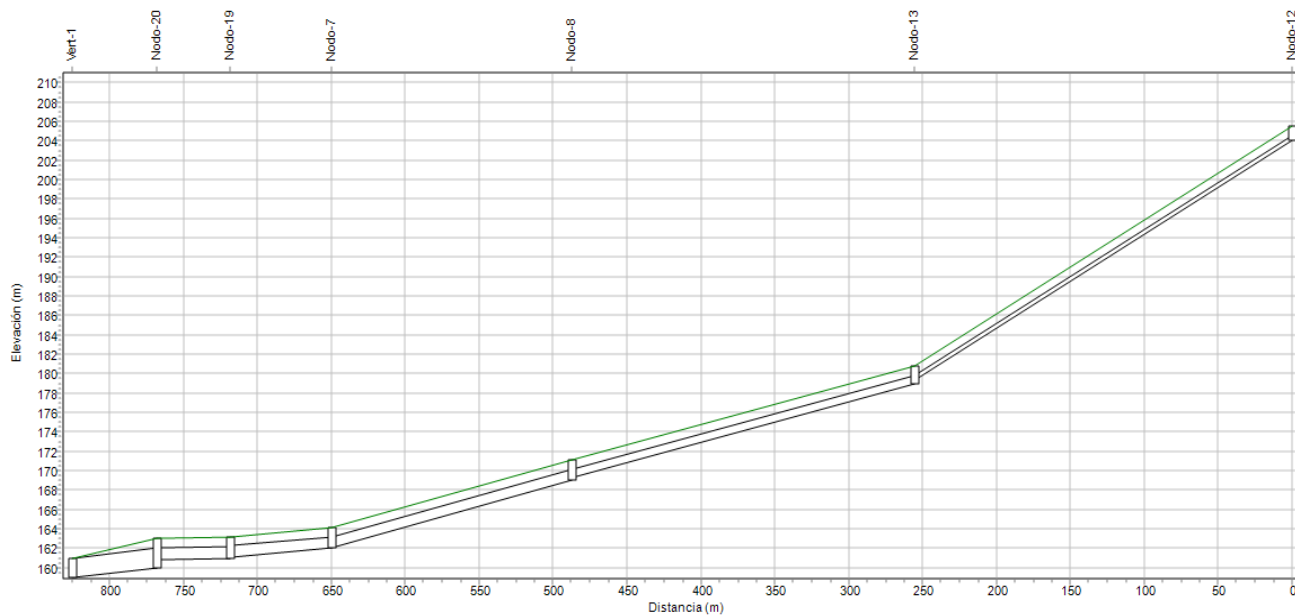


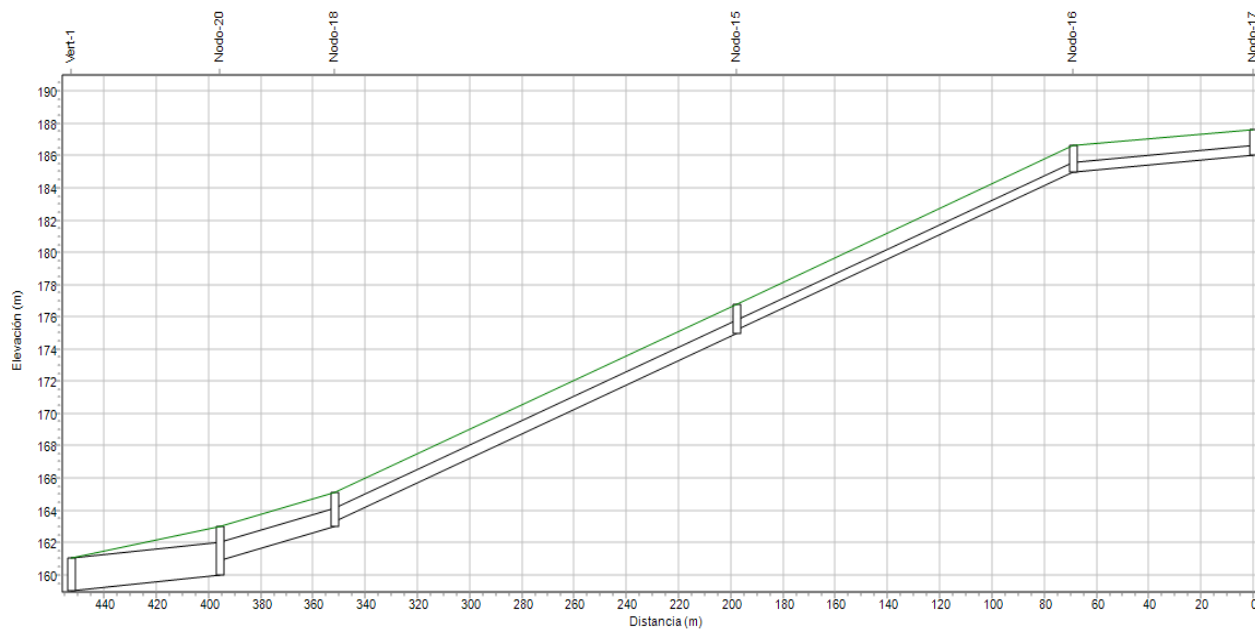
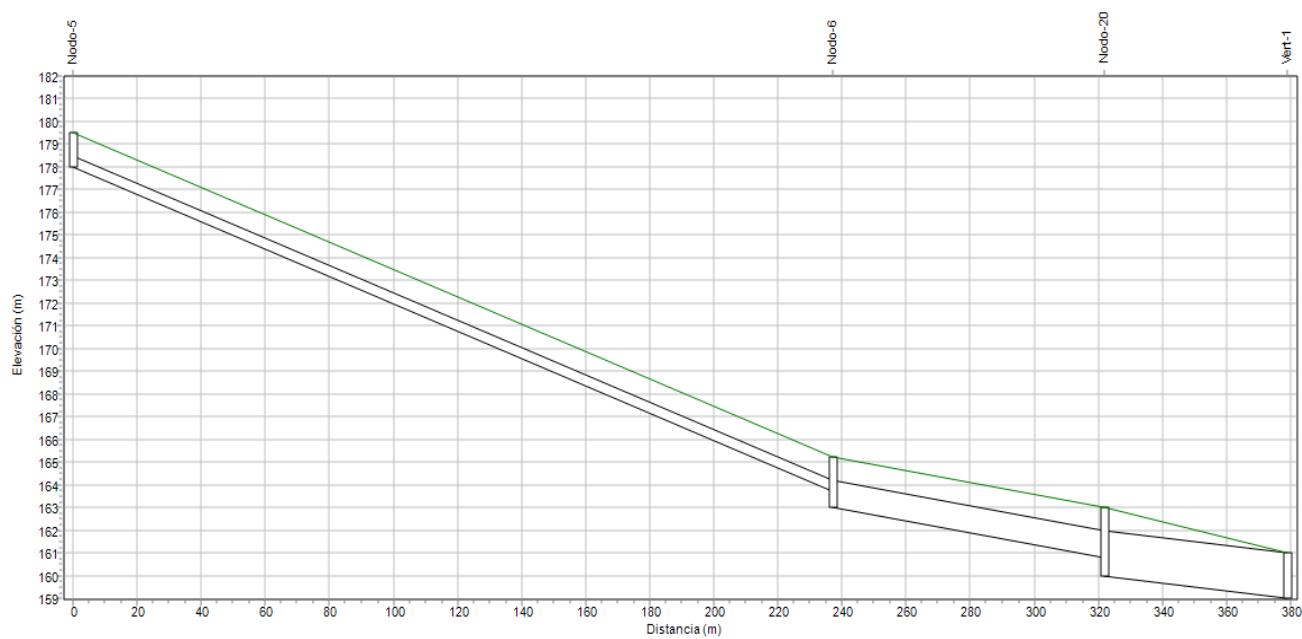
Apêndice D – Perfil de elevação: Nodo 1 a Vert 1 (RD03).



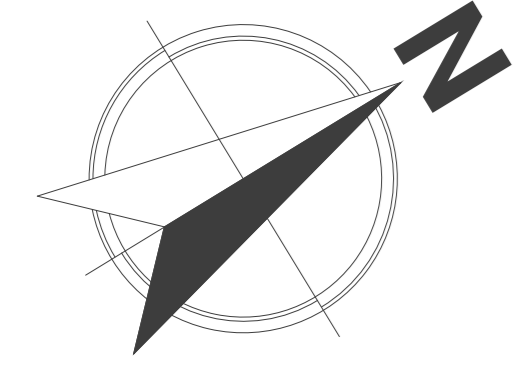
Apêndice E – Perfil de elevação: Nodo 11 a Vert 1 (RD03).**Apêndice F – Perfil de elevação: Nodo 13 a Vert 1 (RD03).**

Apêndice G – Perfil de elevação: Nodo 1 a Vert 1 (RD04).**Apêndice H – Perfil de elevação: Nodo 10 a Vert 1 (RD04).**

Apêndice I – Perfil de elevação: Nodo 11 a Vert 1 (RD04).**Apêndice J – Perfil de elevação: Nodo 12 a Vert 1 (RD04).**

Apêndice K – Perfil de elevação: Nodo 17 a Vert 1 (RD04)**Apêndice L – Perfil de elevação: Nodo 5 a Vert 1 (RD04).**

APÉNDICE M



LEYENDA	
	Áreas de contribución
	Tubo de conexión
	Curvas de nivel
	Colector de concreto
	Bocas de tormenta
	Pozos de visita
	Estructura de lanzamiento



Proyecto de sistema de red de drenaje pluvial			
Localidad:	B° Pablo Rojas - Ciudad del Este		
Proyectista:	Flavia L. Durañona		
Escala:	1:2000	Fecha:	Oct. 2024
Unidad de medida:	m	Plancha:	1/1