

ESTUDIO HIDROLOGICO

**Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Tapia,
afluente del Río Tocumen, como requisito para Solicitud de
Obra en Cauce**

PROYECTO METRO CITY TOWERS

Corregimiento de Mañanita, Distrito y Provincia de Panamá,
República de Panamá.

Consultor:

Aaron A. Conte

Ingeniero en Manejo de Cuencas y Ambiente

Idoneidad :7,590-14

Panamá, Septiembre 2023

ESTUDIO HIDROLÓGICO

Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Tapia,
afluente Del Río Tocumen, como requisito para la
Solicitud de Permiso de Obras en Cauce – Proyecto P.H. Metro City”

PROMOTOR:
METRO CITY TOWERS, S.A.



CONSULTOR:
AARON A. CONTE

07 DE SEPTIEMBRE DE 2023

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVO	5
3. UBICACIÓN DEL PROYECTO	5
4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	6
4.2. Caracterización de la Fuente Hídrica.....	9
4.2.1. Descripción de los elementos físicos.....	10
4.2.1.1. Topografía	10
4.2.1.2. Tipo de Suelos	12
4.2.1.3. Cobertura y Uso de Suelos	12
4.2.2. Morfometría de la cuenca hidrográfica (Descripción Geomorfológica)	13
4.2.2.1. Morfometría General	14
4.2.2.2. Perfil de Elevaciones del Cauce Principal	14
4.2.2.3. Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc).....	15
4.2.2.4. Curva Hipsométrica de la Cuenca.....	16
4.2.2.5. Cálculo del tiempo de concentración (Tc).....	17
4.3. Hidrometría	19
4.3.1. Primera Campaña de Aforo: 15 de marzo de 2023	21
4.3.2. Segunda Campaña de Aforo: 31 de mayo de 2023	23
4.3.3. Tercera Campaña de Aforo: 15 de agosto de 2023.....	27
4.4. Descripción Climática	29
4.5. Riesgo de Inundación	30
5. CONSIDERACIONES FINALES.....	31
ANEXO 1: Fotografías durante la ejecución de los Aforos	32
ANEXO 2: Plano de Sifón Sanitario	36

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio ha sido elaborado con el fin de evaluar el comportamiento hidrológico de la subcuenca del río Tapia, en un punto concreto del sistema hídrico que se localiza próximo al área donde el promotor METRO CITY TOWERS, S.A. desarrolla un proyecto de infraestructura de mediana densidad, y cuyos componentes incluyen la realización de una obra en cauce. Concretamente, la obra en cauce por desarrollar consiste en la construcción de un sifón sanitario, que permita conectar la descarga de aguas residuales del proyecto con la tubería colectora que recorre la margen derecha del canal principal del río Tapia.

El sistema hídrico en estudio corresponde a una subcuenca del Río Tocumen, que a su vez forma parte de la cuenca administrativa N°144 – Ríos Juan Díaz y entre Río Juan Díaz y Pacora. El Río Tapia tiene su nacimiento en la vertiente sur del Cerro Bandera, aproximadamente a 420 m.s.n.m., y sigue su curso hasta su confluencia con el canal principal del río Tocumen, ubicado en la parte baja de la cuenca en cotas inferiores a los 10 m.s.n.m.

Se trata de una subcuenca hidrográfica de pequeñas dimensiones, con un área aproximada de 30.0 Km², en la cual predominan dos zonas de relieve claramente definidas: una zona de relieve accidentado y pendientes considerablemente pronunciadas que se extiende desde el nacimiento del río hasta el límite con el corredor Norte; y la otra zona con pendientes suaves y planicies que acompañan el río desde esta carretera hasta su punto de desembocadura.

Con el fin de evaluar adecuadamente las características de la fuente hídrica en estudio, se estimó pertinente proceder con el análisis del comportamiento hidrológico de la siguiente forma: 1. Medición esporádica del caudal instantáneo en el sitio de proyecto, realizando un total de tres campañas de campo (2 en época lluviosa y 1 en época seca); 2. Inferencias acerca de la respuesta hidrológica de la cuenca, a partir del análisis de distintos indicadores morfométricos y variables climáticas.

Para el desarrollo de los estudios de morfometría de la cuenca, se emplean insumos y herramientas disponibles para ser utilizados en softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Por otra parte, para la medición del caudal instantáneo, fueron realizados aforos por vadeo empleando un molinete hidráulico de tipo AA para la medición de la velocidad de flujo en los diferentes puntos de la sección transversal del río.

El documento presentado a continuación reúne los resultados obtenidos a partir de la sistematización y el análisis de los datos generados como parte de estos levantamientos de campo y sus correspondientes operaciones de gabinete.

2. OBJETIVO

Evaluar el comportamiento hidrológico de la subcuenca del río Tapia, en un punto concreto del sistema hídrico que se localiza próximo al área donde el promotor realizará obras en cauce.

3. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El área donde se desarrolla el proyecto P.H. METRO CITY se localiza en la Calle Monte Carlo con la Ave. José María Torrijos, en el corregimiento de Las Mañanitas, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá. El punto específico donde se propone construir el sifón sanitario se encuentra ubicado en el canal principal de la subcuenca del río Tapia, que atraviesa la zona cercana al proyecto fluyendo en dirección al sur. Las coordenadas de este punto se presentan en el Cuadro N°1, en formato UTM para el datum WGS84 Zona 17 Norte.

El área de influencia del proyecto se encuentra dentro de la Cuenca N° 144 - Río Juan Díaz y entre Río Juan Díaz y Río Pacora, específicamente unos 185 m. aguas arriba del puente sobre río de la Avenida Domingo Díaz.

Cuadro N°1. Coordenadas específicas de la obra en cauce

Nº	Sitio	Este (m)	Norte (m)
1	Aforo	673984.07	1002567.54

Fuente: Elaboración propia

La

figura n°1 de la página siguiente ofrece puntos de referencia para facilitar la ubicación exacta del sitio de obra en cauce (sitio de proyecto) en relación a la localización del proyecto P.H. Metro City.

Figura N°1. Ubicación del sitio de obra en cauce (Sitio de Proyecto)



Fuente: Elaboración propia

4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

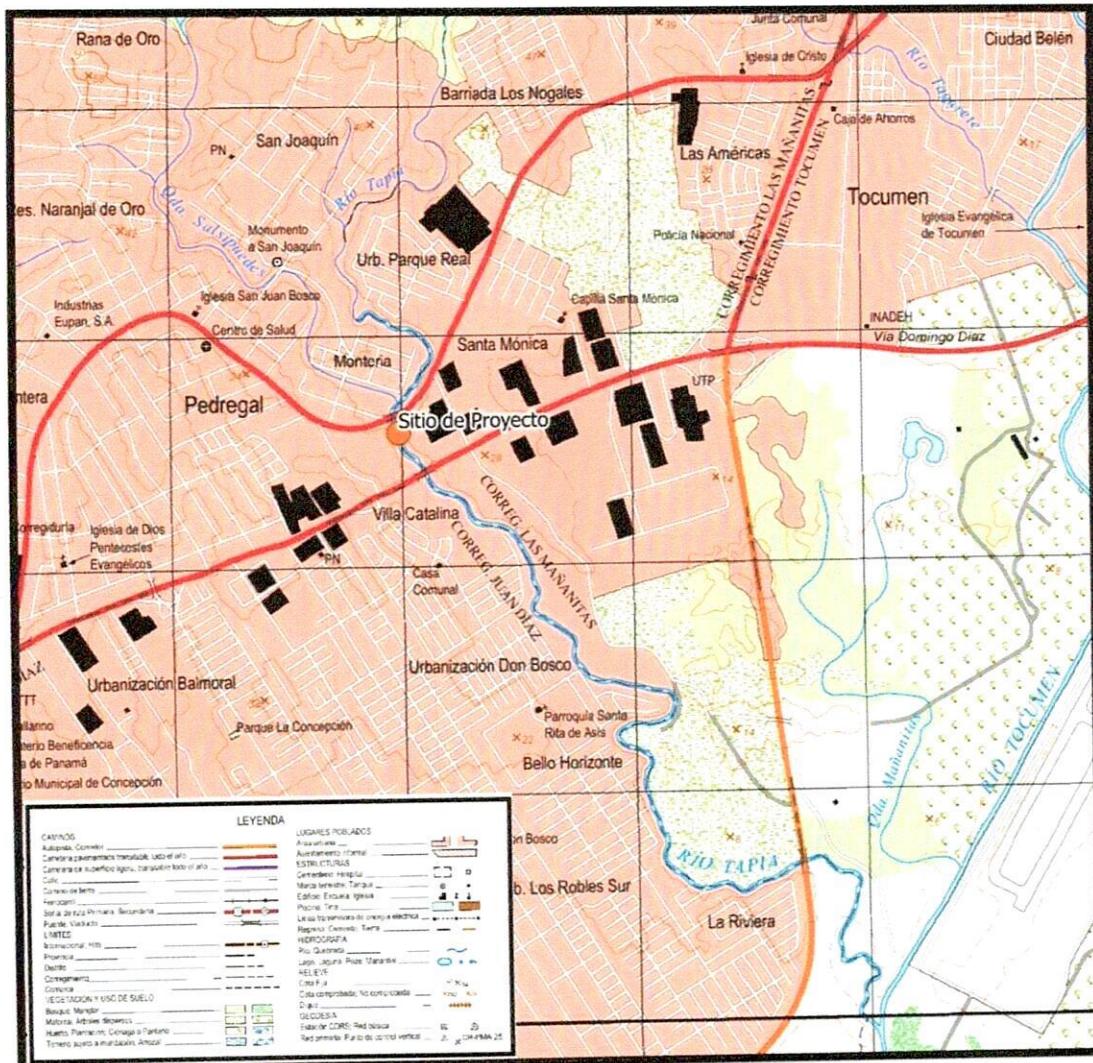
4.1. Cartografía de la Zona del Cauce

En esta sección se presentan mapas e imágenes que permiten identificar con claridad la localización exacta y las características de la zona donde se estará interviniendo el cauce con las obras antes mencionadas.

4.1.1. Mapa regional

La Figura N°2 corresponde a un esquema que ilustra la ubicación regional del sitio de proyecto, el cual ha sido elaborado tomando como base la hoja topográfica del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG) a escala 1:25,000, identificada con el código 4343 III SW – Pedregal.

Figura N°2. Mapa regional para el proyecto P.H. Metro City

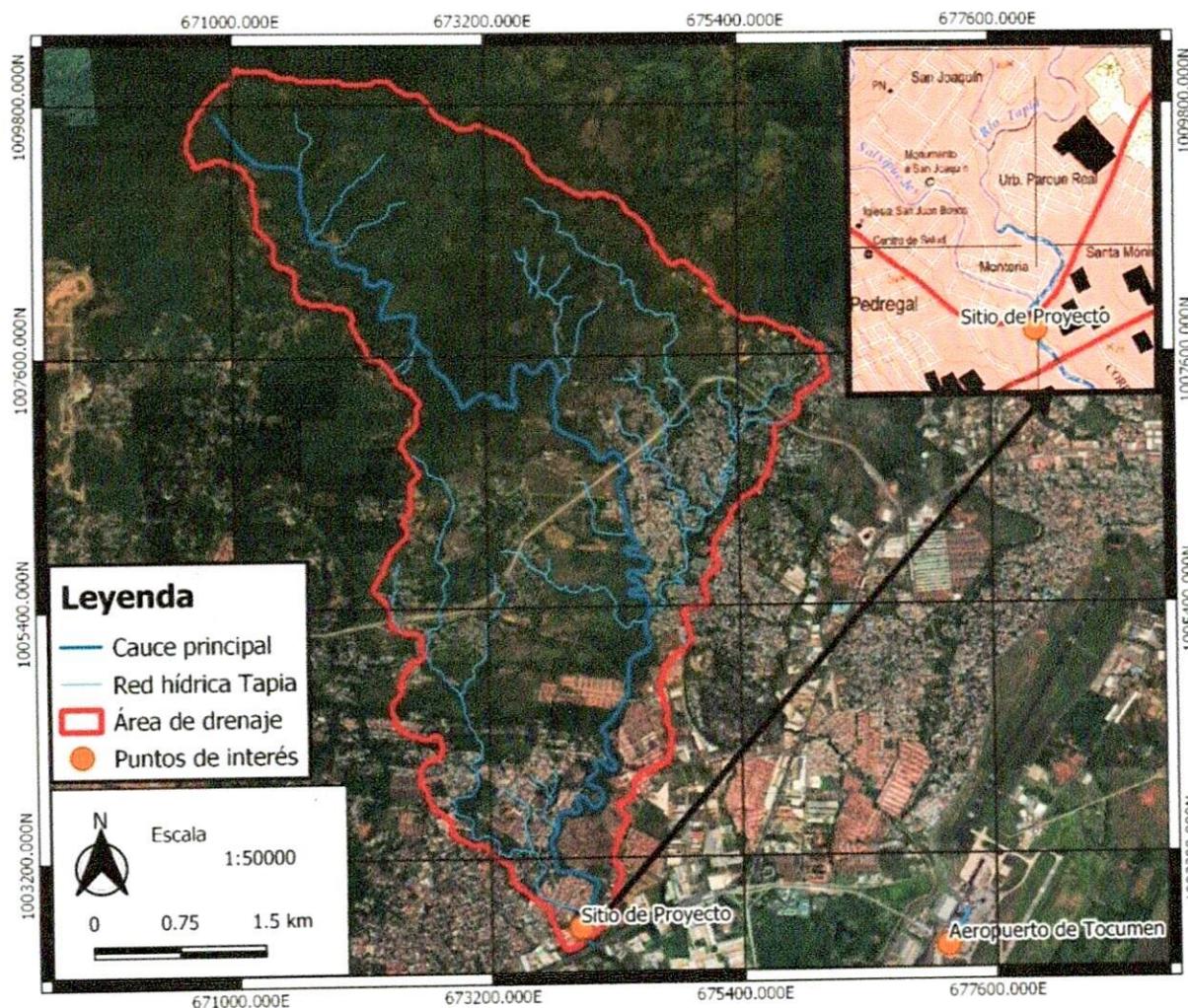


Fuente: Elaboración propia usando como base mapa de IGNTG

4.1.2. Mapa del área de drenaje

De igual forma, en la Figura N°3 se muestra la morfología de la red de drenaje que integra el sistema hídrico de la cuenca del río Tapia, considerando el área comprendida entre el nacimiento del río y el sitio de proyecto.

Figura N°3. Mapa del área de drenaje de la cuenca del río Tapia hasta el sitio de proyecto



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Identificación de Áreas Protegidas.

Los requisitos establecidos en la Resolución N° DM. 0431-2021 (Obras en Cauces Naturales), indican que se debe identificar si el proyecto o alguna infraestructura de la obra en cauce, o los trabajos a realizar están dentro de un área protegida. La Figura N°4 muestra la distribución de zonas protegidas del SINAP que se encuentran más próximas al sitio de proyecto.

Luego de identificar las áreas protegidas más cercanas, se afirma que el sitio de proyecto no se encuentra dentro de ninguna área protegida.

Figura N°4. Relación del sitio de proyecto con las áreas protegidas más cercanas



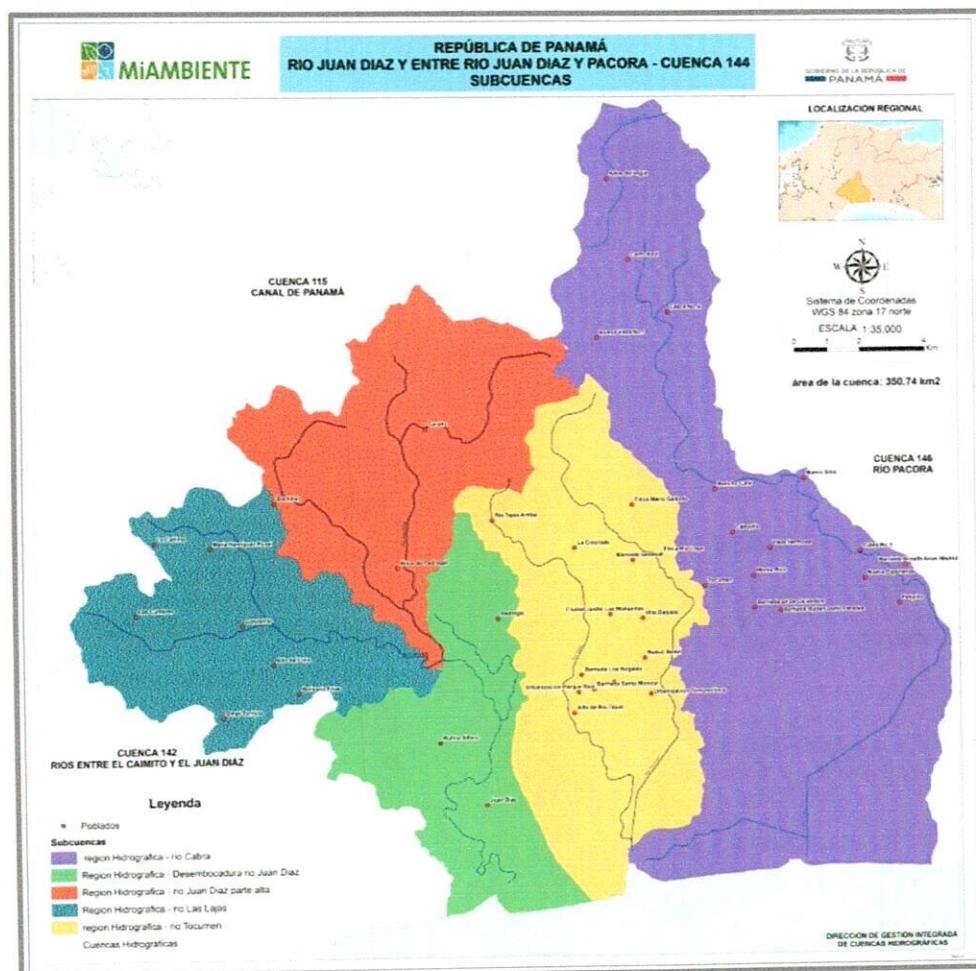
Fuente: Elaboración propia

4.2. Caracterización de la Fuente Hídrica

El Río Tapia se encuentra localizado en la Cuenca N°144 – Río Juan Díaz y entre Río Juan Díaz y Pacora. Se trata de un afluente de la subcuenca del río Tocumen mostrada en color amarillo (Figura N°51) que drena en dirección predominantemente Norte – Sur.

El área de la cuenca objeto de este estudio se traza a partir de la localización del punto de aforo, y corresponde a la zona media-alta de la cuenca del río Tapia, en donde se recogen las aguas de una superficie de drenaje de poco más de 19 Km², de la cuenca del río. Esta localización es escogida en consideración de la homogeneidad de la sección de flujo y, a su vez, de la proximidad de esta localización con el sitio de proyecto.

Figura N°5. Mapa de subcuenca, cuenca N°144 – Río Juan Díaz y entre Río Juan Díaz y Pacora



Fuente: Ministerio de Ambiente

4.2.1. Descripción de los elementos físicos

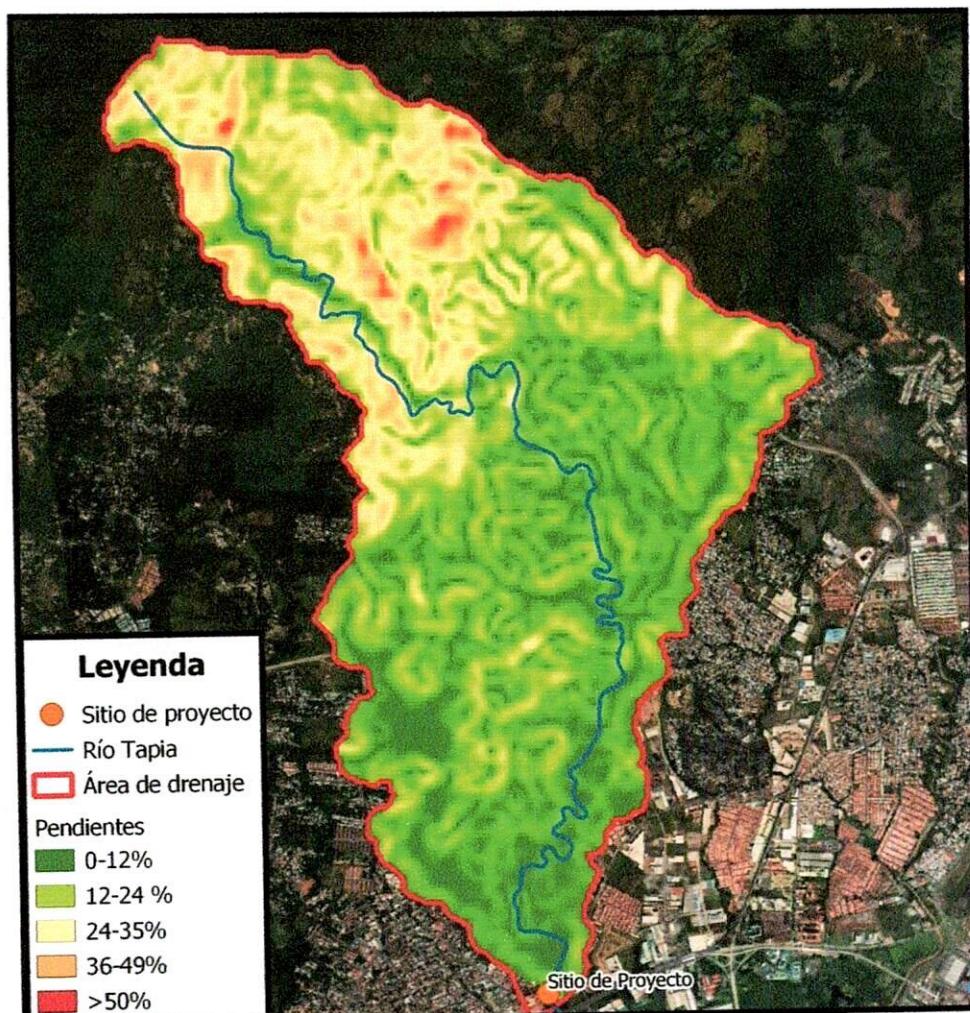
4.2.1.1. Topografía

El Río Tapia tiene su nacimiento en la vertiente sur del Cerro Bandera, aproximadamente a 420 m.s.n.m., y sigue su curso hasta su confluencia con el canal principal del río Tocumen, ubicado en la parte baja de la cuenca en cotas inferiores a los 10 m.s.n.m.

Se trata de una subcuenca hidrográfica de pequeñas dimensiones, con un área aproximada de 30.0 Km². En términos de relieve, la mayor parte del área de drenaje se ubica por debajo de la cota de los 125 m.s.n.m. Según puede apreciarse en la Figura N°6, se identifican dos zonas de relieve: una zona de relieve accidentado y pendientes considerablemente pronunciadas que se

extiende desde el nacimiento del río hasta el límite con el corredor Norte; y la otra zona con pendientes suaves y planicies que acompañan el río desde esta carretera hasta desembocadura.

Figura N°6. Mapa de pendientes dentro de la cuenca del Río Tapia, hasta el sitio de proyecto.



Fuente: Elaboración propia

Es justamente en una de las vertientes de este cerro que drena en dirección sur, donde se ubica el nacimiento del cauce principal del río Tapia, el cual realiza la mayor parte de su recorrido por superficies de la cuenca cuyos valores de pendiente promedio se ubican en rangos entre 0 y 25%

4.2.1.2. Tipo de Suelos

Según el estudio de taxonomía de suelos desarrollado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias – IDIAP (2010) dentro del área en estudio se identifica la presencia predominante de suelos del orden “Ultisol”, cuyas características edáficas los tornan considerablemente resistentes a la erosión y bastante bien drenados. Adicionalmente, la misma fuente confirma la presencia de suelos del orden “Inceptisol” dentro de la cuenca, pero en una proporción mucho menor.

4.2.1.3. Cobertura y Uso de Suelos

Con respecto al tipo de cobertura y uso de suelos dentro de la cuenca, el área de drenaje estudiada exhibe un uso de suelos predominantemente de zonas urbanizadas (hacia el sur y el este de la cuenca) donde imperan condiciones de impermeabilización y/o compactación. La mayor densidad de población se concentra en la zona baja de esta subcuenca, agrupada en extensas áreas residenciales que se han ido desarrollando paulatinamente. Apenas cerca de un 30% de la cuenca presenta cobertura vegetal, principalmente en su parte alta y parte media alta, que es también donde se observan los mayores porcentajes de pendiente del terreno. (ver Figura N°7)

Figura N°7. Imagen satélite (Google Earth) que muestra la cobertura y uso de suelos dentro del área de drenaje estudiada.



Fuente: Elaboración propia

Esta distribución de condiciones de cobertura y uso de los suelos son consideradas propicias para la generación de grandes volúmenes de escorrentía superficial, como consecuencia de la reducción de las tasas de infiltración de los suelos que han sufrido modificaciones.

4.2.2. Morfometría de la cuenca hidrográfica (Descripción Geomorfológica)

Como parte de la caracterización física de la zona en estudio, fueron estimados algunos parámetros de morfometría de la cuenca hidrográfica del río Tapia, con el fin de identificar características geomorfológicas que ayuden a comprender su comportamiento hidrológico.

4.2.2.1. Morfometría General

El cuadro n°2 contiene información detallada sobre cada uno de los parámetros determinados durante el estudio morfométrico de la unidad hidrográfica analizada, que comprende el área de drenaje hasta el sitio de proyecto.

Cuadro N°2. Parámetros morfométricos de la unidad hidrográfica analizada

Nº	Indicador	Río Tapia
1	Área de drenaje	19.0 Km ²
2	Perímetro de la cuenca	24.91 Km.
3	Longitud del cauce principal	13.4 Km.
4	Pendiente promedio del cauce principal	2.8 %
5	Número de orden Horton-Strahler	4
6	Longitud de todas las corrientes	43.24 Km.
7	Densidad de Drenaje	2.28 Km/Km ²

Fuente: Elaboración propia

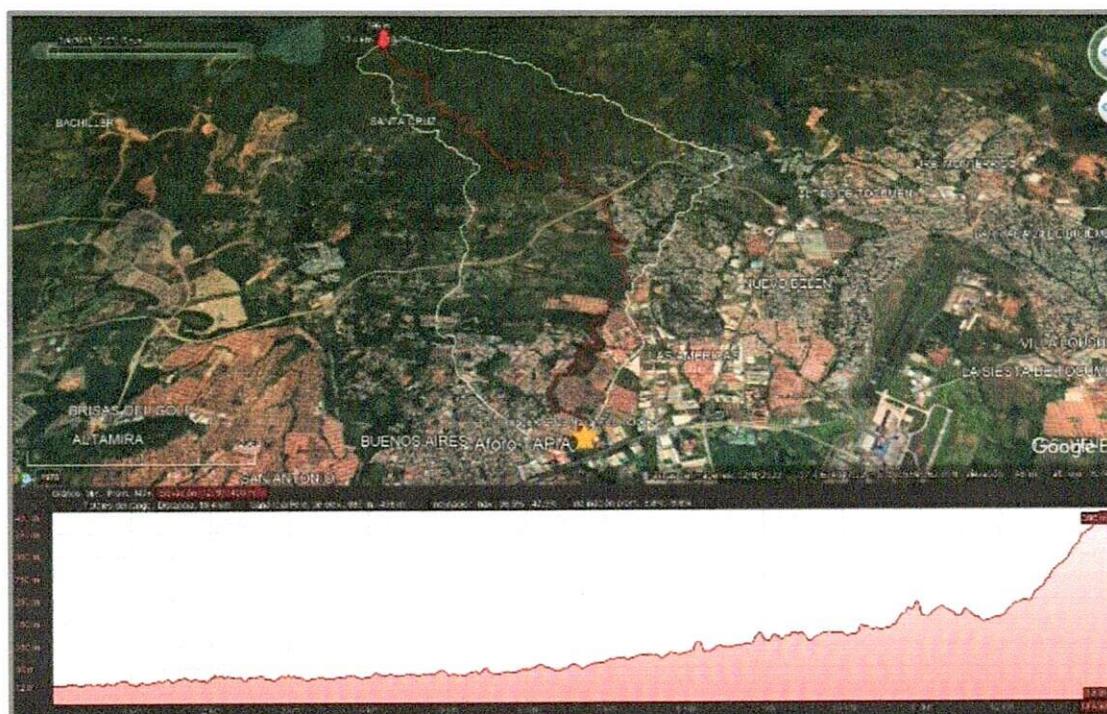
Como se observa en el cuadro n°2, se trata de una cuenca hidrográfica de pequeñas dimensiones, cuyo cauce principal recorre cerca de 13.4 km. A pesar de sus reducidas dimensiones, el valor obtenido para el parámetro de densidad de drenaje indica que se trata de una cuenca bien drenada.

Esta condición es corroborada también al observar el valor calculado de número de orden para la red hídrica hasta el sitio de proyecto, puesto que ostenta un valor de 4 a pesar de contar con sólo 19 Km² de área de drenaje.

4.2.2.2. Perfil de Elevaciones del Cauce Principal

El recorrido del río presenta importantes variaciones en cuanto a su perfil de elevaciones, exhibiendo 420 m.s.n.m. cerca de su naciente y una cota de aproximadamente de 13 m.s.n.m. en el sitio de proyecto. La mayor variación de pendiente se observa durante el primer kilómetro de recorrido del cauce principal, donde se registra una diferencia de elevación de cerca de 270 m.s.n.m. y la pendiente del canal alcanza valores de hasta 19% (Ver Figura 8).

Figura N°8. Perfil de elevaciones del cauce principal del río Tapia hasta el sitio de proyecto



Fuente: Elaboración propia, usando insumos de Google Earth

4.2.2.3. Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc)

Con la finalidad de estimar la respuesta hidrológica de la cuenca frente a eventos puntuales de precipitación, se procedió a calcular su coeficiente de compacidad. También denominado Índice de Gravelius, este parámetro consiste en un índice adimensional que permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro resulta de gran utilidad ya que describe la geometría de la cuenca y, al mismo tiempo, se encuentra estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

Para su estimación se emplea la expresión 1.1 a saber:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1.1)$$

Donde:

Kc = coeficiente de compacidad

P = perímetro de la cuenca (km)

A = área de la cuenca (km²)

El cuadro N°3 muestra los resultados del cálculo de este parámetro realizado para la cuenca de estudio, arrojando un valor de 1.60 que indica una geometría alargada y poco propensa a la acumulación de grandes volúmenes de agua, así como una baja susceptibilidad al tránsito de avenidas repentinas.

Cuadro N°3. Resultados del cálculo del Índice de Gravelius

Nº	Indicador	Río Tapia
1	Índice de Gravelius	1.60
2	Clase de compacidad	De oval oblonga a rectangular oblonga (alargada).
3	Respuesta hidrológica asociada	Baja tendencia a la concentración de grandes volúmenes agua, y baja susceptibilidad al tránsito de avenidas repentinas.

Fuente: Elaboración propia

La geometría de la cuenca es apenas uno de los tantos factores que inciden sobre la generación de escorrentía superficial, siendo la pendiente uno de los factores que más influyen en las dinámicas de este proceso, seguido de las características y las condiciones de los suelos dentro del área de drenaje.

En el caso de la cuenca del río Tapia, un aspecto que puede estar condicionando fuertemente su capacidad de drenaje es el importante cambio en el uso y propiedades de sus suelos, caracterizándose por una dinámica de reemplazo de áreas de cobertura vegetal con buena capacidad de infiltración por zonas urbanizadas con suelos casi completamente impermeabilizados.

Si bien la cuenca geomorfológicamente exhibe baja susceptibilidad al tránsito de avenidas y baja acumulación de agua, la alta cantidad de escorrentía generada puede superar con gran facilidad la capacidad natural de drenaje del canal principal del río Tapia.

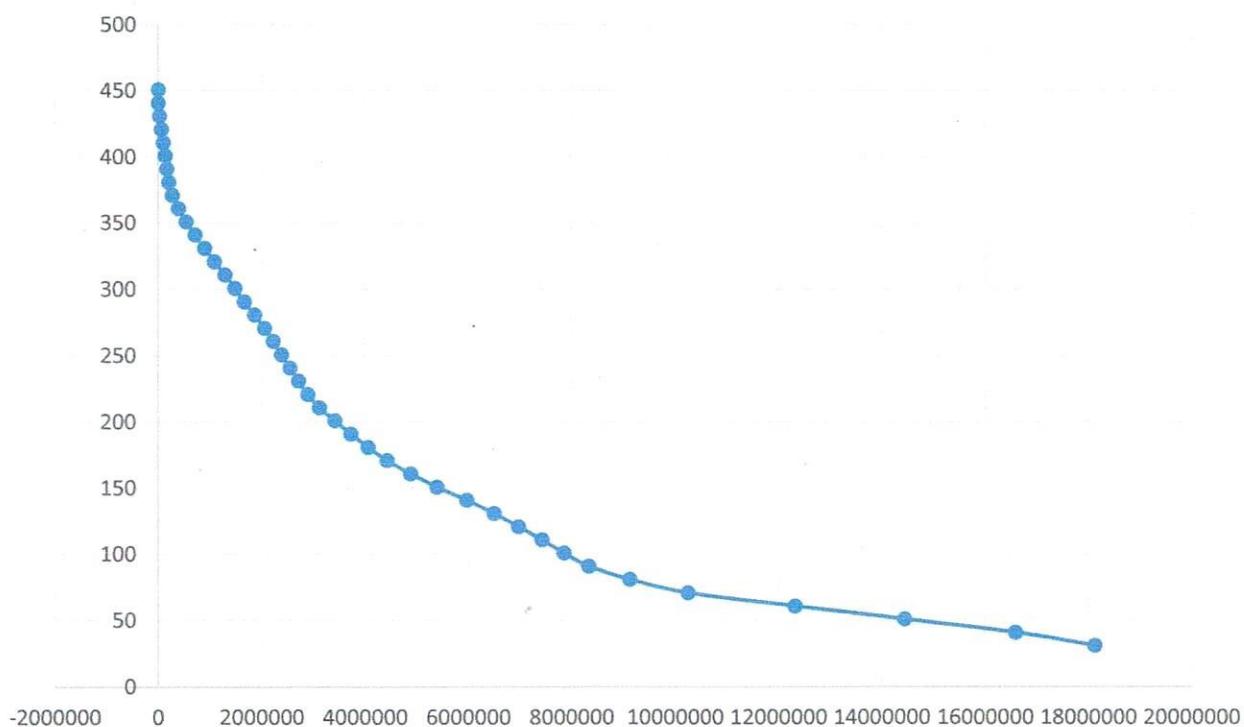
4.2.2.4. Curva Hipsométrica de la Cuenca.

En esta sección se presenta la curva hipsométrica construida empleando datos de área y frecuencia altitudinal obtenidos a partir de un modelo digital de elevaciones (MDE) SRTM con resolución espacial de 30m. Esta curva describe la distribución del área acumulada de una cuenca hidrográfica de acuerdo a su altitud, y su análisis permite entender cómo se encuentra distribuido el relieve de la misma y

hacer inferencias simples acerca de los procesos dominantes dentro de su área de drenaje. (Ver Figura N°9)

Figura N°9. Curva hipsométrica del área de drenaje estudiada.

Curva Hipsométrica de la Cuenca del Río Tapia



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de MDE SRTM 30m.

Tal y como puede apreciarse en la figura, la curva elaborada exhibe una forma cóncava pronunciada, indicativa de una cuenca sedimentaria que se encuentra en fase de “vejez”. La mayor cantidad de área de la cuenca se concentra en las partes bajas, y su paisaje se caracteriza por valles profundos, encajonados y amplios.

En este tipo de cuencas predomina la formación de abanicos aluviales, piedemontes y sabanas. Están caracterizadas por procesos sedimentarios fluviales y aluviales activos, así como la canalización y entallamiento de cauces. Gran parte del material ya ha sido erosionado de los puntos de producción para depositarse en las partes media y baja de la cuenca.

4.2.2.5. Cálculo del tiempo de concentración (Tc)

El tiempo de concentración (Tc) es una variable de suma importancia desde el punto de vista hidrológico y se define como el tiempo mínimo necesario para que

todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida. El T_c está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante al tiempo que máximo.

Para el cálculo del tiempo de concentración, fue empleado el método propuesto por Kirpich, que sugiere la siguiente expresión:

$$T_c = 0,02L^{0,77}S^{-0,385} \quad (1.2)$$

Donde **T_c** es el tiempo de concentración en **minutos**; **L** representa el largo de la corriente en metros (**m**) y **S** corresponde al valor de la pendiente promedio del cauce, medida en metros por metro (**m/m**).

Como resultado de la aplicación de la ecuación 1.2, tenemos que:

Cuadro 3. Resultados del cálculo de tiempo de concentración

Cuenca del Río Tapia	
Tiempo de concentración	119.33 minutos

A partir de los cálculos realizados se estima un tiempo de concentración, hasta el sitio de proyecto, de 119.33 minutos (~ 2 horas). Este valor resulta coherente con el comportamiento esperado para cuencas hidrográficas que exhiben características físicas como las del río Tapia, tales como su reducida área de drenaje, la predominancia de pendientes mayormente planas y la poca diferencia de nivel que se aprecia en el recorrido de su cauce principal.

Este valor constituye un indicador que denota que la cuenca exhibe una respuesta hidrológica moderada ante eventos de precipitación. Por tratarse de zonas con altos índices de pluviosidad y con importantes tasas de generación de escorrentía (y poca infiltración), se estima que el comportamiento durante el año hidrológico se encuentra caracterizado por pulsos de crecida durante la época lluviosa y flujos muy reducidos en época seca, asociados a la baja recarga de los mantos freáticos.

4.3. Hidrometría

De acuerdo con la Resolución N° DM. 0431-2021 (Obras en Cauces Naturales), en el caso de que se trate de una cuenca donde no existe estación hidrológica, se requiere la realización de tres aforos esporádicos en el sitio preciso de la obra en cauce solicitada. Se solicita al menos un (1) aforo en época seca (enero a abril) y dos (2) aforos esporádicos durante la época lluviosa (mayo a diciembre).

Atendiendo a dichos requerimientos, fueron realizados tres aforos esporádicos en las siguientes fechas:

1. 15 de marzo de 2023 (temporada seca)
2. 31 de mayo de 2023 (temporada lluviosa)
3. 15 de agosto de 2023 (temporada lluviosa)

A continuación, se presentan informaciones generales acerca del sitio de aforo escogido el cual, además de ubicarse en el sitio específico de la obra en cauce solicitada, cumple con las condiciones de geometría e hidrodinámica adecuadas para la realización de un aforo por vdeo. Para la medición de la velocidad de flujo se empleó un molinete hidráulico (currentómetro) tipo AA. (Ver figura N°10).

Figura N°10. Imagen ilustrativa de un currentómetro tipo AA.



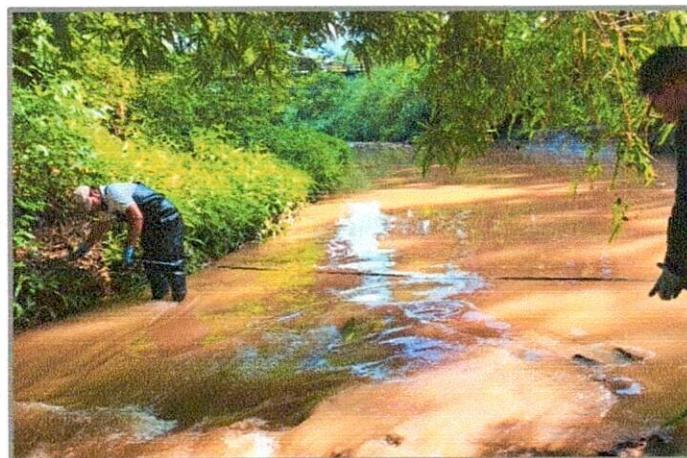
Fuente: Fotografía propia

Para las tres campañas de campo realizadas fue posible utilizar el mismo sitio de aforo, caracterizado por ser una sección de ancho relativamente menor al ancho promedio del cauce principal del río, pero por cuya sección transita absolutamente todo el caudal transportado por la fuente hídrica. A continuación, se brindan mayores detalles en relación con el punto de aforo escogido.

Coordenadas del sitio de aforo:	673984.07 Este; 1002567.54 Norte
Área de drenaje hasta el local de aforo:	19 Km ² .
Ancho promedio del río:	10 metros.
Ancho de la Sección Transversal:	4 metros

Descripciones adicionales del sitio: Se selecciona una sección transversal del cauce principal del río Tapia, localizada aproximadamente 185 m. aguas arriba del puente sobre el río en la Ave. Domingo Díaz.

Figura N°11. Registro fotográfico de los tres levantamientos de la sección transversal del río.





Las condiciones ambientales observadas y los valores de caudal estimados para cada una de las tres campañas de aforo mostraron interesantes variaciones durante el periodo de estudio. A continuación se presentan, en orden cronológico, los datos generados en cada una de las antes mencionadas labores de campo.

4.3.1. Primera Campaña de Aforo: 15 de marzo de 2023

- **Condiciones Ambientales:**

Al momento del aforo, se observa un día de cielo despejado durante las horas de la mañana.

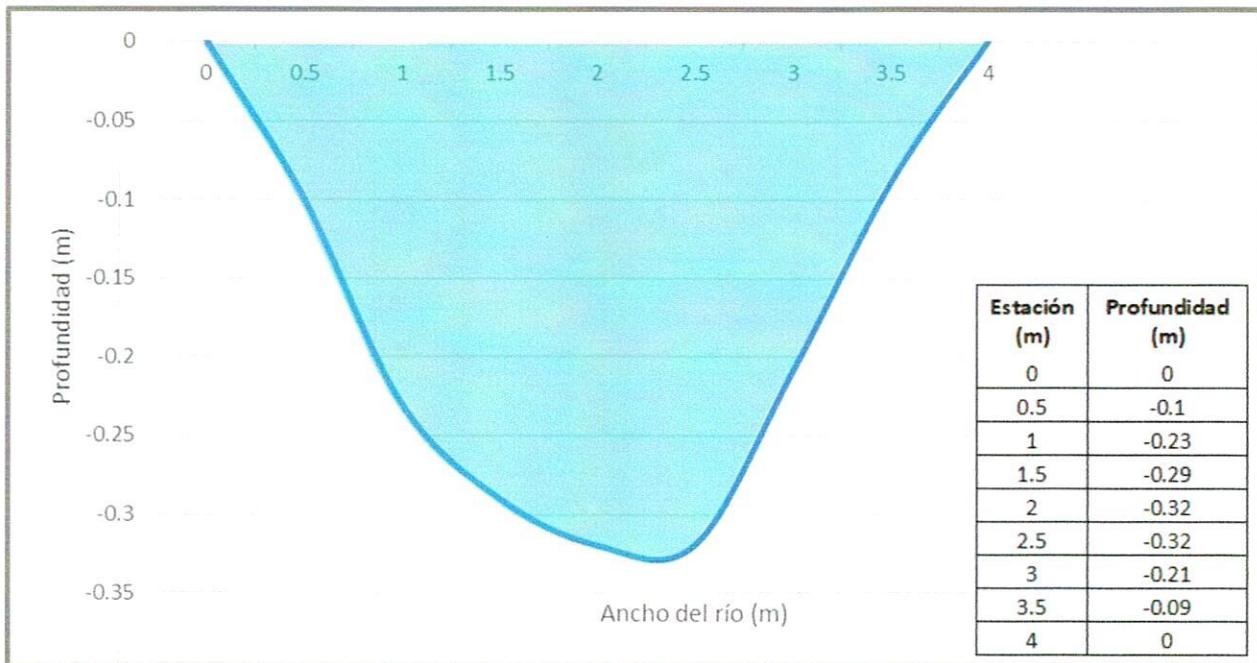
No se registran lluvias antes o después del aforo. El cauce muestra un alto grado de contaminación, con copiosas cantidades de residuos sólidos de diversos tamaños esparcidos en las márgenes y dentro del canal. (Ver Anexo 1).

Sus aguas no muestran signos de acarreo de sedimentos al momento de la medición; sin embargo, su coloración es muy oscura y despiden olores fétidos

- **Resultados del Aforo:**

En la Figura No.12 se muestra un esquema representativo de la geometría de la sección aforada y las magnitudes estimadas para el cálculo del área de esta.

Figura N°12. Sección transversal – Aforo # 1.

**-Área de la Sección-**

- **Cantidad de estaciones:** 7
- **Distancia entre cada estación:** 0.5 m
- **Área estimada para la sección húmeda:** 0.78 m^2

-Velocidad de Flujo-

Medidas de velocidad: 7
Velocidad promedio de flujo: 0.6415 m/s

En el Cuadro N°5 se presentan los resultados de caudal instantáneo para cada una de las siete (7) estaciones levantadas. Aquí se presenta una relación entre área de influencia, velocidad promedio medida en el punto y la magnitud de caudal calculado en cada punto.

Cuadro N°5 - Caudal Instantáneo resultante para la sección aforada

Estación	Velocidades (m/s)	Área de influencia (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0.3978	0.0663	0.0264
2	0.7894	0.1063	0.0839
3	0.7894	0.1413	0.1115
4	0.7894	0.1563	0.1234
5	0.7894	0.1463	0.1155
6	0.6218	0.1038	0.0645
7	0.3133	0.0600	0.0188
Promedio: 0.6415		0.7800	0.5439

De acuerdo con las estimaciones realizadas, el caudal instantáneo disponible en el punto de aforo es de **0.5439 metros cúbicos por segundo**, lo que es equivalente a **543.9 Litros por segundo**.

- **Consideraciones del aforo:**

El área de drenaje de la cuenca del río Tapia, casi en su totalidad, ha experimentado modificaciones considerables asociadas a la actividad antropogénica. Numerosas secciones del río principal y afluentes de importancia han sido objeto de obras de adecuación del cauce, que incluyen la modificación de las dimensiones y formas originales del canal y la pavimentación de su perímetro mojado.

Gran cantidad de la superficie de la cuenca presenta suelos impermeabilizados y/o compactados, afectando su capacidad de infiltración del agua de lluvias y, consecuentemente, generando alteraciones en la respuesta hidrológica de la cuenca ante tormentas puntuales. Si se considera la influencia de la superficie pavimentada de avenidas y de los canales de drenaje pluvial, resulta evidente que durante la época lluviosa el canal recibe grandes volúmenes de escorrentía superficial que pueden llegar a comprometer, con mucha frecuencia, la capacidad de drenaje del sistema.

En términos de calidad de las aguas, sobran las observaciones de campo para determinar que el río Tapia acarrea elevadas cargas de contaminantes. La coloración y el olor de sus aguas, además de la gran cantidad de residuos sólidos de toda índole, constituyen suficiente evidencia para afirmar que se trata de un sistema lótico altamente degradado. Para finalizar, se presenta una serie de fotografías, a fin de ilustrar las condiciones antes descritas.

4.3.2. Segunda Campaña de Aforo: 31 de mayo de 2023

- **Condiciones Ambientales:**

Al momento del aforo, se observa un día de cielo nublado durante las horas de la mañana.

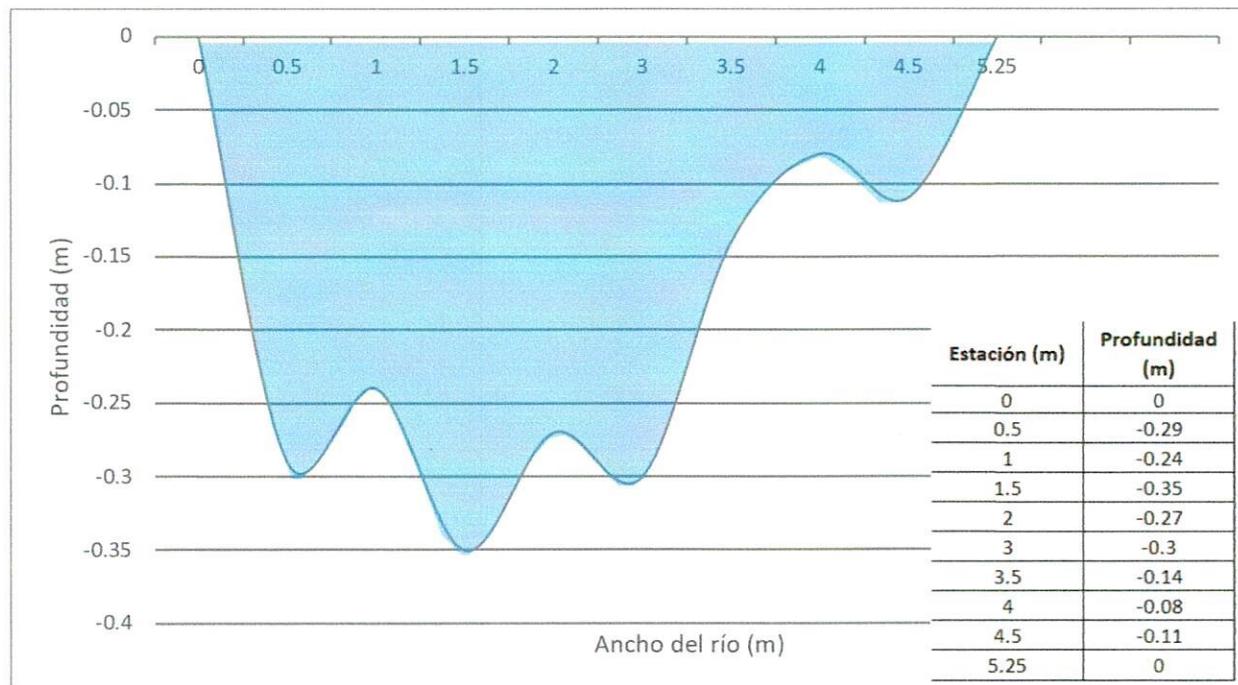
Se registran lluvias considerables durante la madrugada del día anterior al aforo. El cauce continúa evidenciando un alto grado de contaminación, con copiosas cantidades de residuos sólidos de diversos tamaños esparcidos en las márgenes y dentro del canal.

En esta ocasión puede observarse que sus aguas acarrean gran cantidad de sedimentos al momento de la medición, haciendo que la coloración de las aguas varíe de muy oscura/ negra (observada en aforo anterior) hacia un color marrón rojizo (evidencia de gran cantidad de sólidos disueltos en el agua). Con el aumento de la velocidad y los niveles del río, las aguas ya no despiden olores fétidos; sin embargo, se observa el transporte de grandes cantidades de basura de distinta índole.

- **Resultados del Aforo:**

En la Figura No.13, se muestra un esquema representativo de la geometría de la sección transversal del río aforada y las magnitudes estimadas para el cálculo del área de esta.

Figura N°13. Sección transversal – Aforo # 2.



-Área de la Sección-

- **Cantidad de estaciones:** 8
- **Distancia entre cada estación:** 0.5 a 1.0 m
- **Área estimada para la sección húmeda:** 1.04 m²

-Velocidad de Flujo-

Medidas de velocidad: 8
Velocidad promedio de flujo: 0.7820 m/s

En la Cuadro N°6 se presentan los resultados de caudal instantáneo para cada una de las ocho (8) estaciones levantadas. Aquí se presenta una relación entre

área de influencia, velocidad promedio medida en el punto y la magnitud de caudal calculado en cada estación.

Cuadro N°6 - Caudal Instantáneo resultante para la sección aforada

Estación	Velocidades (m/s)	Área de influencia (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0.6770	0.1388	0.0939
2	1.0130	0.1400	0.1418
3	0.9010	0.1513	0.1363
4	1.0130	0.2200	0.2229
5	1.0130	0.1975	0.2001
6	0.6770	0.0825	0.0559
7	0.5650	0.0513	0.0290
8	0.397	0.0550	0.0218
Promedio: 0.7820		1.04	0.9016

De acuerdo con las estimaciones realizadas, el caudal instantáneo disponible en el punto de aforo es de **0.9016 metros cúbicos por segundo**, lo que es equivalente a **901.6 Litros por segundo**.

- **Consideraciones del aforo:**

Se observa un aumento de cerca de 66% del caudal instantáneo medido para la misma sección transversal estudiada durante la temporada seca. Se trata de un incremento importante, considerando que la fecha del aforo coincide con los primeros días de la época lluviosa del año 2023, la cual ya ha sido definida como irregular y relativamente más seca que el promedio para el mismo periodo.

Cabe recordar, además, que el año 2023 ha sido oficialmente declarado como “año Niño”, lo que implica la probabilidad de que este incremento del caudal esté reflejando apenas un pulso bajo de lo que este cauce es capaz de generar para este mismo periodo. En todo caso, es preciso considerar además que las condiciones antecedentes de humedad dentro de la cuenca pueden haber generado gran influencia en la medida obtenida.

Los días que preceden al aforo registran precipitaciones de moderada intensidad y corta duración, de manera que es altamente probable que estemos observando un punto del hidrograma que evidencia el drenaje de las aguas correspondientes a estos eventos de lluvia, y no necesariamente condiciones de flujo base del canal.

Contrastando con las observaciones de la temporada seca, en esta ocasión es posible apreciar que el canal del río transporta una elevada carga de sedimentos.

Esto evidencia de elevadas tasas de erosión dentro de la cuenca estudiada y, muy probablemente, un elevado factor de cedencia (sedimento erosionado que efectivamente alcanza el canal), aspecto que nos permitiría hacer inferencias sobre la dinámica del escurrimiento superficial dentro de esta unidad hidrográfica, calificándolo como continuo (poca retención) y de elevadas velocidades.

Figura N°14. Flujo cargado de sedimentos.



En cuanto a los procesos de erosión-sedimentación dentro del área de estudio, también resulta pertinente destacar elementos adicionales: Durante esta visita se apreció una importante cantidad de sedimentos depositados dentro del canal, hasta el punto de que se modificó considerablemente la geometría de la sección aguas abajo del sitio de aforo.

Además, fue posible apreciar que los taludes en las márgenes del río no presentan buena estabilidad, especialmente en la margen izquierda (hacia el sitio de proyecto). Pendientes pronunciadas ($> 40\%$), gran cantidad de raíces expuestas de la vegetación arbórea y secciones de las márgenes excavadas por las corrientes de agua son características muy comunes en este trecho del río. Algunos tramos de la margen izquierda del canal han sido estabilizados mediante antiguas obras en cauce (recubrimiento con concreto), y el resto de la sección se encuentra recubierta por paja canalera (*Saccharum spontaneum*), como especie destacada entre otras especies leñosas de bajo porte

4.3.3. Tercera Campaña de Aforo: 15 de agosto de 2023

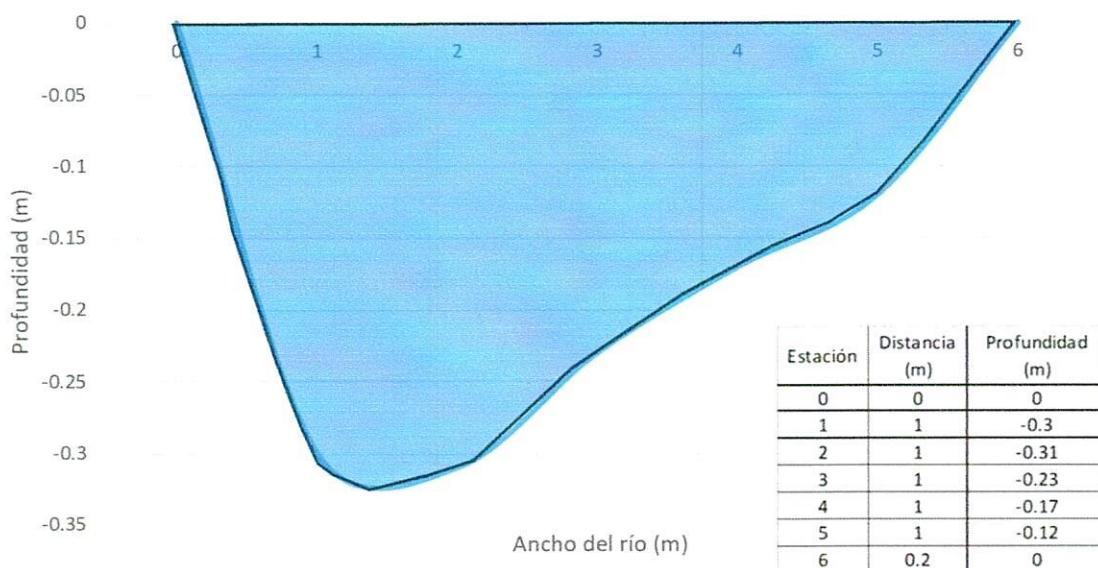
- **Condiciones Ambientales:**

Al momento del aforo, se observa gran cantidad de nubosidad, de coloración oscura, sugiriendo que pronto tendrían lugar eventos de precipitación de cantidades considerables. Los días que anteceden a la fecha de la medición estuvieron caracterizados por numerosos eventos de lluvia. El cauce del río mantiene gran cantidad de desechos sólidos cuyo estado sugiere que se han alojado en el lugar de forma reciente, es decir, el río continúa recibiendo entradas de desechos de manera regular.

Contrastando con las observaciones registradas durante la segunda campaña, en esta ocasión se observa el agua con una coloración mucho más clara, mostrando menor cantidad de sedimentos siendo transportados al momento de la medición. Al igual que durante la segunda campaña de aforo, se corrobora que el olor fétido del agua ya no se percibe con la misma intensidad que durante la época seca.

- **Resultados del Aforo:**

Figura N°15. Sección transversal – Aforo # 3.



-Área de la Sección-

- **Cantidad de estaciones:** 5
- **Distancia entre cada estación:** 1.0 m
- **Área estimada para la sección húmeda:** 1.092 m²

-Velocidad de Flujo-**Medidas de velocidad:** 5**Velocidad promedio de flujo:** 0.8338 m/s

En el Cuadro N°7 se presentan los resultados de caudal instantáneo para cada una de las cinco (5) estaciones levantadas. Aquí se presenta una relación entre área de influencia, velocidad promedio medida en el punto y la magnitud de caudal calculado en cada estación.

Cuadro N°7 - Caudal Instantáneo resultante para la sección aforada

Estación	Velocidades (m/s)	Área de influencia (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	1.0130	0.3075	0.3115
2	0.9010	0.2925	0.2635
3	1.0130	0.2350	0.2381
4	0.6770	0.1725	0.1168
5	0.5650	0.0785	0.0444
Promedio: 0.8338		1.092	0.9742

De acuerdo con las estimaciones realizadas, el caudal instantáneo disponible en el punto de aforo es de **0.9742 metros cúbicos por segundo**, lo que es equivalente a **974.2 Litros por segundo**.

- **Consideraciones del aforo:**

Se observa un aumento aproximadamente un 8% del caudal instantáneo medido para la misma sección transversal estudiada durante la primera campaña de aforo de la temporada lluviosa. Se trata de un incremento normal, probablemente atribuible al avance de la temporada de lluvias cuyos aportes han contribuido gradualmente a la recarga de las aguas subterráneas dentro de la cuenca.

A pesar de estar enfrentando un año hidrológico declarado bajo el “fenómeno del Niño”, es preciso reconocer que las condiciones de humedad dentro de la cuenca aún parecen estar generando aportes considerables al caudal que está siendo medido hasta el mes de agosto de 2023.

Nuevamente, las condiciones observadas en el río denotan cambios en su régimen de flujo y en sus dinámicas de transporte de sedimentos que se encuadran dentro de patrones contrastantes con apreciaciones previas. Durante

la segunda campaña de aforo, a pesar de haberse medido menor cantidad de caudal, fue posible apreciar un arrastre mucho mayor de sedimentos dentro del canal. En esta ocasión, no obstante, la coloración de las aguas y la condición de los sedimentos observados en zonas de deposición indican que el transporte sólido ha disminuido considerablemente en términos de magnitud.

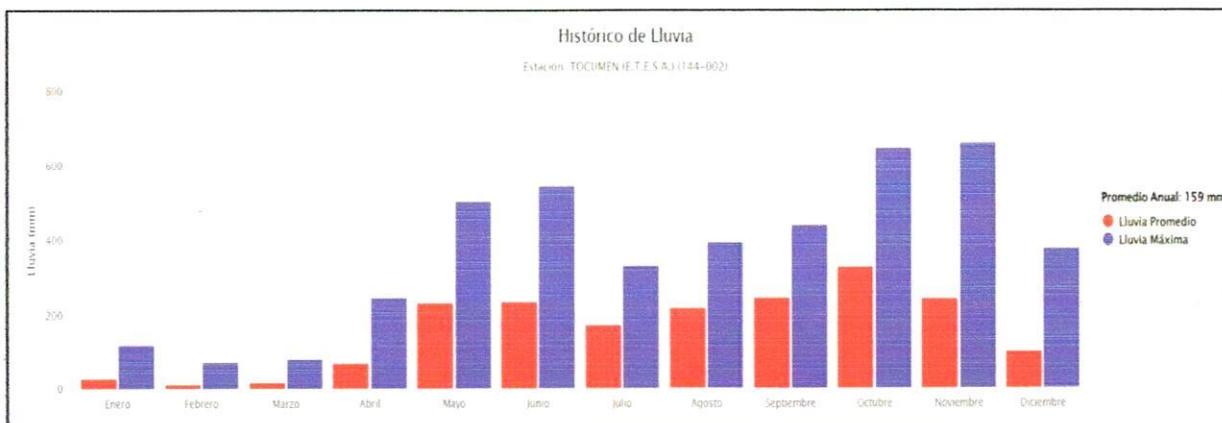
4.4. Descripción Climática

Según la clasificación climática de Köppen, el clima de la región de estudio presenta dos zonas de importancia:

1. Clima Tropical Húmedo (Ami), en mucha menor cantidad de superficie, donde las temperaturas superan los 20 ° C y se experimenta una estación seca marcada. Las temperaturas diurnas pueden alcanzar entre 30 y 31 ° C, mientras que las temperaturas nocturnas se encuentran en el rango de 22 a 23 ° C.
2. Clima Tropical de Sabana (Awi), que predomina en casi toda el área de la cuenca, y cuya precipitación anual es mayor a la 2,500 mm.; uno o más meses con precipitación menor 60 m.m.; la temperatura media del mes más fresco es mayor 18 °C, diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco es menor 5°C

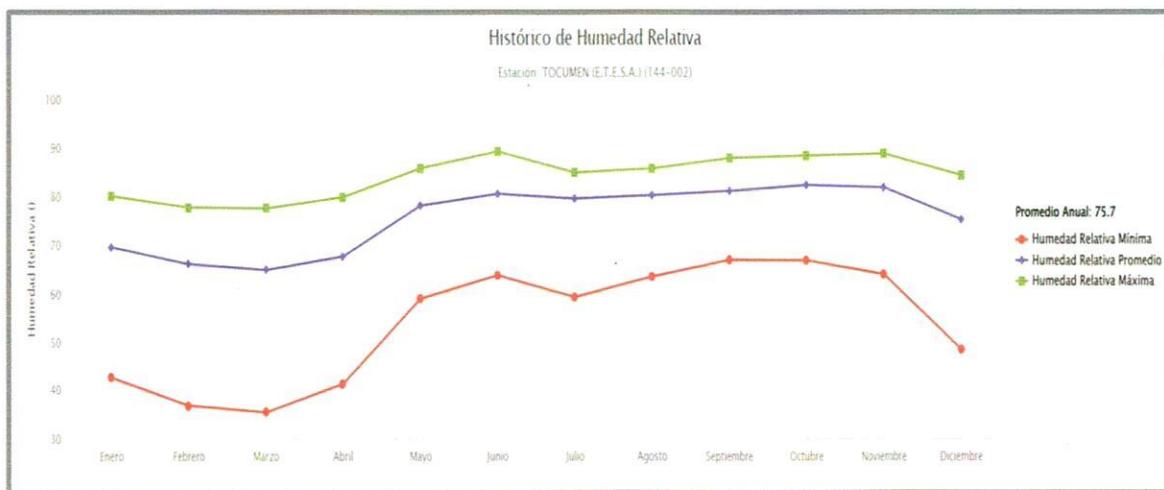
La precipitación en estas zonas se caracteriza por ser abundante, cuyo promedio oscila en valores en torno a 1800 mm por año, y la lluvia máxima observada para todo el periodo de registro de la estación Tocumen (E.T.E.S.A.) 144-002 es de 590.8 mm, habiendo tenido lugar durante un mes de noviembre.

Figura N°16 Registros de precipitación y humedad relativa promedio mensual



Fuente: IMPHA, 2023

Por su parte, la humedad relativa muestra un promedio histórico de poco más de 84 %.



Fuente: Elaboración propia

4.5. Riesgo de Inundación

La posición del canal del río con respecto a las tierras adyacentes indica una muy baja probabilidad de eventos de inundación. El tránsito de las aguas ha socavado un canal bastante profundo en el sitio donde se desea realizar la obra en cauce. Mediciones preliminares permitieron estimar una diferencia de elevación de poco más de cuatro (4) metros de altura entre la vaguada y el borde superior del margen izquierdo del río.

Al consultar con residentes, y con personal que labora en las instalaciones próximas al sitio de proyecto y al río, fue posible corroborar que no existen registros de eventos de inundación que hayan afectado la zona.

Estas observaciones, sumadas a las características geomorfológicas de la cuenca del río Tapia, y a las estimaciones de caudal realizadas durante los aforos por vadeo permiten clasificar, al menos preliminarmente, que se trata de una localidad con riesgo de inundación muy bajo.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Con base en el estudio hidrológico realizado fue posible evaluar el comportamiento hidrológico de la cuenca hidrográfica del río Tapia. Al medir el caudal instantáneo disponible en el sitio de proyecto, durante tres ocasiones esporádicas, fue posible estimar valores de caudal instantáneo que, en promedio, dan como resultado cerca de 700 Litros por segundo (0.76 m³/s).

A pesar de haber realizado observaciones durante la temporada lluviosa, no se apreciaron incrementos en las tasas de flujo que indiquen que existe algún tipo de riesgo inminente que ponga en peligro la realización de las obras en cauce en el sitio escogido.

Se sugiere al promotor brindar especial cuidado a la estabilización de los taludes en las áreas de las márgenes del río que se ubiquen próximas al sitio de construcción ya que, en atención a las condiciones de suelos y de cobertura vegetal reducida, estas si pueden representar un factor de riesgo de importancia para los trabajadores que realicen la obra.

Finalmente, cabe destacar que el río Tapia es un afluente urbano con alto grado de contaminación. Es muy poco probable que las modificaciones temporales en los regímenes de flujo que sean ocasionadas por la construcción de obras en cauce puedan llegar a impactar negativamente el funcionamiento del ecosistema. El nivel de afectaciones a la salud de dicho ecosistema ya se encuentra en umbrales críticos debido al alto grado de contaminación y a las modificaciones en la cobertura y usos de los suelos dentro de la cuenca.



CONSEJO TECNICO NACIONAL
DE AGRICULTURA
AARON A. CONTE F.
ING. EN MANEJO DE
CUENCAS Y AMBIENTE
IDONEIDAD: 7.59% : *

**ANEXO 1: Fotografías durante la ejecución de los
Aforos**

Aforo #1



Fotos N°1 y N°2 – Levantamiento de la sección transversal y medición de la velocidad con molinete hidráulico



Foto N°3 – Vista río arriba de la sección de aforo. Puente sobre Ave. José María Torrijos

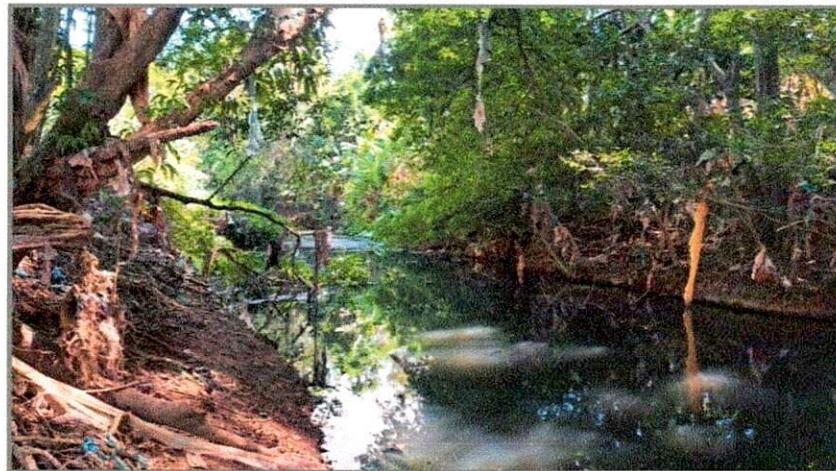


Foto N°4 – Vista río abajo de la sección de aforo. La cantidad de basura colgada de ramas altas es indicativa de altos niveles de flujo en temporada lluviosa.

Aforo #2



Foto N°5 – Condiciones ambientales observadas en el sitio de aforo (sedimentos, mayor velocidad de flujo)



Foto N°6 – Acumulación de residuos sólidos en un punto aguas abajo de la sección de aforo



Foto N°7 – Vista río abajo de la sección de aforo. Se observa aumentos del nivel de agua, producto del aumento en el caudal, así como evidencia de considerables cantidades de sedimento depositado.

Aforo #3



Foto N°8 – Vista río arriba de la sección de aforo. Puente sobre Ave. José María Torrijos



Foto N°3 – Crecimiento de vegetación arbustiva y herbácea en las márgenes y dentro del cauce del río.

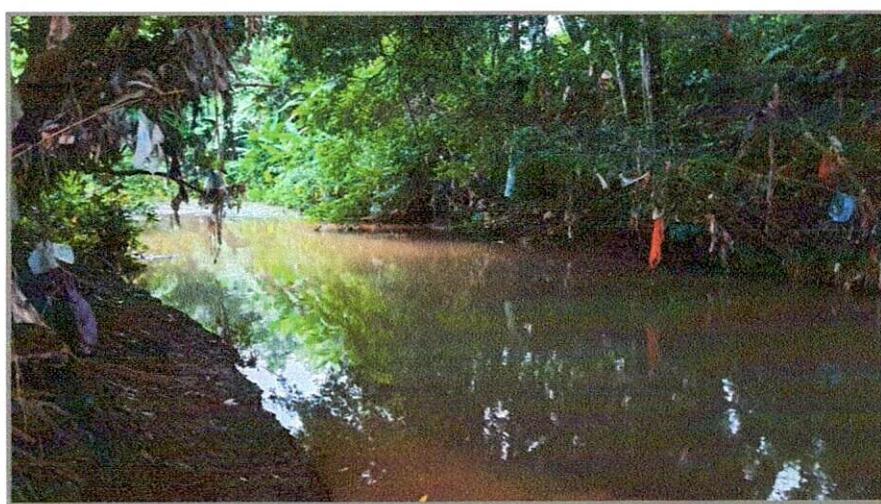


Foto N°7 – Vista río abajo de la sección de aforo. Tercera campaña de aforo – agosto 2023.

ANEXO 2: Plano de Sifón Sanitario



LOCALIZACION REGIONAL

ESC. 1=10,000

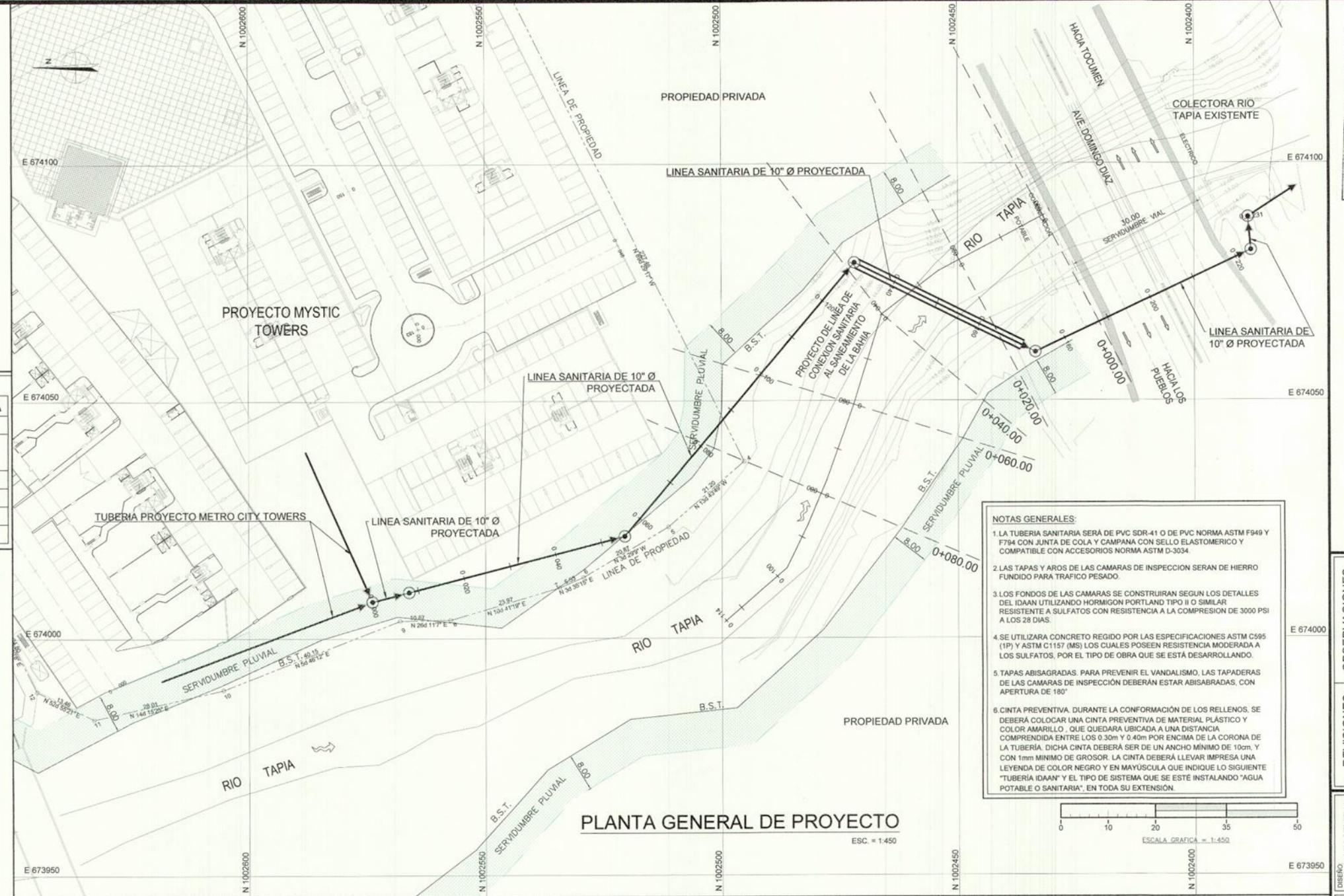
INDICE GENERAL

No.	CONTENIDO	HOJA
1	INDICE – CARATULA GENERAL DEL PROYECTO	CGP
2	PLANTA GENERAL DE LINEA DE CONEXION SANITARIA AL SANEAMIENTO DE LA BAHIA	INFO1
3	DETALLES DE CIS, TAPA Y ARO	INFO2
4	DETALLES DE CAJAS DE ENTRADA Y SALIDA DE SIFON Y ESTABILIZACION DE ZANJA	INFO3
5	DETALLE DE CAMARA DE REJILLA	INFO4
6	DETALLE DE SEÑALIZACION DE OBRA	INFO5

FICHA TÉCNICA DE SEÑAL GEODESICA

FICHA TÉCNICA DE SEÑAL GEODESICA

Localización	Geomat Solutions Corp.
P59	
Geomat Solutions Corp.	
Avenida Domingo Diaz	Documento
WGS-84 / ITRF-97	WGS-84
1002417.060 m	674125.495 m
18.34 m	2017
EGM-2008	RED PRIMARIA



PLANTA GENERAL DE PROYECTO

NOTAS GENERALES:

1. LA TUBERIA SANITARIA SERA DE PVC SDR-41 O DE PVC NORMA ASTM F949 Y F794 CON JUNTA DE COLA Y CAMPANA CON SELLO ELASTOMERICO Y COMPATIBLE CON ACCESORIOS NORMA ASTM D-3034.

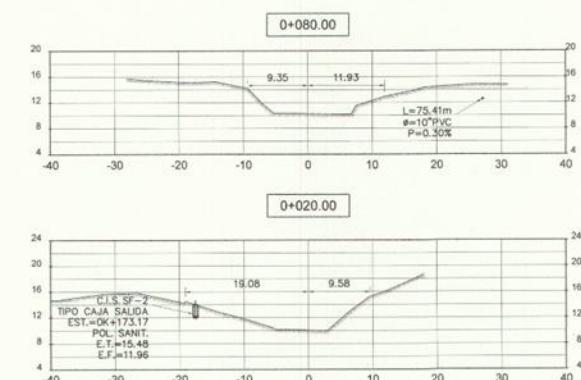
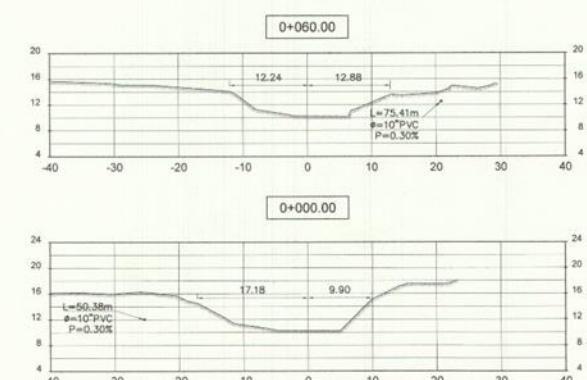
2. LAS TAPAS Y AROS DE LAS CAMARAS DE INSPECCION SERAN DE HIERRO FUNDIDO PARA TRAFICO PESADO.

3. LOS FONDOS DE LAS CAMARAS SE CONSTRUIRAN SEGUN LOS DETALLES DEL IDAN UTILIZANDO HORMIGON PORTLAND TIPO II O SIMILAR RESISTENTE A SULFATOS CON RESISTENCIA A LA COMPRESION DE 3000 PSI A LAS 28 DIAS.

4. SE UTILIZARA CONCRETO RECIDO POR LAS ESPECIFICACIONES ASTM C595 (1P) Y ASTM C1157 (MS) LOS CUALES POSEEN RESISTENCIA MODERADA A LOS SULFATOS, POR EL TIPO DE OBRA QUE SE ESTA DESARROLLANDO.

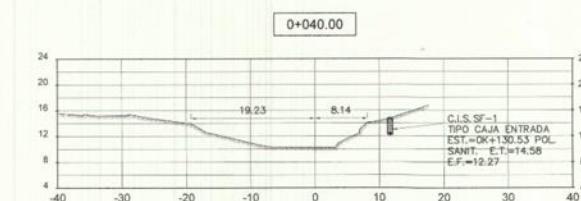
5. TAPAS ABISAGRADAS PARA PREVENIR EL VANDALISMO. LAS TAPADERAS DE LAS CAMARAS DE INSPECCION DEBERAN ESTAR ABISAGRADAS, CON APERTURA DE 180°.

6. CINTA PREVENTIVA. DURANTE LA CONFORMACION DE LOS RELLENOS, SE DEBERA COLOCAR UNA CINTA PREVENTIVA DE MATERIAL PLASTICO Y COLOR AMARILLO, QUE QUEDARA UBICADA A UNA DISTANCIA COMPRENDIDA ENTRE LOS 0.30m Y 0.40m POR ENCIMA DE LA CORONA DE LA TUBERIA. DICHA CINTA DEBERA SER DE UN ANCHO MINIMO DE 10cm, Y CON 1mm MINIMO DE GROSOR. LA CINTA DEBERA LLEVAR IMPRESA UNA LEYENDA DE COLOR NEGRO EN MAYUSCULAS QUE INDIQUE LO SIGUIENTE "TUBERIA IDAN" Y EL TIPO DE SISTEMA QUE SE ESTE INSTALANDO "AGUA POTABLE, O RAMA PTA, ETC.", EN TODA SU EXTENSION.



SECCIONES TRANSVERSALES

Escala Horiz. 1:500
Escala Vert. 1:500



OMAR IVAN AROSEMEÑA CH.
ENGENIERO CIVIL
LICENCIA N° 84-2004-0469
Omar Arosemena
FIRMA.
Ley 15 del 26 de Febrero de 1959
Jueves Técnico de Ingeniería y Arquitectura

REVISIONES		OBSERVACIONES					
Nº	Revisado	D-M-A					
01							
02							
03							
04							
05							
06							
07							
08							

ING. O AROSEMANA
CALCULO
ING. O AROSEMANA
DIBUJO
LIC. RMV / LIC. AG
REVISIO
ING. O AROSEMANA
ESCALA
INDICADA
FECHA
ENERO-2021
HOJA N°:
CGP

METRO CITY TOWERS

DE INDUSTRIA PAPELERA DEL CARIBE, S.A.

FOLIATULA GENERAL DE PROYECTO

FGGUARDIA
ENGENIEROS ARQUITECTOS CONSULTORES