

ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL RÍO TAPIA



PROYECTO: “PARQUE LOGÍSTICO SAN CARLOS”.

Lugar: Corregimiento de Las Mañanitas, distrito de Panamá, provincia de Panamá

Cliente

Equipo Técnico

Ing. David Trejos Hurtado
Ing. Johnny A. Cuevas Marín

Responsable del Proyecto:

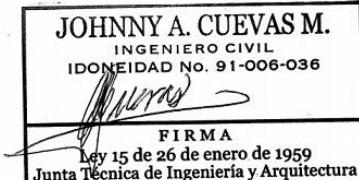


MORNINGS PROPERTY S.A.

Hidro-Consult

CI 2013-006-046
CI 1991-006-036

Arq. Miguel A. Rodríguez R.
Lic. Profesional 77-1-2



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DEL PROYECTO “PARQUE LOGÍSTICO SAN CARLOS”	2
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TAPIA	6
3.1. Cuenca del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora	6
3.2. Red de drenaje del Río Tapia	7
4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	9
5. TEXTURA DE LOS SUELOS:	10
6. CAPACIDAD AGROLÓGICA DEL SUELO	13
7. COBERTURA BOSCOSA Y USOS DEL SUELO:	16
8. CLIMA	21
8.1. Clima tropical con estación seca prolongada	21
9. ZONAS DE VIDA SEGÚN HOLDRIDGE	21
10. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	24
11. INFORMACIÓN BÁSICA	27
11.1. Información cartográfica existente:	27
11.2. Información meteorológica e hidrológica	28
11.3. Levantamiento Topográfico	31
12. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO TAPIA UTILIZANDO MODELO HEC-HMS	32
12.1. Descripción del modelo HEC-HMS	32
12.2. Requerimientos del modelo HEC-HMS	32
12.3. Metodología	33
12.4. Régimen de lluvia:	34
12.5. Método del bloque alterno	35
12.6. Caudal de diseño:	39
12.7. Corrida del modelo HEC-HMS:	40
12.8. Resultados de las corridas de la modelación de la subcuenca del río tapia con el modelo HEC-HMS:	42

13. modelación del CAUDAL MÁXIMO INSTÁNTANEO USANDO LA METODOLOGÍA DE LAVALIN (ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE PANAMÁ DE ETESA) :	46
13.1 Aplicación del método análisis regional de crecidas máximas	46
14. MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINAR LAS PLANICIES DE INUNDACIÓN DEL RÍO TAPIA USANDO EL HIDROGRAMA CALCULADO POR EL MODELO HEC-HMS	50
14.1. Descripción del Modelo HEC-RAS	50
14.2. Requerimientos del Modelo:.....	51
14.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en HEC-RAS:	51
15. MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINAR LAS PLANICIES DE INUNDACIÓN DEL RÍO TAPIA HIDROGRAMA ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DISTRIBUIDO.....	54
16. RESULTADOS:	59
17. CONCLUSIONES:	60
18. RECOMENDACIONES.....	62
19. BIBLIOGRAFÍA:	63
20. ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización regional del proyecto.	4
Figura 2. Plano de zonificación del proyecto.	5
Figura 3. Red de drenaje de la subcuenca del Río Tapia.	8
Figura 4. Mapa de textura del suelo del área del proyecto.	12
Figura 5. Capacidad agrológica de los suelos en la subcuenca del Río Tapia.	15
Figura 6. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo.....	20
Figura 7. Nomograma de Zonas de Vida según Holdridge.	22
Figura 8. Mapa de Isoyetas de la subcuenca del río Tapia.....	26
Figura 9. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas e hidrológicas de las cuencas vecinas.	30
Figura 10. Esquema del modelo HEC-HMS, de la subcuenca del río Tapia.....	34
Figura 11. Distribución de lluvia mensual para la estación Tocumen.	35
Figura 12. Hietograma de la tormenta para un periodo de retorno de 50 años. .	38
Figura 13. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la estación meteorológica Tocumen. Fuente: Departamento de Hidrometeorología de ETESA. Esta información fue validada, comparada y revisada por Consultor en agosto de 2020.	39
Figura 14. Hidrograma resultante del modelo HEC-HMS para el periodo de retorno de 50 años.....	43
Figura 15. Salida del Hidrograma de Diseño para un periodo de 50 años del río Tapia.	44
Figura 16. Cuadro Resumen del modelo HEC-HMS para el periodo de retorno de 50 años.	44
Figura 17 El proyecto se encuentra adentro de la zona 3. Fuente: ETESA	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución Política Administrativa de la Cuenca del Río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora (144)	7
Tabla 2. Clases de suelo según su capacidad de uso.....	14
Tabla 3. Cobertura Boscosa y Uso de Suelo del área de estudio.....	16
Tabla 4. Clasificación de las Zonas de Vida presentes en la República de Panamá.	22
Tabla 5. Distribución de las Zonas de Vida presentes en el proyecto.....	24
Tabla 6. Estaciones Hidrométricas de la Cuenca 144 del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora.	29
Tabla 7. Estaciones Meteorológicas de la Cuenca 144 del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora.....	29
Tabla 8. Secciones transversales del Río Tapia.	31
Tabla 9. Hietograma de lluvia de diseño desarrollado en incrementos de 10 minutos para una tormenta de 50 años y duración de 120 minutos para la subcuenca del Río Tapia usando el método de bloques alternos.....	37
Tabla 10. Resumen de intensidades en mm para determinar la curva IDF para la estación de lluvia de Tocumen, periodo 1975-1996 (22 años). Información revisada, comparada y validada por consultor en agosto de 2020.	38
Tabla 11. Serie de caudales del Hidrograma de HEC-HMS del río Tapia para un periodo de retorno de 50 años.....	45
Tabla 12 Cuadro 7 del Resumen Técnico donde se identificó la ecuación dos (2) y la tabla #1 correspondiente a la zona 3. Fuente: ETESA.....	48
Tabla 13 Cuadro 6 del Resumen Técnico donde se buscó en la tabla #1, que el factor para un periodo de retorno 1 en 50 años corresponde en 2.37. Fuente: ETESA	48
Tabla 14. Salida de HEC-RAS del río Tapia para un periodo de retorno de 50 años utilizando el caudal calculado por el modelo HEC-HMS.	52
Tabla 15. Niveles de terracería seguro (TS) para un periodo de retorno de 50 años para el Río Tapia estimados con el hidrograma calculado por el modelo HEC-HMS	54

Tabla 16. Hidrograma del Caudal de Análisis Regional de Crecidas Máximas distribuido	55
Tabla 17. Salida de HEC-RAS del río Tapia para un periodo de retorno de 50 años utilizando el hidrograma calculado por el modelo HEC-HMS.....	56
Tabla 18. Niveles de terracería seguro (TS) para un periodo de retorno de 50 años para el Río Tapia usando como hidrograma de Análisis Regional de Crecidas Máximas distribuido para una duración de 23 horas	58

1. INTRODUCCIÓN

La revisión y actualización del Estudio hidrológico e hidráulico del río Tapia, ha sido desarrollado para el proyecto: Parque Logístico San Carlos, cuyo promotor es Mornings Property, S.A. El estudio hidrológico e hidráulico del río Tapia fue elaborado en el año 2014 por el Ing. Esteban Sáenz. En el año 2020 el estudio fue presentado y revisado por el MOP, pero solicitaron que se actualizara el estudio, ya que había pasado más de 5 años. Esta actualización complementa el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto, para cumplir con los requisitos de aprobación del Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Obras Públicas.

El objetivo principal del estudio hidrológico es determinar el caudal de diseño para períodos de retorno de 50 años. Por su parte, el estudio hidráulico tiene como objetivo definir las planicies de inundación, los niveles máximos de crecidas, y niveles de terracerías seguras para el diseño final y construcción del proyecto.

Para el análisis se revisaron los datos meteorológicos de la zona bajo estudio, se identificaron las estaciones de precipitación y se determinaron parámetros como tiempo de concentración, intensidad de la lluvia, entre otros. Para la hidrología se determinaron las superficies de drenajes, pendientes, caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, para el río Tapia, objeto del estudio.

En el informe se presenta una descripción general de la cuenca hidrográfica 144 (Cuenca del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora) y de la subcuenca de Rio Tapia incluyendo, localización y descripción general del área, cálculo de caudal máximo de diseño, modelación hidráulica para determinar las planicies de inundación y terracería segura del río estudiado.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones.

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DEL PROYECTO “PARQUE LOGÍSTICO SAN CARLOS”

El Proyecto denominado “PARQUE LOGÍSTICO SAN CARLOS”, se encuentra localizado geográficamente a $79^{\circ} 24'50.81''$ de longitud oeste y $9^{\circ}4'32.26''$ de latitud norte. El proyecto está ubicado en el corregimiento de Mañanitas, perteneciente al distrito de Panamá, provincia de Panamá, aproximadamente a 17.3 km en línea recta al este de la ciudad de Panamá. El acceso al mismo toma aproximadamente 25 minutos viajando por la Ave. Ricardo J. Alfaro y Ave. Domingo Díaz desde Condado del Rey (Ver Figura 1, Mapa de localización regional del proyecto).

El corregimiento de Las Mañanitas limita al norte con el corregimiento de Tocumen, al sur con los corregimientos de Juan Díaz y Don Bosco, al este con el corregimiento de Pedregal y al oeste con el corregimiento de Tocumen.

De acuerdo con los datos recolectados en el último Censo Poblacional de la República de Panamá (año 2010), la población del distrito de Panamá es de 880691 habitantes, de los cuales 434691 son hombres y 38123 son mujeres distribuidos en 224 lugares poblados.

El Parque Logístico San Carlos es una agrupación de galeras, en donde su uso principal es el almacenamiento, distribución y manejo logístico; dicho proyecto cuenta con una garita a partir de la cual se plantea una vía principal central, la cual se encarga de comunicar y articular los edificios que conforman el proyecto con las zonas duras y las zonas verdes proyectadas. Adicionalmente, sobre la vía de acceso se cuenta con dos construcciones para locales comerciales, las cuales cuentan con sus áreas de estacionamientos. (ver Figura 2, Plano de Zonificación).

La vía principal concentra la operación del proyecto, dejando las áreas laterales y posteriores para zonas verdes a fin de mitigar el impacto del proyecto sobre los vecinos y el río Tapia. En el costado norte del predio se ubicaron obras de infraestructura como tanques, planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y cuartos de máquinas con equipos de bombeo.

Las galeras están proyectadas como construcciones que cuentan con un área de andén (recibo y entrega de mercancía), estacionamientos, zona de almacenamiento y oficinas.

Los locales comerciales se ubicarán, hacia el frente del proyecto y cuentan con estacionamientos con acceso directo e independiente desde la vía José María Torrijos y área comercial cubierta.

El proyecto consta de tres (3) galeras, dos (2) edificaciones para locales comerciales y una garita.

Las galeras se diseñaron para realizar actividades de almacenamiento de producto terminado y así operar como centros de distribución o edificios logísticos. Por lo tanto, las edificaciones principales cuentan con espacios funcionales interiores (zona para almacenamiento, oficinas, baños, vestidores, etc.) y exteriores (parqueaderos, patio de maniobra y puertos de carga), los cuales se complementan para garantizar la funcionalidad de la edificación.

Los locales comerciales están distribuidos en dos (2) edificaciones, los cuales se ubicaron en el costado sur y con acceso desde la vía Omar Torrijos.

A fin de contar con el control sobre vehículos y peatones, se cuenta con un edificio de garita, el cual se encuentra en el costado sur del proyecto.

En cuanto a áreas tenemos 25300 m² aproximados para la galera uno (1), 34400 m² aproximados para la galera dos (2), 4500 m² aproximados para la galera tres (3), 540 m² aproximados para los locales del costado occidental y 380 m² aproximados para los locales del costado oriental.

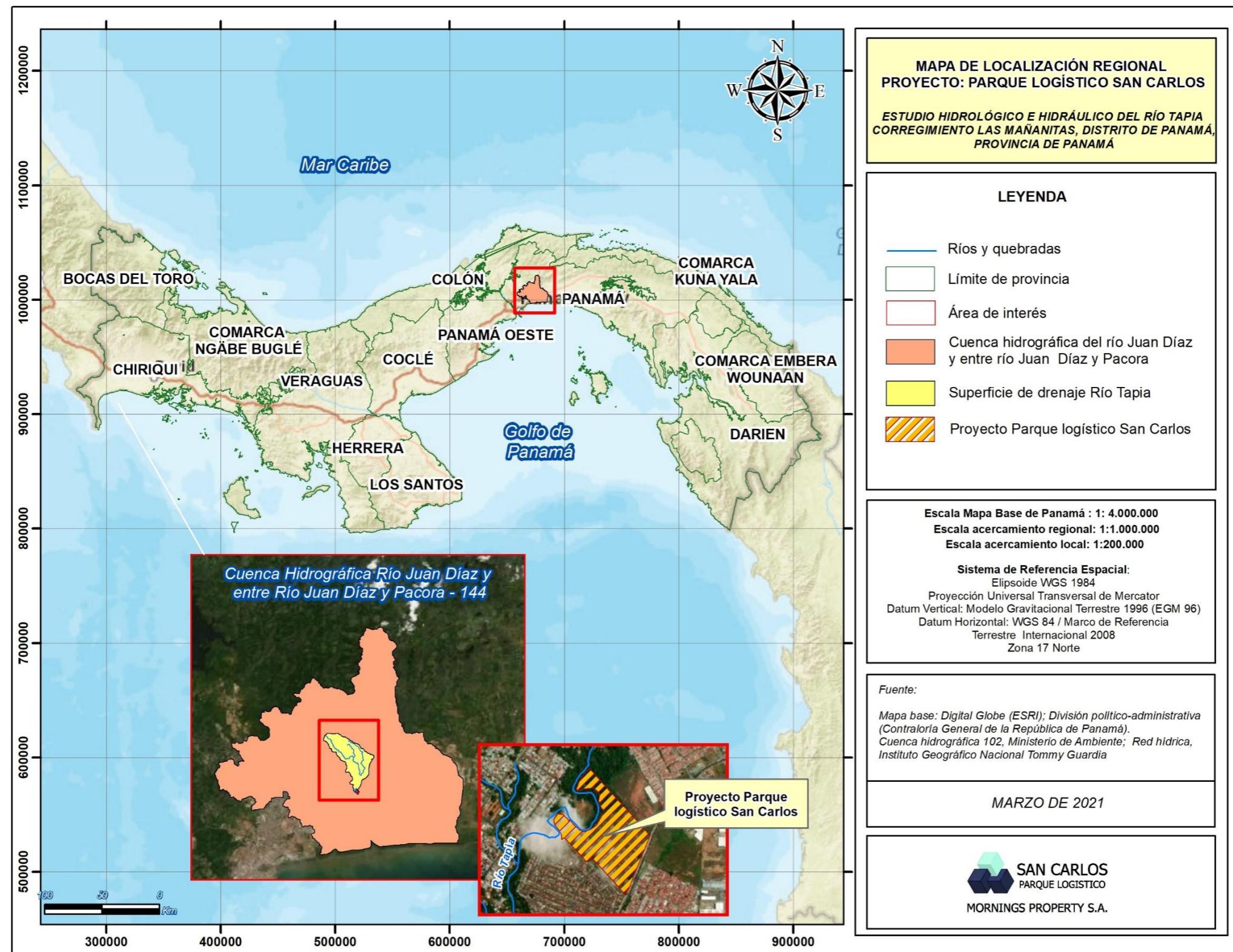


Figura 1. Mapa de localización regional del proyecto.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

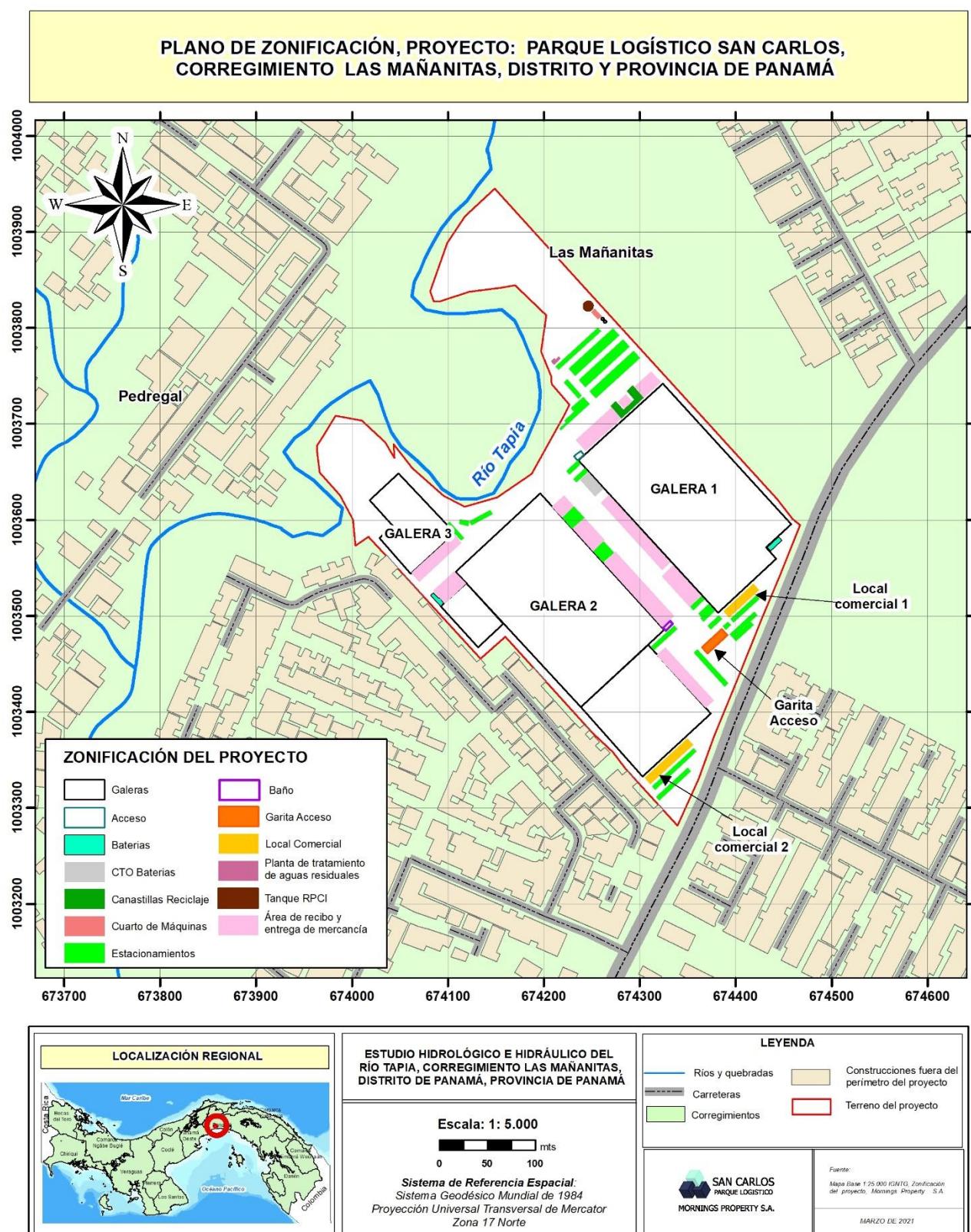


Figura 2. Plano de zonificación del proyecto.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TAPIA

La subcuenca del río Tapia, objeto de este estudio hidrológico e hidráulico, pertenecen a la región hídrica del Pacífico Oriental. Esta región se extiende desde el este de la provincia de Panamá hasta la de Darién. Sus cursos de agua desembocan en el océano Pacífico y sus rangos de precipitación predominan entre los 1000 y 3000 mm. Forma parte de la cuenca hidrográfica del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora, designada con el número 144 según el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA). Esta cuenca limita, al norte con la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá o Cuenca del Río Chagres (115), al sur con el océano Pacífico, al este con la cuenca del río Pacora (146) y al oeste con la cuenca 142, entre los ríos Caimito y Juan Díaz.

3.1. Cuenca del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora

La cuenca 144 del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora, está localizada geográficamente en la vertiente del Pacífico, en la provincia de Panamá, entre las entre las coordenadas 9° 00' y 9° 13' Latitud Norte y 79° 18' y 79° 34' Longitud Oeste. (ver *Figura 1, Mapa de localización regional*). Comprende una superficie total de drenaje superficial de 370 km² desde su nacimiento en Cerro Azul, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, con una longitud del cauce principal de 22 km. Según la Dirección de Hidrometeorología de ETESA¹, la elevación media de la cuenca es de 90 msnm (Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006, 2008, p. 33); su punto más alto se encuentra en la parte noroeste de la cuenca, con una elevación de 800 msnm, en el área ubicada entre cerro Azul y cerro Jefe.

Administrativamente la cuenca del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora (144) pertenece a la provincia de Panamá, distribuida en dos (2) distritos y quince (15) corregimientos:

¹ La Dirección de Hidrometeorología de ETESA es el organismo oficial que administra la red de estaciones hidrometeorológicas en el país.

Tabla 1. Distribución Política Administrativa de la Cuenca del Río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora (144)

PROVINCIA	DISTRITO	CORREGIMIENTO
PANAMÁ	SAN MIGUELITO	Omar Torrijos Herrera
		Belisario Frías
		José Domingo Espinar
		Arnulfo Arias Madrid
		Rufina Alfaro
	PANAMÁ	Pedregal
		Juan Díaz
		Las Cumbres
		24 de Diciembre
		Las Mañanitas
		Alcalde Díaz
		Ernesto Córdoba Campos
		Don Bosco
		Pacora
		Tocumen

3.2. Red de drenaje del Río Tapia

La subcuenca del río Tapia está localizada al oeste de la provincia de Panamá, cuenta con una superficie de drenaje de 15.01 kilómetros cuadrados, el cauce principal tiene una longitud de 9.91 kilómetros desde el punto más alto hasta el sitio del proyecto. Los afluentes principales del Río Tapia son las Quebradas Rincón Bellaco y La Colorada (ver figura 3, *subcuenca del río Tapia*), las cuales confluyen en el río Tapia. El paisaje de esta subcuenca está dominado por tierras bajas.

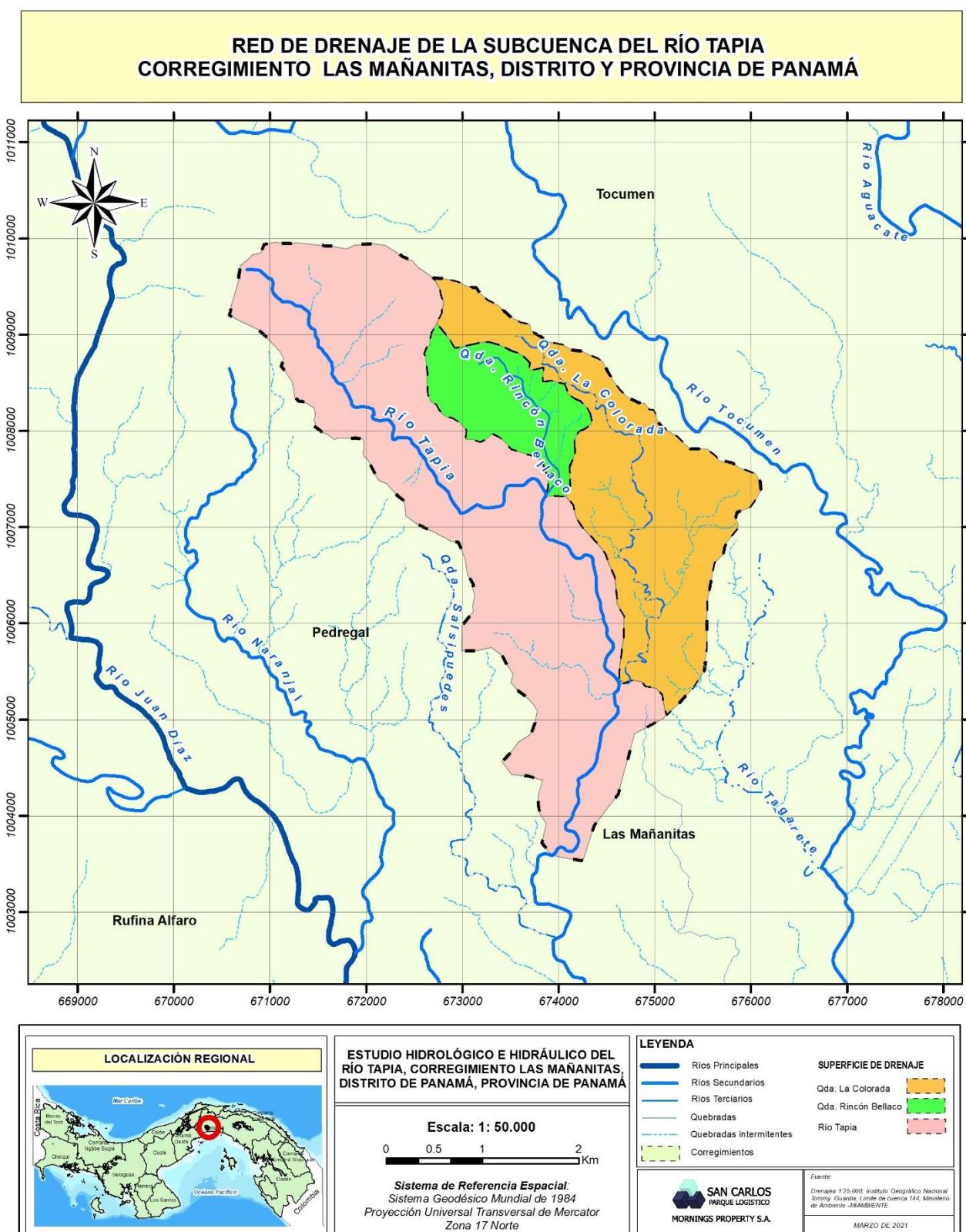


Figura 3. Red de drenaje de la subcuenca del Río Tapia.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

En la subcuenca del río Tapia se han identificado dos formaciones geológicas. La primera es la formación Mamoní (K-Coma), forma parte del grupo Colón y pertenece al periodo secundario, esta formación se encuentra en la parte alta de la subcuenca desde el nacimiento del río, hasta aproximadamente 300 metros en línea recta abajo de la confluencia con la quebrada Rincón Bellaco. Se caracteriza principalmente por la predominancia de rocas Granodioritas, dacitas, gabros, cuarzodioritas, sienitas, serpentinas, esquistos e intrusivos ultrabásicos.

La segunda formación pertenece al grupo Panamá, se identifica con el símbolo TO-PA y ha sido nombrada como Panamá Fase Volcánica, las formaciones de este grupo geológico, contiene rocas del Terciario Oligoceno tanto volcánicas como sedimentarias tales como: Aglomerados, tobas continentales, areniscas, calizas, lutitas, conglomerados, piroclásticos, andesitas y basaltos. Las anotaciones geológicas, describen la heterogeneidad extrema, de los sedimentos que conforman el Oligoceno, estos sedimentos se han clasificado como pertinentes a dos distintos tipos: depósitos marinos y sedimentos terrestre, consistiendo los últimos de clásticos volcánicos, despojos y sedimentos marinos de aguas poco profundas.

Geología						
Grupo	Formación	Símbolo	Formas	Significado	Área (km ²)	%
Colón	Mamoní	K-Coma	Plutónicas	Cuarzodioritas, granodioritas y sienitas	818.61	54.6
Panamá	Panamá (f. Volc)	TO-PA	Volcánicas	Andesita, aglomerado, tobas de rango fino, conglomerado depositado por corrientes	682.027	45.4
TOTAL					1500.63	100.0

En cuanto a geomorfología se refiere, la superficie de drenaje de la subcuenca del río Tapia está conformada en su mayoría por glacis o explanadas del cuaternario antiguo y nuevo, sin embargo, existen en menor proporción formaciones de Rocas ígneas extrusivas tales como basaltos, andesitas, tobas, ignibritas, etc. hacia la parte norte de la subcuenca.

5. TEXTURA DE LOS SUELOS:

La FAO define como textura de suelo al contenido de partículas o las cantidades relativas de arena, limo y arcilla presentes en los mismos, además, indica que esta propiedad tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en él.

Estos son los tipos de texturas definidos de acuerdo con sus características:



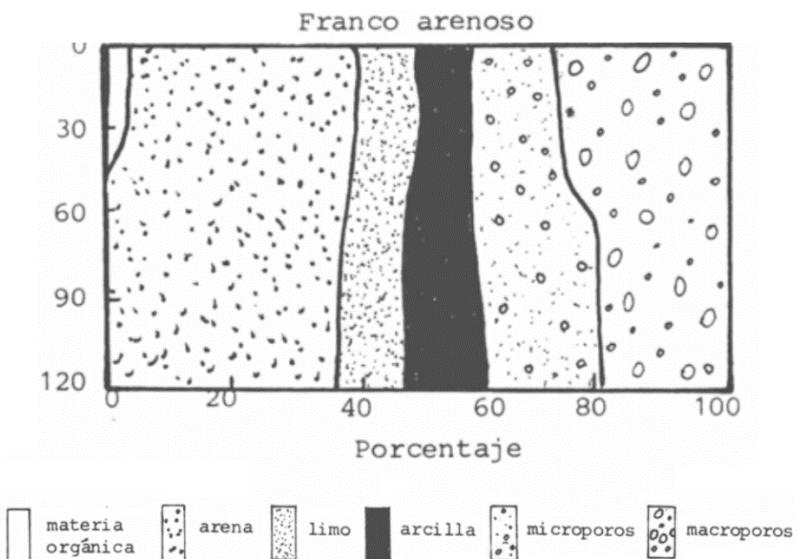
En la siguiente tabla se presenta la distribución de los tipos de textura en los suelos de la subcuenca del río Tapia:

TEXTURA	Área (has)	%
Franco	5.1	0.3
Franco Arcillo Arenoso	79.91	5.3
Franco Arenoso	1415.61	94.3
TOTAL	1500.62	100.0

Fuente: Tabla generada por el Consultor con datos del IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá), 2006. Proyecto: "Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes"

La predominancia de los suelos de tipo Franco – arenosos en la subcuenca del río Tapia es alta, cerca del 94% de los suelos de esta subcuenca corresponden a este tipo de suelos con textura gruesa, lo que representa 1416 hectáreas de terreno. Dentro de sus características se mencionan su baja capacidad para retener nutrientos y agua debido a que presentan poros grandes que facilitan la lixiviación de estos y la volatilización de nitrógeno nítrico, lo que genera en ellos una limitante en la productividad, que condicionan el crecimiento del volumen radical de las plantas, y limitada capacidad de intercambio catiónico.

La imagen presentada a continuación muestra la distribución de materia orgánica, arena, limoarcilla y poros (macroporos y microporos) en un suelo franco arenoso:



Fuente: Propiedades físicas del suelo, Universidad de la República, Montevideo Uruguay, 2004.

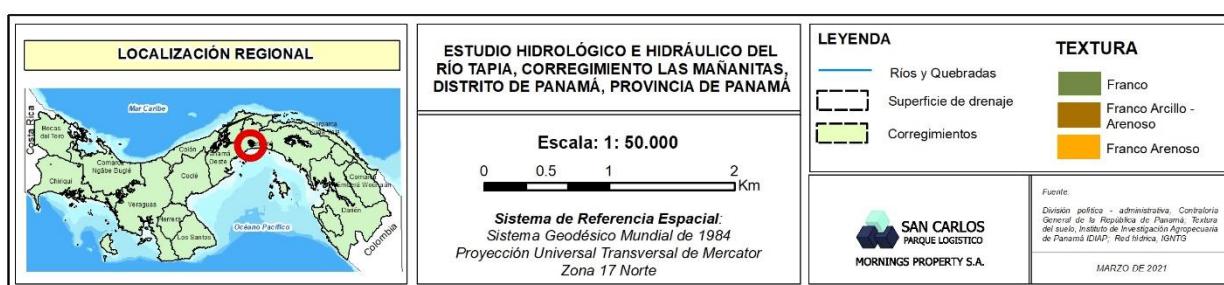
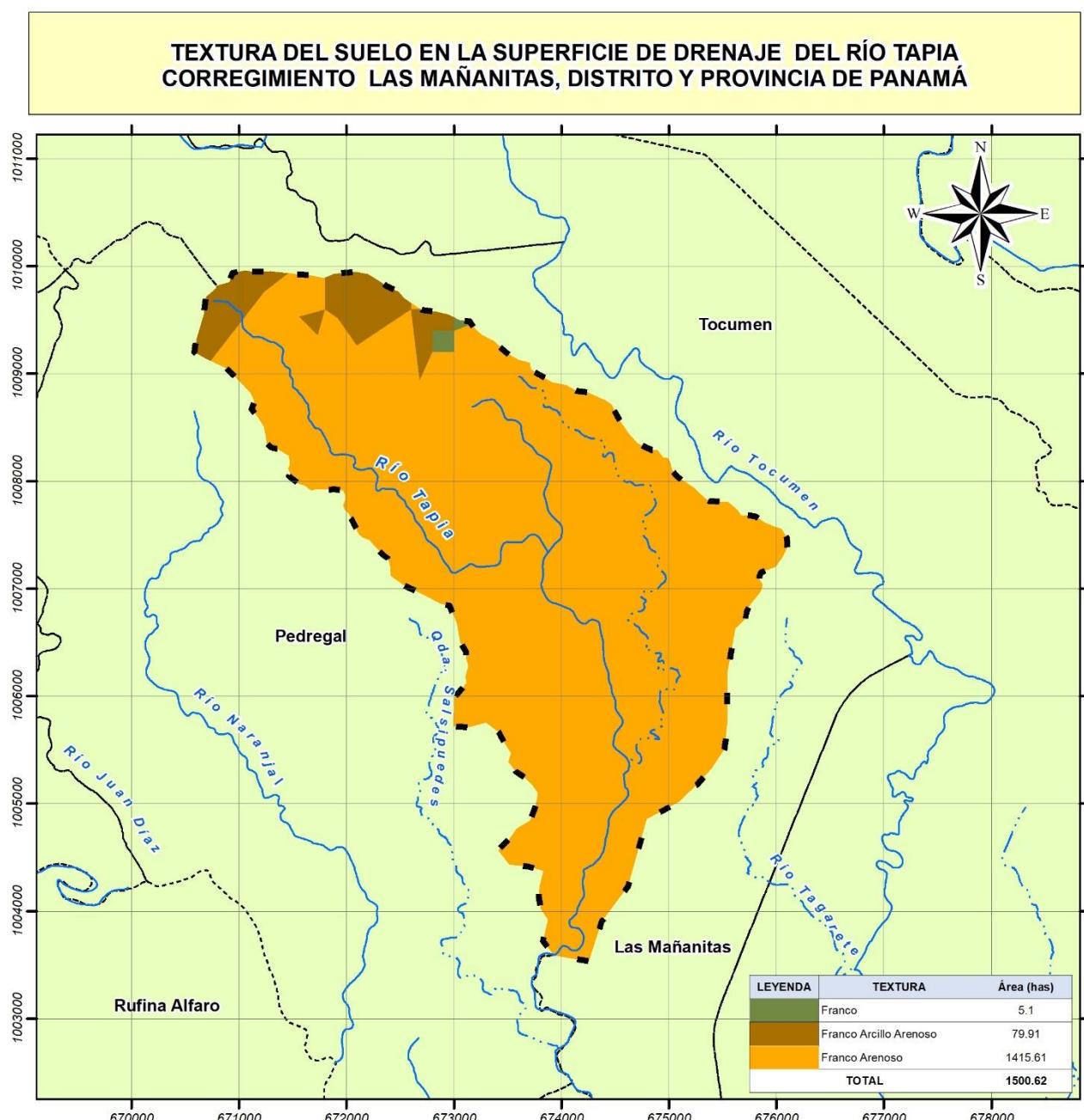


Figura 4. Mapa de textura del suelo del área del proyecto.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

6. CAPACIDAD AGROLÓGICA DEL SUELO

Los suelos se clasifican en ocho clases de tierras y se designan con números romanos, que van del I al VIII. Las tierras de Clase I son las tierras óptimas, es decir, que no tienen limitaciones y a medida que aumentan las limitaciones se designan progresivamente con números romanos hasta la Clase VIII. Las tierras de las Clases I a IV son de uso agrícola. Las Clases II y III tienen algunas limitaciones, y la Clase IV es marginal para la agricultura. Las Clases V, VI y VII son para uso forestal, frutales o pastos. La Clase VIII son tierras destinadas a parques, áreas de esparcimiento, reservas y otras.

Los suelos de la subcuenca del río Tapia se clasifican en tres clases, según su capacidad de uso (Ver *Figura 6. Capacidad agrológica de los suelos en la subcuenca del río Tapia*):

- **CLASE III Arable, severas limitaciones en la selección de las plantas:** Las tierras de esta clase son aptas para la producción de cultivos anuales. Pueden utilizarse además en las mismas actividades indicadas en la clase anterior. Los terrenos de esta clase presentan limitaciones severas que, restringen la selección de cultivos o incrementan sustancialmente los costos de producción. Requiere conservación especial.
- **CLASE VI No arable, con limitaciones severas:** Los terrenos de esta clase son aptos para la actividad forestal (plantaciones forestales). También se pueden establecer plantaciones de cultivos permanentes arbóreos tales como los frutales, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos (terrazas individuales, canales de desviación, etc.) Son aptos para pastos. Otras actividades permitidas en esta clase son el manejo del bosque natural y la protección. Presentan limitaciones severas.

- **CLASE VII No arable, con limitaciones muy severas:** Esta clase es apta para el manejo del bosque natural, además de protección. Las limitaciones son tan severas que ni siquiera las plantaciones forestales son recomendables en los terrenos de esta clase. Cuando existe bosque en estos terrenos se deben proteger para provocar el reingreso de la cobertura forestal mediante la regeneración natural. En algunos casos y no como regla general es posible establecer plantaciones forestales con relativo éxito y también pastos.

En la siguiente tabla se muestra la superficie de área en hectáreas cubierta por cada una de las categorías de capacidad de uso de la tierra, descritas anteriormente.

Tabla 2. Clases de suelo según su capacidad de uso.

Categoría	Descripción	Área (has)
III	Arable, severas limitaciones en la selección de las plantas	95.28
VI	No arable, con limitaciones severas	801.26
VII	No arable, con limitaciones muy severas	604.07
TOTAL		1500.61

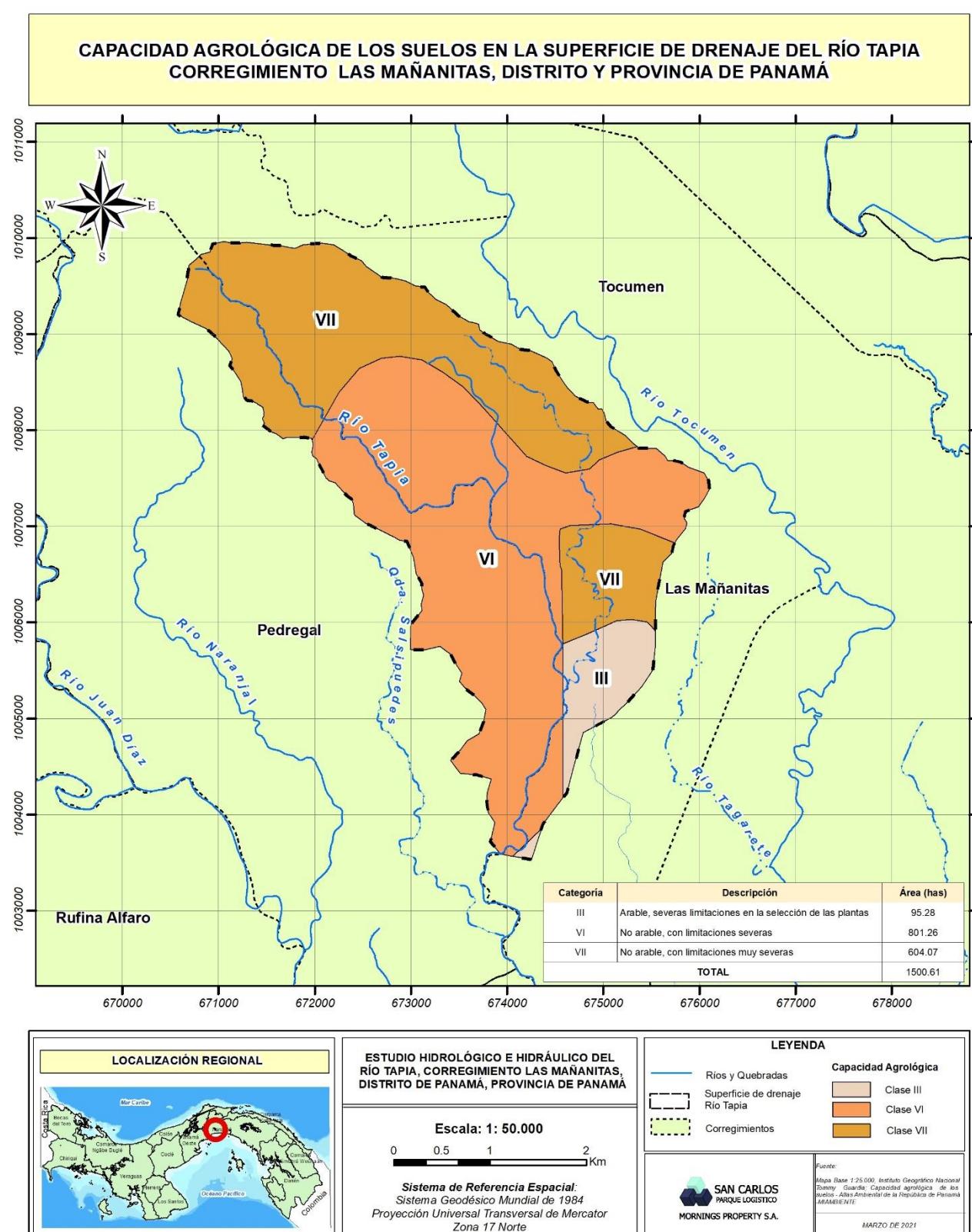


Figura 5. Capacidad agrológica de los suelos en la subcuenca del Río Tapia.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

7. COBERTURA BOSCOSA Y USOS DEL SUELO:

La cobertura y/o uso del suelo en el área de estudio, tiene una relación directa con las variables de elevaciones, clima y tipo de suelo.

De acuerdo con la información oficial del sistema de clasificación de la cobertura y uso de la tierra para el sistema nacional de monitoreo de los bosques, realizado por el Ministerio de Ambiente de la República de Panamá (2012), en los suelos de la superficie de drenaje del río Tapia existe una predominancia de uso del 55% de suelos en categoría de bosque secundario, 29% con destinación de uso de áreas pobladas, 14% a pastos y en menor proporción 5 categorías más, las cuales se muestran en la siguiente tabla (Ver Figura 7. *Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo*):

Tabla 3. Cobertura Boscosa y Uso de Suelo del área de estudio.

Cobertura y/o uso del suelo	Área (has)	%
Superficie de agua	4.17	0.28
Áreas pobladas	435.82	29.04
Bosque maduro	9.1	0.61
Bosque plantado de coníferas	1.81	0.12
Bosque secundario	825.52	55.01
Infraestructuras	3.81	0.25
Pastos	216.3	14.41
Vegetación herbácea	4.06	0.27
TOTAL	1500.59	100

Fuente: Ministerio de Ambiente, 2012

A continuación, se describen las características de las categorías de cobertura y uso de los suelos encontrados dentro del área de estudio:

Superficie de agua

Cuerpo y cauce de agua permanente o estacional, localizado en el interior del continente, que puede bordear o encontrarse adyacente a la línea de costa continental. En caso de cuerpos y cauces de agua estacionales, deben permanecer con agua mínimo 4 meses durante el año.

Área poblada

Área poblada urbana: Lugar poblado con 1500 o más habitantes y que partiendo de un núcleo central, presenta continuidad física en todas las direcciones, hasta ser interrumpida por terrenos no edificados. Reúne todas o la mayor parte de las siguientes características:

- Servicio de alumbrado eléctrico
- Acueducto público
- Sistema de alcantarillado
- Trazado de calles, varias de ellas pavimentadas y con aceras
- Edificios contiguos o alineados
- Uno o más colegios secundarios
- Establecimientos comerciales
- Centros sociales y recreativos

Área poblada rural: Lugar poblado con menos de 1500 habitantes que no cumpla con la mayoría de las características descritas para los poblados urbanos.

Bosque maduro:

Bosque en un estado sucesional avanzado o en su etapa final de sucesión, que pudo o no estar sujeto a un aprovechamiento selectivo. El bosque maduro se distingue del bosque secundario por las siguientes características, vinculadas a cada tipo de bosque:

- Predominantemente compuesto por árboles en estado adulto, con una mayor proporción del área basal concentrada en clases diamétricas altas.
- Composición con predominancia de especies similar al estado primario.

- Mayor presencia de árboles con copas grandes.
- Si no ha sido recientemente intervenido, tiene menor presencia de sotobosque.

Bosque plantado de coníferas

Bosque plantado, compuesto predominantemente por especies de coníferas, cuyas especies pertenecen a los géneros Pinus, Abies, Picea, Cupressus, Thuja, Araucaria, etc.

Bosque secundario

Bosque en un estado sucesional anterior al bosque maduro, que se desarrolló después de que toda o la mayoría de la vegetación original fue eliminada por actividades humanas y/o fenómenos naturales. Corresponde a estados sucesionales que no presentan características de rastrojo ni de bosque maduro.

El bosque secundario se caracteriza por:

- Mayor presencia de especies pioneras.
- Poca presencia de árboles con copas grandes.
- Mayor proporción del área basal concentrada en clases diamétricas medias y bajas.
- Mayor presencia de sotobosque.

El bosque secundario se distingue del rastrojo por tener una altura promedio mayor a 5 metros y una cobertura de dosel superior al 30 por ciento. Se considera también como bosque secundario a los rastrojos con altura menor a 5 metros que hayan sido declarados para fines forestales.

Infraestructura

Comprende los territorios cubiertos por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad. Ejemplo: zonas industriales o

comerciales, red vial, ferroviaria y terrenos asociados, zonas portuarias, aeropuertos, obras hidráulicas, redes de transmisión eléctrica, etc.

Pastos

Tierra utilizada para producir forraje herbáceo, ya sea que éste crezca de manera natural o que sea cultivado.

Vegetación herbácea

Está dominada por formaciones de vegetación herbácea natural no inundable en diferentes densidades y sustratos, las cuales forman una cobertura mayor de 70%.

Esta categoría se distingue de la categoría “Pastos” por no tener influencia de pastoreo.

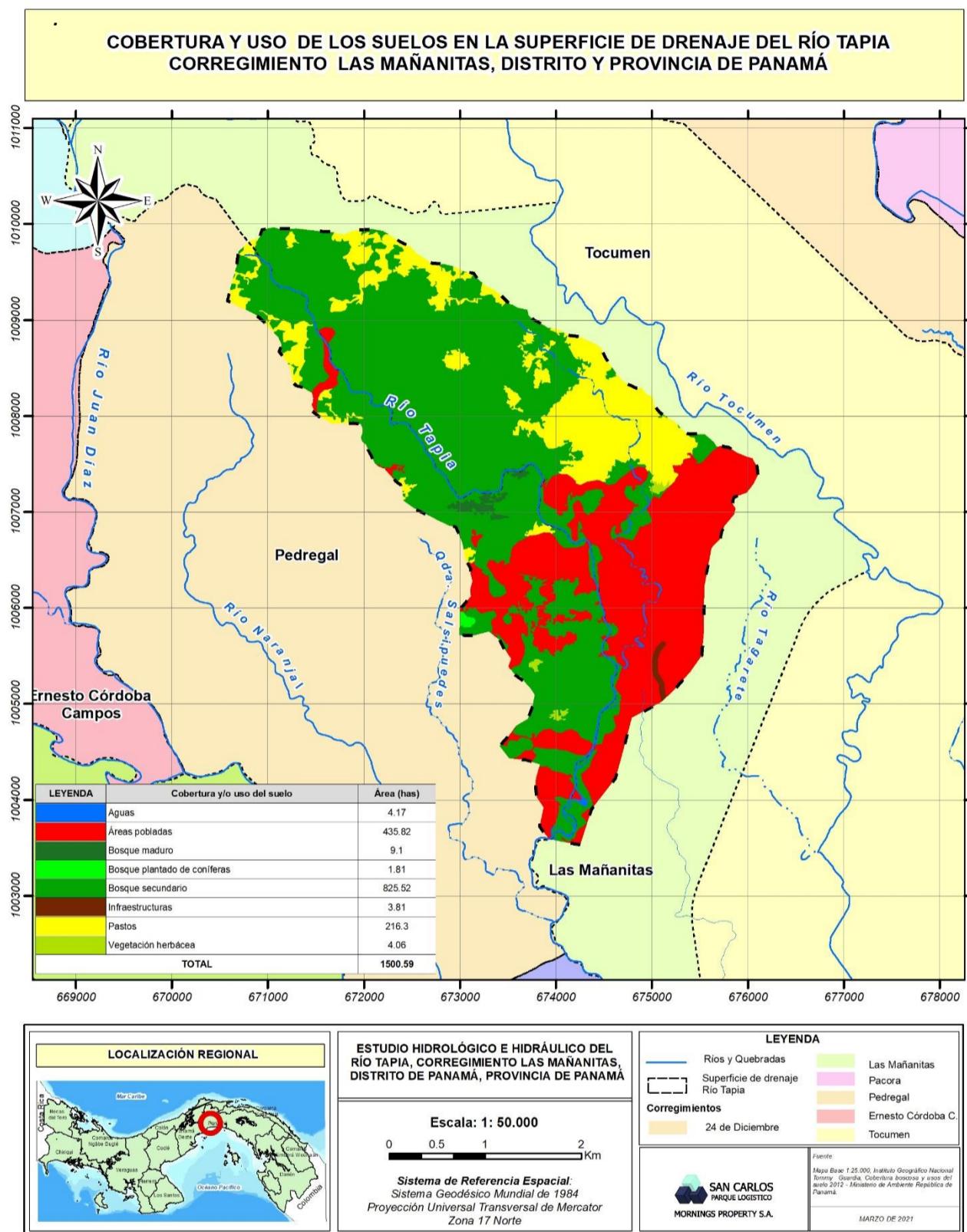


Figura 6. Mapa de cobertura boscosa y uso del suelo.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

8. CLIMA

La República de Panamá siendo un país con una superficie terrestre pequeña de 75517 Km² y está geográficamente localizado dentro de la zona de convergencia intertropical (cercana a la línea Ecuatorial), desarrolla un tipo de clima tropical, que se refleja en los abundantes bosques tropicales y en una gran riqueza y diversidad de especies, tanto de flora como de fauna.

En el país lo largo de todo el año se presentan condiciones pluviométricas y térmicas muy similares. De acuerdo con el régimen de lluvias, se han identificado para el país dos tipos de temporadas: temporada seca y lluviosa, la primera caracterizada por estar presente desde el mes de diciembre hasta finales del mes de marzo y/o mediados de abril, condicionada principalmente por los vientos alisios. La estación lluviosa que es la estación más prolongada del año se desarrolla desde finales del mes de abril hasta el mes de noviembre.

En cuanto régimen térmico se refiere, éste se ve afectado por las condiciones orográficas del relieve, lo que produce una disminución de la temperatura del aire con la elevación, afectándose también la circulación atmosférica. La temperatura media anual del país alcanza los 27°C.

De acuerdo con la clasificación climática de Alberto McKay (2000) que se presenta en el Atlas Ambiental de la República de Panamá (2010); la subcuenca del río Tapia, presenta un clima tropical con estación seca prolongada.

8.1. Clima tropical con estación seca prolongada

Este es un clima cálido y se caracteriza por presentar temperaturas medias de entre 27 a 28°C. Los totales pluviométricos anuales, siempre inferiores a 2500 mm son los más bajos de todo el país, los cuales llegan a 1122 en la provincia de Los Santos.

En la estación seca, se generan fuertes vientos, con predominio de nubes medias y altas, además hay baja humedad relativa y fuerte evaporación.

9. ZONAS DE VIDA SEGÚN HOLDRIDGE

De acuerdo con Holdridge: "Una zona de vida es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, que se hacen teniendo en

cuenta las condiciones edáficas, las etapas de sucesión y que tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo".

El sistema de zonas de vida de Holdridge permite la clasificación de dichas áreas en 30 clases, 12 de las cuales se encuentran en Panamá:

Figura 7. Nomograma de Zonas de Vida según Holdridge.

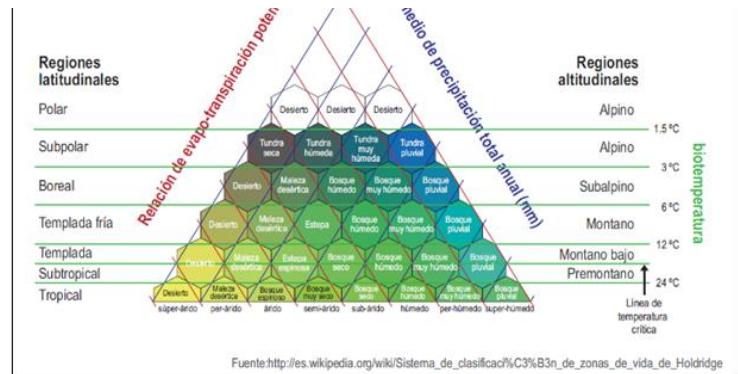


Tabla 4. Clasificación de las Zonas de Vida presentes en la República de Panamá.

Zona de vida	Siglas ^a	Superficie (km ²)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Bosque húmedo montano bajo	bh-MB	30.71 (0.04%)	> 12	< 2,000
Bosque húmedo premontano	bh-PM	2,299.6 (3.07%)	> 24	1,450 - 2,000
Bosque húmedo tropical	bh-T	29,899.9 (40%)	24 - 26	1,850 - 3,400
Bosque muy húmedo montano	bmh-M	5.62 (0.007%)	6 - 12	2,000
Bosque muy húmedo montano bajo	bmh-MB	183.71 (0.25%)	12 - 18	2,000 - 4,000
Bosque muy húmedo premontano	bmh-PM	13,153.5 (17.55%)	17.5	2,000 - 4,000
Bosque muy húmedo tropical	bmh-T	16,609.6 (22.17%)	25.5 - 26	3,800 - 4,000
Bosque pluvial montano	bp-M	211.12 (0.28%)	6 - 12	> 2,000
Bosque pluvial montano bajo	bp-MB	1,619.54 (2.16%)	10.8 - 13.5	> 4,000
Bosque pluvial premontano	bp-PM	7,441.98 (9.93%)	18 - 24	4,000 - 5,500
Bosque seco premontano	bs-PM	612.51 (0.82%)	18 - 24	< 1,100
Bosque seco tropical	bs-T	2,847.74 (3.8%)	18 - 24	1,100 - 1,650

Fuente: *Atlas Ambiental de la República de Panamá (2010)*

La subcuenca del río Tapia se encuentra dentro de las siguientes zonas de vida:

- **Bosque Húmedo Tropical:**

Esta zona de vida ocupa una extensión total en el país de 24530 kilómetros cuadrados, correspondiente al 32% de la misma. Dentro de la subcuenca del río Tapia es la zona de vida es la de mayor predominancia.

Se encuentra presente tanto en la vertiente Atlántica como Pacífica del país, específicamente en las provincias de Panamá, Colón, Coclé, Darién, Chiriquí, Veraguas, Bocas del Toro y Los Santos. Es reemplazado por asociaciones del Premontano Húmedo en las tierras bajas con altitudes encontradas entre los 300 a 400 metros, o dependiendo de la rapidez con que aumente la precipitación con relación al descenso de la bio-temperatura debido a la elevación en la planicie interior y áreas montañosas por el Bosque Muy Húmedo tropical.

Se caracteriza porque en pendientes bajas y moderadas los cultivos permanentes se pueden alternar con pequeños campos cultivados a mano para la subsistencia local o para la venta (arroz, maíz). El pastoreo extensivo no es recomendado; mientras que en las pendientes fuertes que deberían estar reservadas para uso forestal o utilizarse para cultivos arbóreos permanentes (frutales u otras especies forestales), están siendo utilizadas para otros fines como la ganadería extensiva y la agricultura migratoria. La mayor parte de esta zona de vida al norte de la división continental se caracteriza por planicies de pendientes leves, ideales para el crecimiento de muchas especies forestales tropicales de valor comercial mundial, son tierras bien drenadas o que pueden drenarse transformándose en óptimas para la agricultura actual o futura para que queden disponibles para el uso forestal.

Sus temperaturas oscilan entre los 24 y 26 °C y su nivel de precipitación anual va de los 1850 a 3400 mm.

- **Bosque Muy Húmedo Premontano:**

Esta zona le sigue en extensión al Bosque Húmedo Tropical, totalizando 15200 kilómetros cuadrados, lo cual representa un 18% de la superficie del territorio nacional. Presenta áreas grandes y continuas tanto en el norte como en el sur de la división continental, encontrándose la mayor parte de esta en el lado Pacífico. La línea de elevación superior de esta formación se da entre los 1300 a 1600 metros sobre el nivel del mar, con una bio – temperatura media anual de unos 17.5º C y una precipitación promedio entre los 2000 a 4000 mm.

Los bosques de tierras elevadas que ocupan principalmente suelos erosionables de baja fertilidad son altos como los encontrados en el Bosque Húmedo Tropical, con una densidad mayor, tronco más delgado y la copa de los dominantes son menos anchas y desparramadas, más redondeadas y compactas. Los rodales contienen generalmente más especies perennifolias en todos los niveles y la estratificación es menos pronunciada.

Estos bosques en su condición de madurez son la base para el inicio de la ordenación del uso sostenible, sin embargo, es necesario la implementación y aplicación de investigaciones científicas para definir el grado y métodos para su aprovechamiento y posterior manejo.

Tabla 5. Distribución de las Zonas de Vida presentes en el proyecto.

Zona de Vida - Holdridge	Siglas	Área (has)	%
Bosque Húmedo Tropical	bh-T	149.6	9.9
Bosque muy Húmedo Premontano	bmh-PM	1350.99	90
TOTAL		1500.59	100

10. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

En Panamá y en la mayoría de los países tropicales, la precipitación atmosférica consiste casi en su totalidad de lluvia, que es el resultado final del movimiento ascendente del aire, enfriado por expansión más allá del nivel de condensación del vapor de agua.



En la cuenca hidrográfica 144 del río Juan Díaz y entre el Río Juan Díaz y Pacora se identifican dos temporadas bien definidas: la temporada seca que va de mediados de diciembre a mediados de mayo y la lluviosa que va desde mediados de mayo a mediados de diciembre.

La subcuenca del río Tapia registra una precipitación media anual entre 2000 y 3000 mm. Los meses de mayor precipitación son octubre y noviembre y los de menor precipitación febrero y marzo. La escorrentía media anual está entre 800 y 1600 mm.

La temporada lluviosa se caracteriza por lluvias abundantes, de intensidad entre moderada a fuerte, acompañadas de actividad eléctrica que ocurre especialmente en horas de la tarde y que son por lo general de origen convectivo. Dentro de esta temporada se presenta frecuentemente un período seco conocido como Canícula o Veranillo de San Juan, entre julio y agosto. El período entre diciembre y abril corresponde a la temporada seca.

Las máximas precipitaciones en esta región están asociadas generalmente a sistemas atmosféricos bien organizados, como las ondas y ciclones tropicales, y la distribución estacional está asociada a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

En la Figura 8, se presenta el Mapa de Isoyetas de la subcuenca del río Tapia.

Hablando en términos del régimen térmico, Panamá se caracteriza por la ausencia de una estación fría, lo que hace que las condiciones térmicas sean bastante uniformes, de ahí que el factor determinante para denotar los cambios de temperatura es la altitud. Las temperaturas determinadas para esta subcuenca oscilan entre los 25 y 26°C.

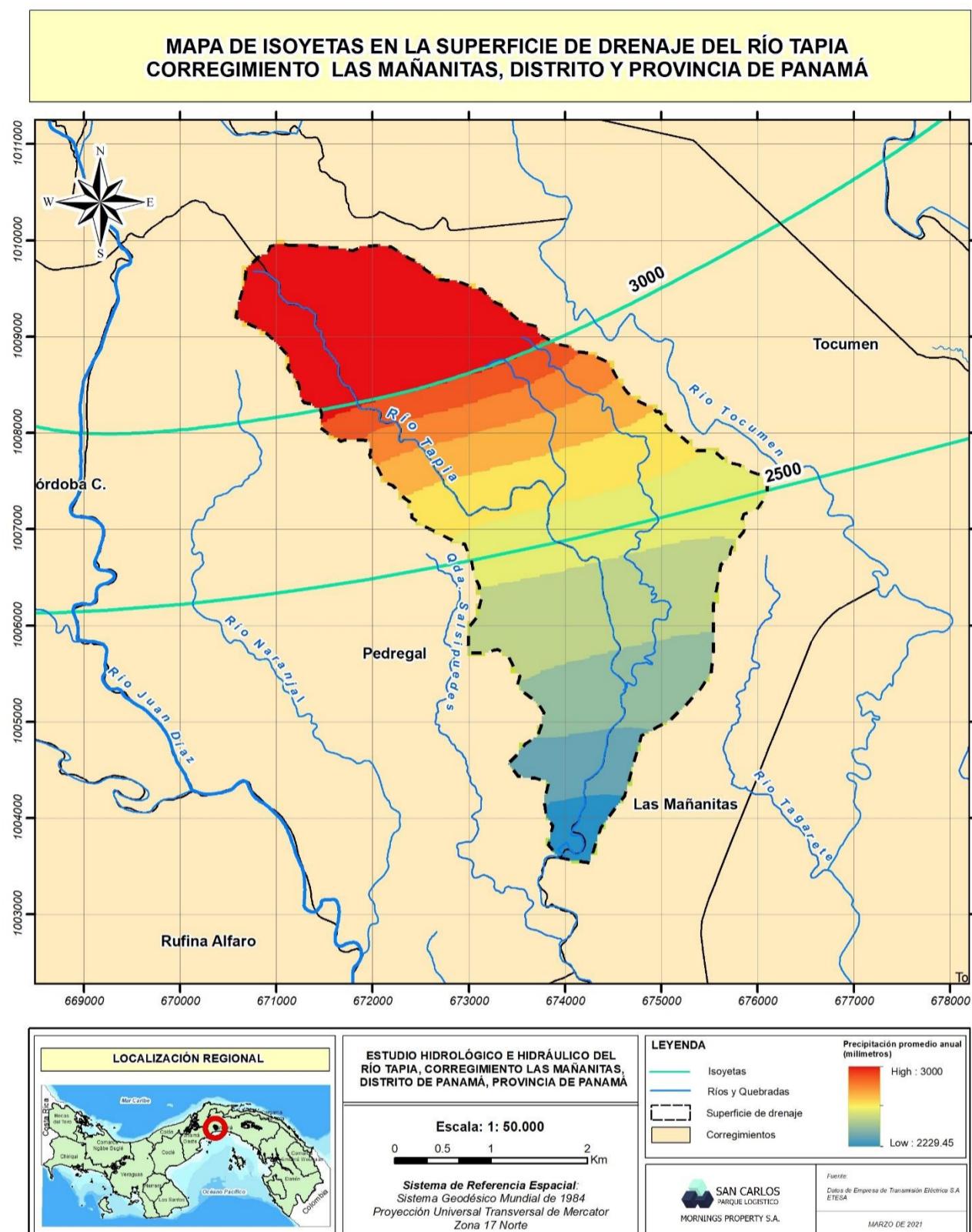


Figura 8. Mapa de Isoyetas de la subcuenca del río Tapia.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

11. INFORMACIÓN BÁSICA

La información básica para el desarrollo del estudio hidrológico se obtuvo de tres fuentes principales:

- Información cartográfica existente
- Información hidrológica y meteorológica
- Levantamiento topográfico

11.1. Información cartográfica existente:

La información cartográfica se obtuvo de los mosaicos topográficos a escala 1:5000 y 1:25000 generados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia de la República de Panamá, con proyección UTM (Universal Transversal de Mercator), curvas de nivel a intervalos de 2.5 y 10 m respectivamente y curvas suplementarias de 5 m, ambos mosaicos tienen una proyección elíptica WGS84 y generadas con imágenes de radar aerotransportado del área, tomadas en el año 2012.

La finalidad fue trazar y definir la superficie de drenaje, longitud del cauce y otras características morfométricas de la cuenca. Las hojas cartográficas que contienen a la subcuenca del Río Tapia se encuentran en las hojas de Tocumen con nomenclatura 4343 III NW y Pedregal 4343 III SW de la República de Panamá.

Para el análisis de las planicies de inundación se utilizó una imagen satelital, por medio de un mapa base que se obtiene del programa ArcGIS. Este mapa incluye los satélites US Landsat 7 y SPOT. US Landsat 7 es un satélite de sensores remotos por el cual proporciona una cobertura casi perfecta de la mayoría de las áreas terrestres del mundo (excluida la Antártida) con una resolución espacial de 15 metros. Los Landsat son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por Estados Unidos para la observación en

alta resolución de la superficie terrestre. El programa SPOT ha sido desarrollado por el CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales francés) en colaboración con Bélgica y Suecia. Está formado por una serie de satélites e infraestructuras terrestres para controlar y programar los satélites, así como para producir imágenes. Una de las grandes ventajas del sistema SPOT es su capacidad de desalineación de su instrumento de obtención de imágenes principal a ambos lados de la traza en tierra del satélite, de +31,06° a -31,06°. Éste proporciona una flexibilidad de adquisición muy elevada, en concreto reduciendo la repetitividad de adquisición (frecuencia temporal o frecuencia de revisita) hasta 6 días. Existen un total de 49 estaciones distribuidas entre los 5 continentes.

11.2. Información meteorológica e hidrológica

La cuenca del Río Tapia no cuenta dentro de su área, con estaciones hidrométricas o de medición de caudales, pero si cuenta con información de estaciones cercanas al Proyecto ubicadas en el río Juan Díaz y el río Pacora.

Con respecto a las estaciones meteorológicas, se cuenta con una estación tipo A ubicada en el Aeropuerto de Tocumen. La distribución espacial de las estaciones meteorológicas que se encuentran cercanas y cuyo comportamiento tienen influencia dentro de la superficie de drenaje de las quebradas objeto de este estudio hidrológico e hidráulico se presenta en la Tabla 7 (Ver Figura 10. *Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas e hidrológicas de la cuenca 144*).

A continuación, se muestran las tablas con las estaciones hidrométricas y meteorológicas que inciden en el área de estudio del proyecto.

Tabla 6. Estaciones Hidrométricas de la Cuenca 144 del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora.

NÚMERO	RÍO	LUGAR	TIPO	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	FECHA INICIO
144-02-01	JUAN DIAZ	JUAN DIAZ	At	8	9° 03' 00"	79° 26' 00"	1/04/1957
144-03-01	CABRA	RANCHO CAFE	At	160	9° 08' 01"	79° 22' 57"	7/01/2005

Tabla 7. Estaciones Meteorológicas de la Cuenca 144 del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora.

NÚMERO	NOMBRE	TIPO DE ESTACIÓN	ELEVACIÓN (m)	LATITUD	LONGITUD	FECHA INICIO
144-005	RANCHO CAFE	AA	160	9° 08' 01"	79° 22' 57"	31/12/2006
144-006	SE PANAMA 2	AA	45	9° 05' 40"	79° 27' 38"	1/07/2013
144-007	JUAN DIAZ LOS PUEBLOS	CC	12	9° 02' 55"	79° 26' 54"	13/04/2014
144-011	TOCUMEN 2	AA	38	9° 04' 56"	79° 24' 21"	17/12/2013

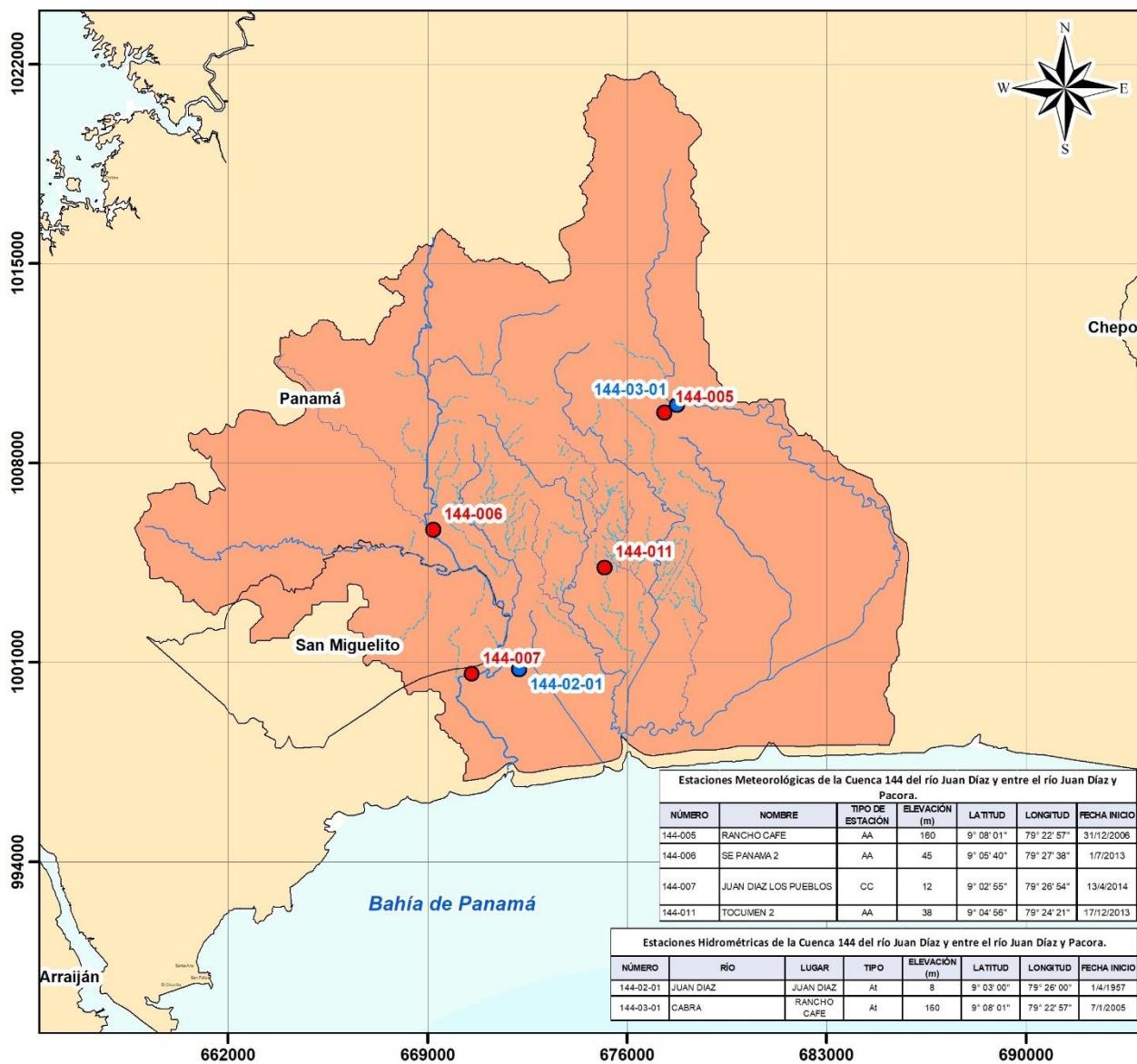
**MAPA DE LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA 144
DEL RÍO JUAN DÍAZ Y ENTRE EL RÍO JUAN DÍAZ Y PACORA.**


Figura 9. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas e hidrológicas de las cuencas vecinas.

Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

11.3. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico del Río Tapia, fue realizado entre la semana del jueves 13 y el jueves 20 de agosto de 2020. Se levantaron 50 secciones transversales del Río Tapia (ver Tabla 8).

Tabla 8. Secciones transversales del Río Tapia.

Sección	Nomenclatura HEC-RAS	Sección	Nomenclatura HEC-RAS	Sección	Nomenclatura HEC-RAS
50	0k+980	29	0k+560	8	0k+140
49	0k+960	28	0k+540	7	0k+120
48	0k+940	27	0k+520	6	0k+100
47	0k+920	26	0k+500	5	0k+080
46	0k+900	25	0k+480	4	0k+060
45	0k+880	24	0k+460	3	0k+040
44	0k+860	23	0k+440	2	0k+020
43	0k+840	22	0k+420	1	0k+000
42	0k+820	21	0k+400		
41	0k+800	20	0k+380		
40	0k+780	19	0k+360		
39	0k+760	18	0k+340		
38	0k+740	17	0k+320		
37	0k+720	16	0k+300		
36	0k+700	15	0k+280		
35	0k+680	14	0k+260		
34	0k+660	13	0k+240		
33	0k+640	12	0k+220		
32	0k+620	11	0k+200		
31	0k+600	10	0k+180		
30	0k+580	9	0k+160		

12. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO TAPIA UTILIZANDO MODELO HEC-HMS

La subcuenca del Río Tapia tiene una superficie de drenaje de 1501 hectáreas (15 km²) y el hidrograma de crecida máxima se determinó mediante modelación hidrológica usando el modelo HEC-HMS.

Según recomendaciones del Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, para superficies mayores a 250 hectáreas, se debe usar modelación hidrológica. Para la modelación hidrológica se utilizó el modelo HEC-HMS.

12.1. Descripción del modelo HEC-HMS

El modelo HEC-HMS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en los años 60 y es un modelo de precipitación escorrentía cuyo precursor se conoce con el nombre de HEC-1. El HEC-HMS, es uno de los programas de simulación de eventos de mayor difusión y que se puede utilizar de manera gratuita. Se utilizó la versión 4.7 para el análisis del caudal de diseño.

12.2. Requerimientos del modelo HEC-HMS

Debido a que se necesita validar el caudal de diseño según la norma, para 50 años de periodo de retorno y se considera un evento, los requerimientos del modelo dependen de la información hidrometeorológica disponible y del método seleccionado para determinarlos. Para nuestro caso, se requiere como insumo principal de entrada al modelo para simular el evento, un hietograma de precipitación.

Los requerimientos por éste método se refieren a características físicas como superficie de drenaje, tiempo de concentración de la subcuenca del Río Tapia, longitud y pendiente del cauce, pendiente de las laderas y estimación del número

de curvas los cuales fueron obtenidos usando el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Toda esta información se determina por medio de imágenes de satélite, mosaicos topográficos, fotografías aéreas y principalmente la inspección de campo.

12.3. Metodología

El modelo HEC-HMS, está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de una lluvia, mediante la representación de una cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente puede simular de manera individual un aspecto del proceso lluvia escorrentía dentro de un área o subcuenca; los componentes incluyen la escorrentía superficial de la subárea, los canales y los embalses; cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrogramas de salida o escorrentía superficial directa para cada subárea previamente especificada. En la Figura 10 se presenta el esquema del HEC-HMS de la subcuenca del río Tapia.

El componente de escorrentía superficial para una subárea se utiliza para presentar el movimiento del agua sobre la superficie del terreno para los cauces de los ríos y quebradas. La entrada de este componente es un hietograma de precipitación, el cual fue diseñado por el método de los bloques alternos. El exceso de lluvia se calcula restando la infiltración y las pérdidas por detención, y en nuestro caso se seleccionó el método del número de curva del Soil Conservation Services (SCS) y alternativamente se utilizó el modelo de onda cinemática para calcular los hidrogramas de escorrentía en la subcuenca.

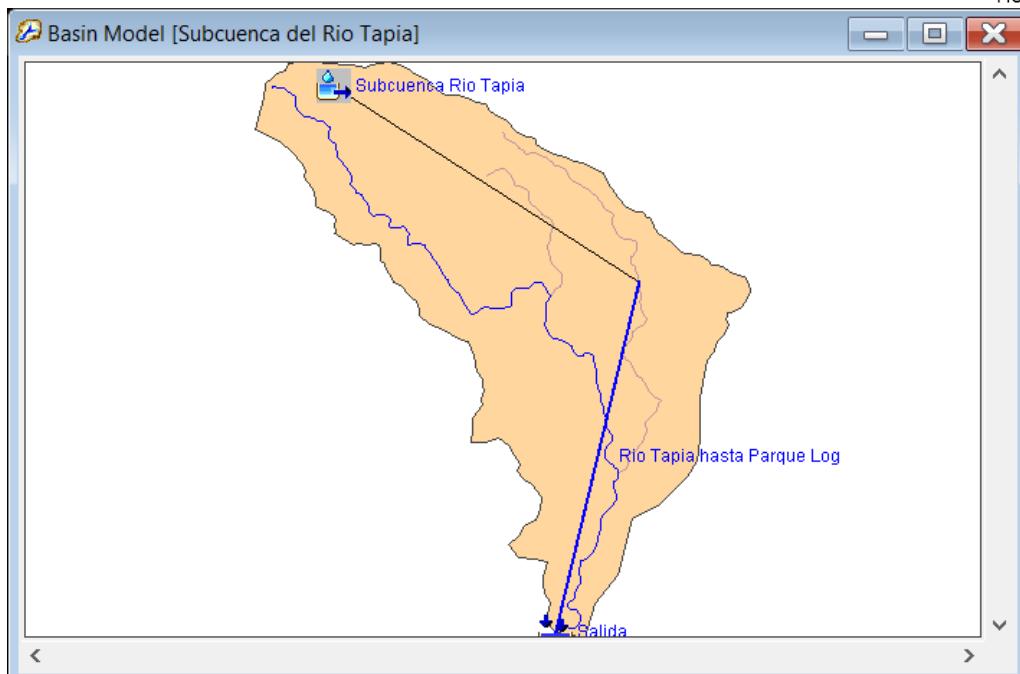


Figura 10. Esquema del modelo HEC-HMS, de la subcuenca del río Tapia.

El componente de tránsito de avenidas representa el movimiento de las ondas de crecidas en los canales. La entrada de este componente es el hidrograma obtenido aguas arriba que resultó de las combinaciones individuales o combinadas de la escorrentía de las subáreas, el tránsito de caudales o las derivaciones. Para el tránsito de avenida del río Tapia, se utilizó el método de onda cinemática.

12.4. Régimen de lluvia:

El régimen de precipitación de la subcuenca del río Tapia, está influenciado por el régimen lluvioso de la vertiente del Pacífico, el cual se caracteriza por presentar dos temporadas de lluvia bien definidas. La seca que por lo general va de mediados de diciembre a marzo y la lluviosa de abril a mediados de diciembre.

Dentro del periodo lluvioso se presenta una disminución de la lluvia entre el mes de julio y agosto, el cual es causado por el movimiento anual de la Zona de

Convergencia Tropical, cuando se encuentra más alejada del istmo, fenómeno conocido con el nombre de Veranillo de San Juan o Canícula. La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), es la zona de confluencia de los vientos alisios de ambos hemisferios, Norte y Sur. Es una zona de vientos leves y variables, aire inestable y fuertes desarrollos convectivos, con lluvias intensas. Cuando la Zona de Convergencia Intertropical se desplaza de Norte a Sur, se produce otra vez el incremento de la lluvia, siendo el mes de octubre el más lluvioso.

La distribución estacional de las lluvias de la subcuenca del río Tapia, lo controla la ZCIT, sin embargo, los totales que ocurren en cualquier punto del país dependen de factores como la elevación, el relieve, la distancia a la cordillera, la exposición a los vientos predominantes. En la Figura 11 se presenta la distribución de lluvia para la estación Tocumen.

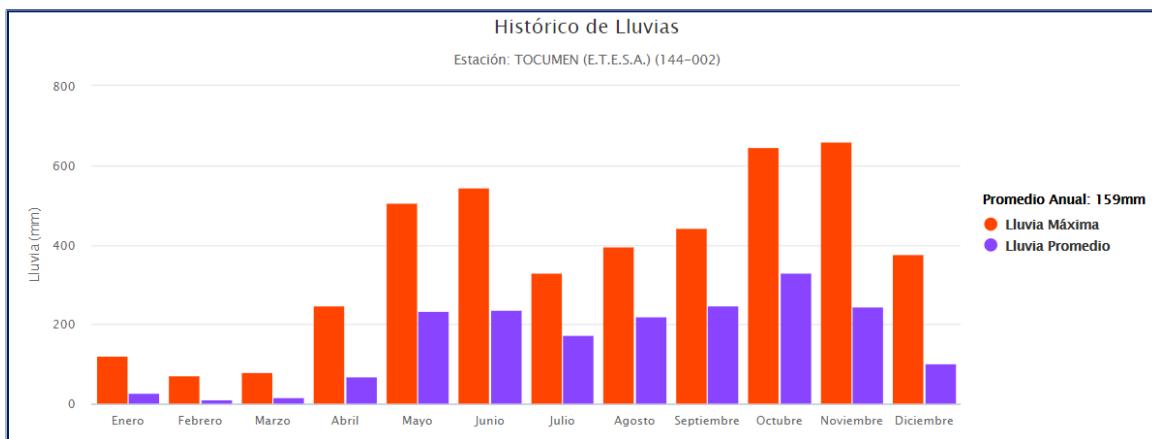


Figura 11. Distribución de lluvia mensual para la estación Tocumen.

El paso siguiente fue diseñar la lluvia para un periodo de retorno de 50 años.

12.5. Método del bloque alterno

El método del bloque alterno es utilizado para desarrollar el hietograma de diseño si no se conoce la lluvia del evento. Conocido el tiempo de concentración y las

curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la estación más cercana al proyecto en estudio se puede diseñar la lluvia. El hietograma de diseño generado por este método determina la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempos sucesivos de duración Δt sobre una duración de $T_d = n\Delta t$. Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño y el intervalo de tiempo Δt , la intensidad es leída de la curva IDF o en su defecto se aplica la ecuación generada para la curva, para cada una de las duraciones para cada Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Determinando la diferencia entre los valores sucesivos de profundidad de la lluvia, se encuentra la cantidad total de precipitación que debe añadirse por cada unidad de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de manera que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central de manera de conformar el hietograma de diseño del proyecto.

En la tabla 9 se presenta los datos obtenidos por medio del método de los bloques alternos para el hietograma de la tormenta de diseño usado para estimar la crecida de diseño con un periodo de retorno de 1 en 50 años. En la Figura 12 se presenta la gráfica del hietograma de diseño de la misma tormenta.

Para determinar la lluvia de diseño, se utilizaron los datos de las curvas IDF de la estación de lluvia más cercana, que es Tocumen.

A menor intervalo de tiempo las intensidades de lluvia son mayores y van disminuyendo con respecto al tiempo.

En la tabla 10, se presentan los valores de las curvas IDF y en la Figura 13 se presenta la Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la estación meteorológica Tocumen.

Tabla 9. Hietograma de lluvia de diseño desarrollado en incrementos de 10 minutos para una tormenta de 50 años y duración de 120 minutos para la subcuenca del Río Tapia usando el método de bloques alternos.

Tc (min)	T (hr)	Intensidad.	Lluvia Ac.	Lluvia	Hietograma
		(mm/h)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0.17	198.76	33.13	33.13	0.51
20	0.33	158.28	52.76	19.63	2.57
30	0.50	134.60	67.30	14.54	5.18
40	0.67	117.80	78.53	11.23	8.77
50	0.83	104.77	87.31	8.77	14.54
60	1.00	94.12	94.12	6.81	33.13
70	1.17	85.12	99.30	5.18	19.63
80	1.33	77.32	103.09	3.79	11.23
90	1.50	70.44	105.66	2.57	6.81
100	1.67	64.29	107.15	1.49	3.79
110	1.83	58.72	107.66	0.51	1.49
120	2.00	53.64	107.28	0	0.00

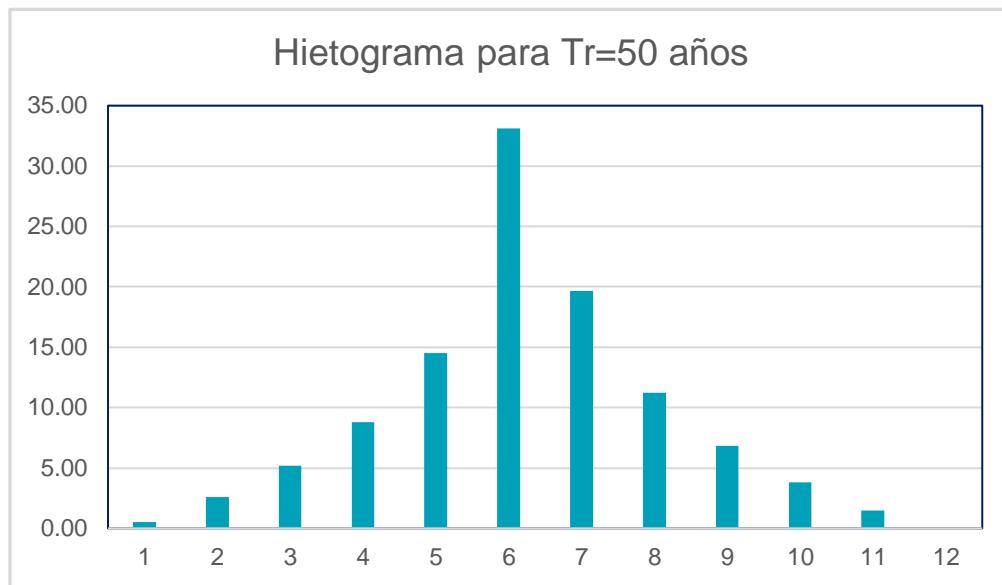


Figura 12. Hietograma de la tormenta para un periodo de retorno de 50 años.

Tabla 10. Resumen de intensidades en mm para determinar la curva IDF para la estación de lluvia de Tocumen, periodo 1975-1996 (22 años). Información revisada, comparada y validada por consultor en agosto de 2020.

tc (min)	Periodos de retorno en años					
	2	5	10	15	50	100
5	187.5	228.0	239.0	245.6	247.8	248.9
10	128.6	155.0	173.3	189.0	194.5	197.3
15	110.9	121.3	124.7	153.0	164.0	169.5
30	79.6	94.6	99.6	128.0	139.0	144.5
60	55.0	67.8	74.4	89.0	94.5	97.3
120	32.2	37.7	44.0	51.2	55.6	57.8

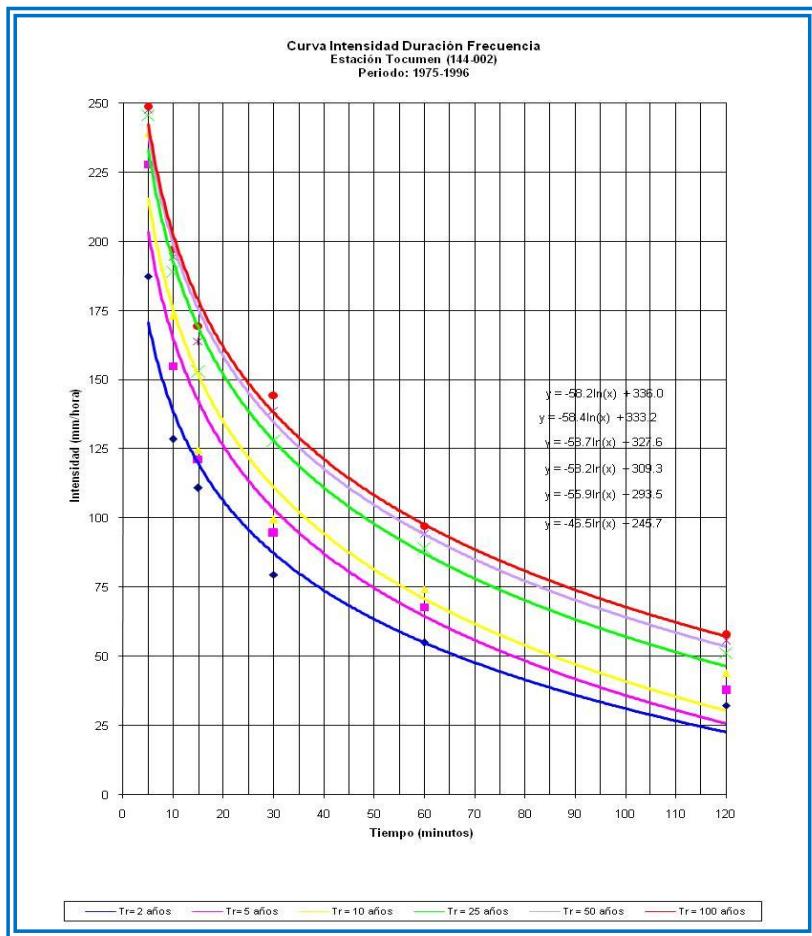


Figura 13. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la estación meteorológica Tocumen. Fuente: Departamento de Hidrometeorología de ETESA. Esta información fue validada, comparada y revisada por Consultor en agosto de 2020.

12.6. Caudal de diseño:

Conocido el caudal máximo instantáneo para un periodo de retorno de 1 en 50 años, el siguiente paso fue el diseño del hidrograma de crecida. Para el diseño se utilizó el programa hidrológico HEC-HMS² desarrollado por el cuerpo de

² HEC-HMS, Sistema de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica por sus siglas en inglés

ingenieros del Centro de Ingeniería Hidrológica de los Estados Unidos y que es de licencia gratuita.

El objetivo de aplicar el modelo HEC-HMS es establecer el hidrograma de entrada para el tránsito de la crecida con un periodo de retorno de 50 años.

Los parámetros del modelo fueron obtenidos de las imágenes de satélite, aplicando técnicas de Sistema de Información Geográfica.

12.7. Corrida del modelo HEC-HMS:

Obtenidos todos los parámetros físicos y el hietograma de lluvia requeridos por el modelo HEC-HMS, se procedió a ensamblar el modelo.

La subcuenca del río Tapia se representó por medio del río Tapia, las quebradas Rincón Bellaco y La Colorada. Se definió un solo tramo de flujo de agua para realizar los tránsitos de las crecidas. El trazado y medición de la subcuenca del proyecto, se obtuvo mediante medición SIG digital de los mosaicos 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. De los mosaicos, también se obtuvieron las características físicas de la cuenca como la superficie de drenaje, longitud de los cauces, pendiente media de los cauces y de las laderas perpendiculares al cauce del río

Con estos parámetros se procedió a determinar el tiempo de concentración para la subcuenca, adoptando el método de Kirpich. El tiempo de concentración se define como, el tiempo que demora una gota de agua para fluir del punto más remoto de la cuenca, hasta la salida. Para este estudio se evaluaron las siguientes ecuaciones empíricas para determinar el tiempo de concentración:

Kirpich (1940): Desarrollada a partir de información del SCS en 7 cuencas rurales en Tennessee con caudales bien definidos y pendientes empinadas (3%-10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por

0.40; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.20; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo de cunetas.

$$Tc = 0.0078 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

Tc= Tiempo de Concentración (minutos)

L= Longitud del Canal desde aguas arriba hasta la salida (pies)

S= Pendiente promedio de la Cuenca (pies/pie)

Datos:

Cota Alta: 420.00 msnm

Cota Baja: 14.10 msnm

L= 32515.39 pies

S= 4.09%

$$Tc = (0.0078) * (32515.39)^{0.77} * (0.0409)^{-0.385}$$

$$Tc = 79.56 \approx 79.6 \text{ min}$$

California Culverts Practice (1942): Esencialmente es la ecuación de Kirpich desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (US Bureau of Reclamation 1973).

$$Tc = 60 * [11.9 * L^3 / H]^{0.385}$$

Tc = Tiempo de concentración (minutos)

L= Longitud del curso de agua más largo (millas)

H= Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (pies)

Datos

L= 6.15 mi

H= 405.90 pies

$$Tc = 60 * [11.9 * 6.15^3 / 405.90]^{0.385}$$

$$Tc = 79.65 \text{ min} \approx 79.6 \text{ min}$$

$$Tc_{\text{prom}} = 79.6 \text{ min}$$

Tcprom≈ 80.0 min

El modelo se ensambló de la siguiente manera:

- Se declaró la cuenca y se alimentó el modelo con los parámetros requeridos. En la Figura 10 se presenta la subcuenca y el tramo para la subcuenca del río Tapia.
- Se asumió que la lluvia de diseño es homogénea en toda la cuenca.
- Se introdujo el hietograma para la tormenta de diseño de 50 años de periodo de retorno.
- Se seleccionó el método del SCS para calcular las pérdidas por infiltración y el método de onda cinemática para determinar los hidrogramas de crecidas. Se asumió el número de curvas CN en un 60%, al analizar por imágenes de satélite e inspección de campo la cobertura y uso de suelo.
- Para el tránsito de avenidas se seleccionó también el método de onda cinemática.
- Se realizaron las corridas para el periodo de retorno seleccionado.

Obtenidos los resultados de las corridas con el HEC-HMS, se comparó con los caudales máximos del Análisis de Frecuencia de Caudales Máximos (ETESA).

12.8. Resultados de las corridas de la modelación de la subcuenca del río tapia con el modelo HEC-HMS:

El hidrograma de diseño se presenta en la Figura 14 y en la tabla 11, la serie de caudales usados para alimentar el modelo HEC-Ras.

El caudal máximo instantáneo hasta el sitio de interés de la subcuenca del Río Tapia, para el periodo de retorno de 50 años se estimó en 213.8 m³/s. En la Figura 15 se presenta la salida de la modelación hidrológica del río Tapia

periodo de retorno de 50 años respectivamente. En la Figura 16 se presenta el resumen del modelo HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años.

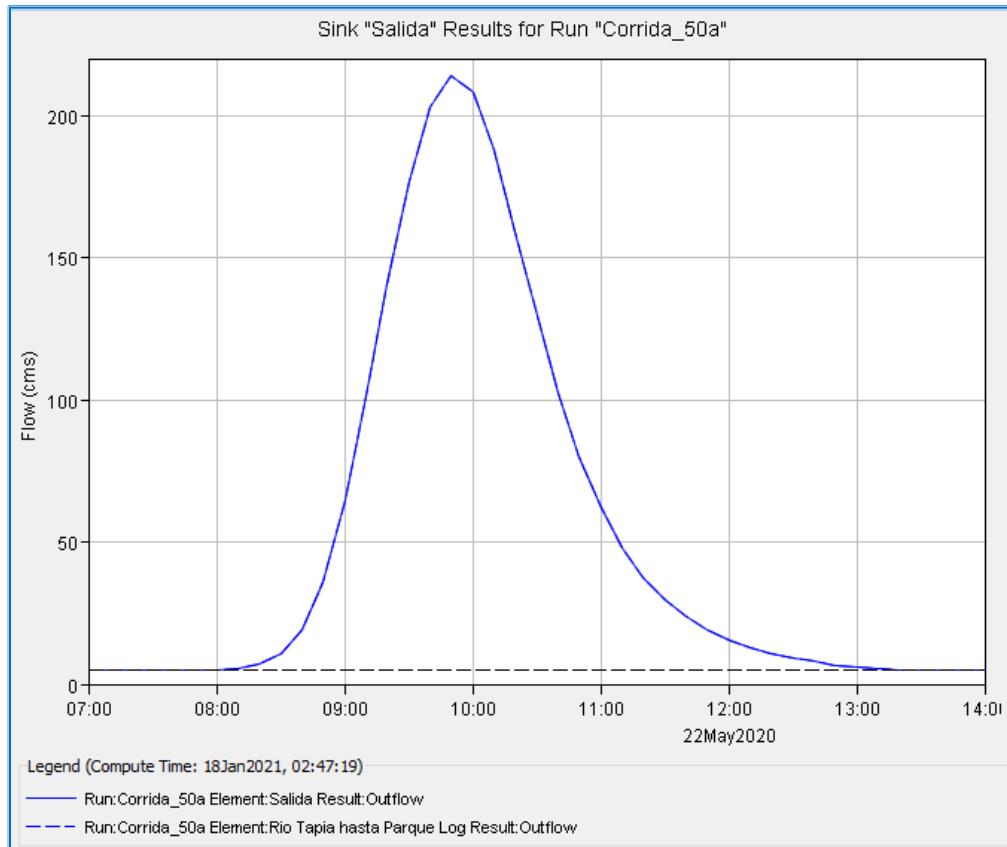


Figura 14. Hidrograma resultante del modelo HEC-HMS para el periodo de retorno de 50 años.

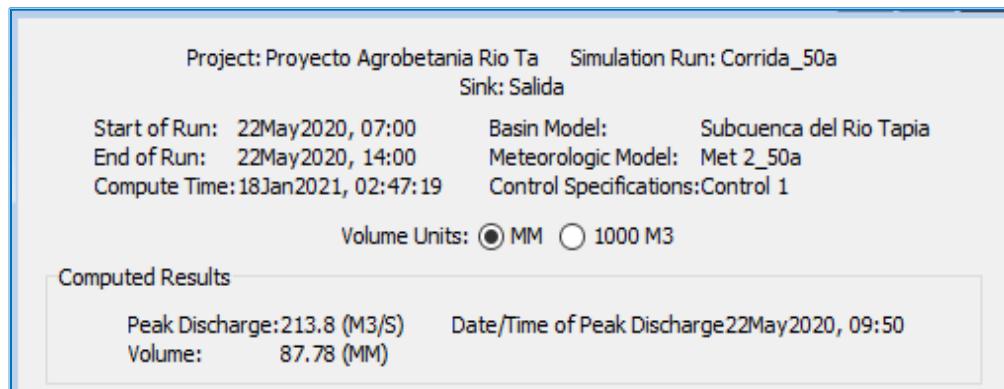


Figura 15. Salida del Hidrograma de Diseño para un periodo de 50 años del río Tapia.

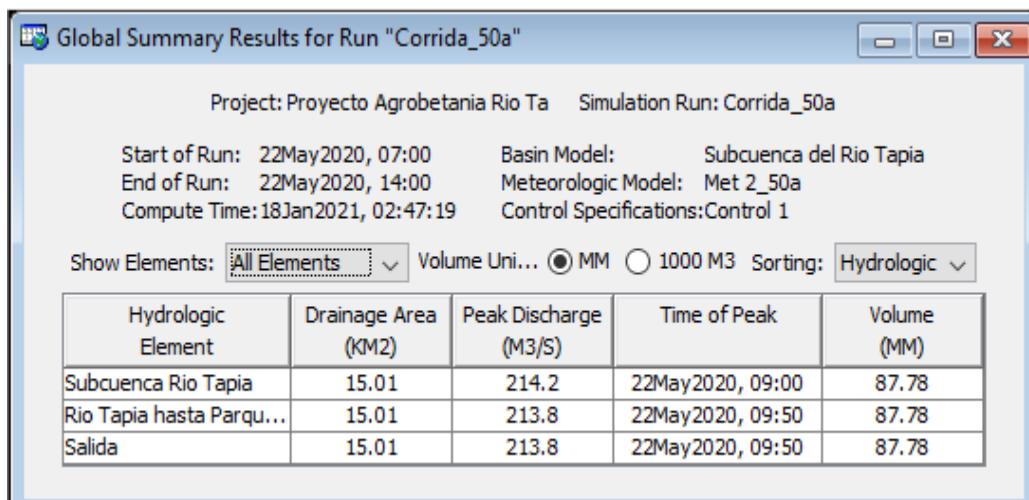


Figura 16. Cuadro Resumen del modelo HEC-HMS para el periodo de retorno de 50 años.

Tabla 11. Serie de caudales del Hidrograma de HEC-HMS del río Tapia para un periodo de retorno de 50 años.

Hidrograma Tr= 50 a , cada 10 minutos					
1	07:00	5.0	31	12:00	15.6
2	07:10	5.0	32	12:10	13.0
3	07:20	5.0	33	12:20	11.0
4	07:30	5.0	34	12:30	9.4
5	07:40	5.0	35	12:40	8.0
6	07:50	5.0	36	12:50	6.6
7	08:00	5.1	37	13:00	5.8
8	08:10	5.6	38	13:10	5.4
9	08:20	7.2	39	13:20	5.2
10	08:30	10.9	40	13:30	5.0
11	08:40	19.0	41	13:40	5.0
12	08:50	36.1	42	13:50	5.0
13	09:00	64.5	43	14:00	5.0
14	09:10	101.1			
15	09:20	140.8			
16	09:30	177.0			
17	09:40	202.8			
18	09:50	213.8			
19	10:00	208.2			
20	10:10	187.8			
21	10:20	159.2			
22	10:30	129.6			
23	10:40	102.7			
24	10:50	79.9			
25	11:00	61.9			
26	11:10	48.0			
27	11:20	37.5			
28	11:30	29.6			
29	11:40	23.6			
30	11:50	19.1			

13. MODELACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO INSTÁNTANEO USANDO LA METODOLOGÍA DE LAVALIN (ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE PANAMÁ DE ETESA) :

El modelo del caudal máximo instantáneo es el siguiente:

$$Q = K * A^n \quad (\text{ecuación N}^{\circ} 1)$$

Donde:

Q = Caudal máximo en m^3/s

K = Constante dependiendo de la zona del país

n = Exponente dependiendo de la zona del país

13.1 APLICACIÓN DEL MÉTODO ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS

Para determinar la crecida máxima que se pueda presentar en un sitio determinado para distintos períodos de recurrencia mediante este método, se procede de la siguiente manera:

- Se delimita y se mide el área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km^2 .
- Se determina a qué zona pertenece el sitio de interés de acuerdo con el mapa de la Figura 73 del Resumen Técnico.
- Se calcula el caudal promedio máximo utilizando una de las 5 ecuaciones
- Se calcula el caudal máximo instantáneo para distintos períodos de recurrencia, multiplicando el caudal promedio máximo que se obtuvo en el punto anterior, por los factores que se presentan en el Cuadro 6 del Resumen Técnico, utilizando la Tabla correspondiente a la zona del sitio de interés.

Como el proyecto se localiza en la cuenca 144 (Cuenca del río Juan Díaz y entre el río Juan Díaz y Pacora), entonces ubicamos la zona 3 en el Mapa de Regiones Hidrológicamente Homogéneas (ver Figura 17).

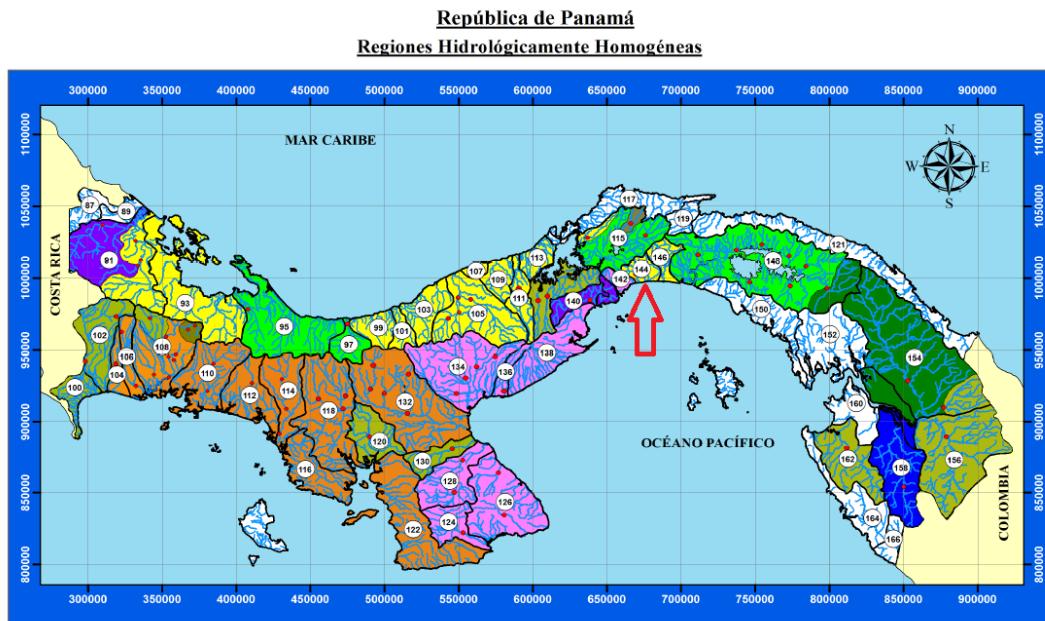


Figura 17 El proyecto se encuentra adentro de la zona 3. Fuente: ETESA

Una vez tenemos la zona, buscamos en el Cuadro 7 de la pág. 93 del Resumen Técnico y encontramos que la zona 3 corresponde a la ecuación 2, $Q_{max}=25 \cdot A^{0.59}$ (ver Cuadro 1) y se usará el factor de tabla #1 (2.37) correspondiente al Cuadro 6 (ver Cuadro 2).

Cuadro 7

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia
1	1	$Q_{máx} = 34A^{0.59}$	Tabla # 1
2	1	$Q_{máx} = 34A^{0.59}$	Tabla # 3
3	2	$Q_{máx} = 25A^{0.59}$	Tabla # 1
4	2	$Q_{máx} = 25A^{0.59}$	Tabla # 4
5	3	$Q_{máx} = 14A^{0.59}$	Tabla # 1
6	3	$Q_{máx} = 14A^{0.59}$	Tabla # 2
7	4	$Q_{máx} = 9A^{0.59}$	Tabla # 3
8	5	$Q_{máx} = 4.5A^{0.59}$	Tabla # 3
9	2	$Q_{máx} = 25A^{0.59}$	Tabla # 3

Tabla 12 Cuadro 7 del Resumen Técnico donde se identificó la ecuación dos (2) y la tabla #1 correspondiente a la zona 3. Fuente: ETESA

$$Q_{máx}=25*(15.01 \text{ km}^2)^{0.59}$$

$$Q_{máx}=123.60 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cuadro 6: Factores para diferentes períodos de retorno en años

Tr, años	Factores $Q_{máx}/Q_{prom.máx}$ para distintos Tr.			
	Tabla # 1	Tabla # 2	Tabla # 3	Tabla # 4
1.005	0.28	0.29	0.3	0.34
1.05	0.43	0.44	0.45	0.49
1.25	0.62	0.63	0.64	0.67
2	0.92	0.93	0.92	0.93
5	1.36	1.35	1.32	1.30
10	1.66	1.64	1.6	1.55
20	1.96	1.94	1.88	1.78
50	2.37	2.32	2.24	2.10
100	2.68	2.64	2.53	2.33
1,000	3.81	3.71	3.53	3.14
10,000	5.05	5.48	4.6	4.00

Tabla 13 Cuadro 6 del Resumen Técnico donde se buscó en la tabla #1, que el factor para un periodo de retorno 1 en 50 años corresponde en 2.37. Fuente: ETESA

Qmáx/Qprom.max=2.37

Qmax=2.37*123.60 m³/s= **292.92 m³/s**

14. MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINAR LAS PLANICIES DE INUNDACIÓN DEL RÍO TAPIA USANDO EL HIDROGRAMA CALCULADO POR EL MODELO HEC-HMS

Para determinar las planicies de inundación a lo largo del área de estudio, para el periodo de retorno de 1 en 50 años, se utilizó el programa de modelación hidráulica HEC-RAS.

Una vez obtenido el caudal máximo instantáneo (por el Modelo HEC-HMS) para el periodo de retorno de 50 años se procedió a introducir los caudales determinados, en el modelo HEC-RAS.

14.1. Descripción del Modelo HEC-RAS

HEC-RAS, fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hidrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros militares de los Estados Unidos (US Army Corps), el cual tiene como su predecesor el HEC-2 y ha sido actualizado desde su aparición a los inicios de los años 60.

La versión actual del programa permite realizar cálculos de perfiles de agua para flujo permanente y no permanente en una dimensión, análisis de transporte de sedimento del lecho y análisis de temperatura del agua.

Se utilizó el HEC-RAS en su versión 4.1 el cual es un programa de dominio público, está ampliamente probado y tiene literatura disponible para consulta.

El modelo tiene disponible entre sus principales características la modelación de los perfiles de agua a lo largo de un cauce o canal, la modelación y cálculo hidráulico de estructuras hidráulicas tales como puentes, alcantarillas; además, de contar con un módulo que permite el diseño hidráulico de canales y el cálculo de corte y relleno.

Para el desarrollo de los mapas de las planicies de inundación, se utilizó el HEC-GeoRAS que es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para procesar datos geoespaciales en ArcGIS mediante una interfaz gráfica de usuario

(GUI). La interfaz permite la preparación de datos geométricos para la importación a HEC-RAS y procesa los resultados de simulación exportados desde HEC-RAS.

Para crear el archivo de importación, el usuario debe tener un modelo de terreno digital (DTM) existente de la red de drenaje en formato ArcInfo TIN. El usuario crea una serie de temas de línea pertinentes al desarrollo de datos geométricos para HEC-RAS. Los temas creados son el eje central del cauce del río, eje central del tránsito del caudal (opcional), orillas del canal principal (opcional) y líneas de corte de sección transversal los que se denominan temas RAS.

14.2. Requerimientos del Modelo:

Luego de seleccionado el modelo para realizar el análisis hidráulico, se procedió a estudiar sus requerimientos mínimos. La información necesaria para la modelación incluyó los mapas topográficos del área, el levantamiento topográfico de las secciones transversales del río Tapia, que se encuentran en el lado derecho del proyecto “Parque Logístico San Carlos”, con su respectivo plano planta perfil en formato dwg.

Los datos de elevación y posición del levantamiento topográfico están referidos al sistema de referencia espacial UTM WGS84 zona 17.

14.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en HEC-RAS:

Luego de alimentado el modelo HEC-Ras con los datos requeridos, se procedió a la modelación del río Tapia. El río Tapia, que pasa lateral al terreno bajo estudio, para el proyecto propuesto, se modeló a flujo permanente.

En la tabla 11, se presentan los datos de salida de la modelación con el HEC-RAS del río Tapia, para los periodos de retorno 50 años.

Los resultados obtenidos de la Modelación Hidráulica del HEC-RAS fueron validado por la inspección realizada el jueves 13 de agosto de 2020 (ver en Anexos A.4.1.).

Tabla 14. Salida de HEC-RAS del río Tapia para un periodo de retorno de 50 años utilizando el caudal calculado por el modelo HEC-HMS.

Sección	Caudal (m ³ /s)	Min Ch El (m)	Elev. Agua(m)	Pendiente (m/m)	Ancho (m)	Tirante (m)
50	214.00	15.46	20.50	0.00053	44.29	5.04
49	213.70	15.28	20.55	0.00035	41.93	5.27
48	213.62	16.18	20.31	0.00124	36.67	4.13
47	213.62	16.52	19.93	0.00311	34.33	3.41
46	213.62	16.34	20.08	0.00181	42.62	3.74
45	213.62	16.41	20.26	0.00132	44.87	3.85
44	213.62	16.42	20.07	0.00172	48.39	3.65
43	213.62	16.15	19.93	0.00223	46.80	3.78
42	213.62	16.21	19.95	0.00212	57.25	3.74
41	213.62	16.45	20.11	0.00110	53.29	3.66
40	213.62	16.05	19.78	0.00368	30.45	3.73
39	213.62	16.43	19.87	0.00263	35.42	3.44
38	213.62	16.43	19.93	0.00201	42.77	3.50
37	213.62	15.47	19.88	0.00158	51.48	4.41
36	213.62	15.69	19.89	0.00207	55.79	4.20
35	213.62	15.54	19.70	0.00302	41.94	4.16
34	213.62	15.86	19.78	0.00174	34.46	3.92
33	213.62	15.80	19.71	0.00331	25.21	3.91
32	213.62	15.91	19.71	0.00141	33.83	3.80
31	213.62	15.67	19.57	0.00184	30.77	3.90
30	213.62	15.66	19.49	0.00336	27.59	3.83
29	213.62	15.38	19.43	0.00208	31.59	4.05
28	213.62	15.46	19.32	0.00228	21.97	3.86
27	213.62	15.10	19.32	0.00217	23.69	4.22
26	213.62	15.50	19.45	0.00174	34.05	3.95
25	213.62	14.98	19.33	0.00247	45.83	4.35
24	213.62	14.94	19.16	0.00305	46.40	4.22
23	213.62	14.92	19.10	0.00340	46.21	4.18
22	213.62	14.42	19.03	0.00379	46.94	4.61

Sección	Caudal (m ³ /s)	Min Ch El (m)	Elev. Agua(m)	Pendiente (m/m)	Ancho (m)	Tirante (m)
21	213.62	14.97	18.95	0.00398	27.58	3.98
20	213.62	14.84	19.03	0.00285	33.52	4.19
19	213.62	14.88	18.76	0.00379	19.25	3.88
18	213.62	15.00	18.69	0.00410	25.26	3.69
17	213.62	14.66	18.62	0.00234	32.09	3.96
16	213.62	14.49	18.40	0.00341	29.85	3.91
15	213.62	14.35	18.61	0.00139	34.74	4.26
14	213.62	14.89	18.50	0.00412	20.40	3.61
13	213.62	14.63	18.43	0.00280	22.10	3.80
12	213.62	14.19	18.34	0.00429	28.04	4.15
11	213.62	14.28	18.41	0.00210	29.59	4.13
10	213.62	14.27	18.69	0.00091	38.12	4.42
9	213.62	13.83	18.40	0.00198	41.62	4.57
8	213.62	14.09	18.43	0.00186	30.98	4.34
7	213.62	14.01	18.27	0.00210	27.67	4.26
6	213.62	14.09	18.15	0.00334	37.84	4.06
5	213.62	13.97	18.15	0.00226	30.81	4.18
4	213.62	13.37	17.90	0.00327	25.87	4.53
3	213.62	13.64	17.80	0.00536	27.29	4.16
2	213.62	13.74	17.71	0.00578	22.69	3.97
1	213.62	13.53	17.64	0.00351	23.10	4.11

Fuente: Desarrollado por el Consultor, agosto de 2020.

Tabla 15. Niveles de terracería seguro (TS) para un periodo de retorno de 50 años para el Río Tapia estimados con el hidrograma calculado por el modelo HEC-HMS

Sección	Nivel de Terracería Seguro						
50	21.66	37	20.81	24	19.96	11	19.11
49	21.59	36	20.75	23	19.90	10	19.05
48	21.53	35	20.68	22	19.83	9	18.98
47	21.46	34	20.62	21	19.77	8	18.92
46	21.4	33	20.55	20	19.7	7	18.85
45	21.33	32	20.48	19	19.64	6	18.79
44	21.27	31	20.42	18	19.57	5	18.72
43	21.2	30	20.35	17	19.5	4	18.66
42	21.14	29	20.29	16	19.44	3	18.59
41	21.07	28	20.22	15	19.37	2	18.53
40	21.01	27	20.16	14	19.31	1	18.46
39	20.94	26	20.09	13	19.24		
38	20.88	25	20.03	12	19.18		

Fuente: Desarrollado por el Consultor, agosto de 2020

15. MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINAR LAS PLANICIES DE INUNDACIÓN DEL RÍO TAPIA HIDROGRAMA ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DISTRIBUIDO

Una vez obtenido las planicies de inundación por el modelo de HEC-HMS, se volvió a utilizar el programa HEC-Ras pero con un hidrograma del Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá distribuido para un periodo de retorno de 50 años

Tabla 16. Hidrograma del Caudal de Análisis Regional de Crecidas Máximas distribuido

Hidrograma Tr= 50 años					
Hora	QTr50a	Hora	QTr50a	Hora	QTr50a
7:00	3.04	12:40	7.22	18:20	3.04
7:10	3.04	12:50	5.45	18:30	3.04
7:20	3.04	13:00	4.33	18:40	3.04
7:30	3.04	13:10	3.68	18:50	3.04
7:40	3.04	13:20	3.20	19:00	3.04
7:50	3.04	13:30	3.04	19:10	3.04
8:00	3.20	13:40	3.04	19:20	3.04
8:10	3.68	13:50	3.04	19:30	3.04
8:20	5.45	14:00	3.04	19:40	3.04
8:30	9.47	14:10	3.04	19:50	3.04
8:40	19.28	14:20	3.04	20:00	3.04
8:50	40.83	14:30	3.04	20:10	3.04
9:00	77.82	14:40	3.04	20:20	3.04
9:10	127.19	14:50	3.04	20:30	3.04
9:20	181.70	15:00	3.04	20:40	3.04
9:30	232.52	15:10	3.04	20:50	3.04
9:40	270.15	15:20	3.04	21:00	3.04
9:50	293.00	15:30	3.04	21:10	3.04
10:00	282.69	15:40	3.04	21:20	3.04
10:10	256.48	15:50	3.04	21:30	3.04
10:20	218.05	16:00	3.04	21:40	3.04
10:30	177.36	16:10	3.04	21:50	3.04
10:40	139.89	16:20	3.04	22:00	3.04
10:50	108.05	16:30	3.04	22:10	3.04
11:00	82.80	16:40	3.04	22:20	3.04
11:10	63.35	16:50	3.04	22:30	3.04
11:20	48.55	17:00	3.04	22:40	3.04
11:30	37.45	17:10	3.04	22:50	3.04
11:40	29.09	17:20	3.04	23:00	3.04
11:50	22.82	17:30	3.04		
12:00	18.00	17:40	3.04		
12:10	14.30	17:50	3.04		
12:20	11.40	18:00	3.04		
12:30	9.15	18:10	3.04		

Fuente: Desarrollado por el Consultor, Marzo de 2021

Tabla 17. Salida de HEC-RAS del río Tapia para un periodo de retorno de 50 años utilizando el hidrograma calculado por el modelo HEC-HMS.

Sección	Caudal (m ³ /s)	Min Ch El (m)	Elev. Agua (m)	Pendiente (m/m)	Ancho (m)	Tirante (m)
50	293	15.46	21.25	0.00054	49.54	5.79
49	293	15.28	21.29	0.00038	47.44	6.01
48	293	16.18	21.05	0.00111	41.25	4.87
47	292	16.52	21.03	0.00146	52.63	4.51
46	292	16.33	20.98	0.00128	45.54	4.65
45	292	16.41	21.07	0.00126	51.21	4.66
44	292	16.42	20.97	0.00146	57.66	4.55
43	292	16.15	20.90	0.00159	58.19	4.75
42	292	16.21	21.00	0.00125	72.50	4.79
41	292	16.45	21.02	0.00092	62.60	4.57
40	292	16.05	20.45	0.00359	44.60	4.40
39	291	16.43	20.61	0.00267	46.36	4.18
38	291	16.43	20.73	0.00193	61.46	4.30
37	291	15.47	20.77	0.00137	63.95	5.30
36	291	15.69	20.81	0.00167	68.04	5.12
35	291	15.54	20.48	0.00242	58.20	4.94
34	291	15.86	20.43	0.00236	50.80	4.57
33	291	15.80	20.10	0.00488	27.93	4.30
32	291	15.91	20.47	0.00179	41.58	4.56
31	291	15.67	20.26	0.00274	48.33	4.59
30	291	15.66	19.95	0.00464	33.17	4.29
29	291	15.38	19.98	0.00266	36.98	4.60
28	291	15.46	19.77	0.00417	25.90	4.31
27	291	15.10	19.77	0.00366	25.70	4.67
26	291	15.50	19.88	0.00267	42.39	4.38
25	291	14.98	19.83	0.00359	58.16	4.85
24	291	14.94	19.66	0.00418	63.75	4.72
23	293	14.92	19.80	0.00201	57.08	4.88
22	288	14.42	19.68	0.00249	67.32	5.26
21	294	14.97	19.55	0.00458	38.54	4.58
20	289	14.84	19.47	0.00405	47.43	4.63
19	293	14.88	19.35	0.00583	39.14	4.47

Sección	Caudal	Min Ch El	Elev. Agua (m)	Pendiente	Ancho (m)	Tirante (m)
18	292	15.00	19.25	0.00533	35.77	4.25
17	292	14.66	19.56	0.00207	40.44	4.90
16	291	14.49	19.40	0.00242	40.10	4.91
15	291	14.35	19.66	0.00102	41.77	5.31
14	291	14.89	18.93	0.00504	22.12	4.04
13	291	14.63	18.88	0.00350	24.88	4.25
12	291	14.19	18.78	0.00528	31.09	4.59
11	291	14.28	19.15	0.00208	33.38	4.87
10	291	14.27	19.49	0.00087	41.90	5.22
9	291	13.83	19.35	0.00134	44.98	5.52
8	291	14.09	19.25	0.00164	34.04	5.16
7	291	14.01	18.99	0.00223	30.76	4.98
6	291	14.09	18.57	0.00437	42.16	4.48
5	288	13.97	19.02	0.00137	36.80	5.05
4	288	13.37	18.72	0.00222	30.69	5.35
3	290	13.64	18.60	0.00329	39.90	4.96
2	290	13.74	18.57	0.00321	33.21	4.83
1	290	13.53	18.73	0.00200	38.40	5.20

Fuente: Desarrollado por el Consultor, Marzo de 2021

Tabla 18. Niveles de terracería seguro (TS) para un periodo de retorno de 50 años para el Río Tapia usando como hidrograma de Análisis Regional de Crecidas Máximas distribuido para una duración de 23 horas

Sección	Nivel de Terracería Seguro						
50	21.79	37	21.12	24	20.45	11	19.78
49	21.74	36	21.07	23	20.40	10	19.73
48	21.69	35	21.02	22	20.35	9	19.68
47	21.64	34	20.97	21	20.30	8	19.63
46	21.58	33	20.92	20	20.25	7	19.58
45	21.53	32	20.86	19	20.20	6	19.53
44	21.48	31	20.81	18	20.14	5	19.48
43	21.43	30	20.76	17	20.09	4	19.42
42	21.38	29	20.71	16	20.04	3	19.37
41	21.33	28	20.66	15	19.99	2	19.32
40	21.28	27	20.61	14	19.94	1	19.27
39	21.22	26	20.56	13	19.89		
38	21.17	25	20.50	12	19.84		

Fuente: Desarrollado por el Consultor, Marzo de 2021

16. RESULTADOS:

- De la inspección de campo realizada el 13 de agosto de 2020, tenemos los siguientes hallazgos:
 - Solamente la margen izquierda del río Tapia colinda con el Proyecto.
 - Se identificó un muro perimetral en condición de deterioro en la ribera izquierda del río Tapia.
 - Las riberas del río Tapia están protegidas por cobertura boscosa en bosque galería (secundario), con vegetación que consiste en arbustos y árboles más desarrollados entre 8 a 11 m de altura.
 - El río Tapia es un curso de agua permanente.
- Según el análisis de cobertura boscosa por medio de sistemas de información geográfica, esta representa un 70% de la superficie total de la subcuenca del río Tapia.
- Solamente un 30% de la subcuenca es impermeable.
- El caudal máximo instantáneo del río Tapia hasta el sitio del proyecto (calculado por el modelo HEC-HMS) para el periodo de retorno 1 en 50 años es de 213.8 m³/s.
- El Volumen de agua en la Subcuenca del río Tapia calculado por el modelo HEC-HMS es de 87.78 mm que equivale 1,317,500 m³.
- El caudal máximo instantáneo del río Tapia hasta el sitio del proyecto (calculado por el Método de Lavalin) para un periodo de retorno 1 en 50 años es de 292.92 m³/s.
- La salida de la simulación hidráulica del río Tapia, indica que los niveles de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) usando el caudal del método de HEC-HMS varían entre 17.64 y 20.55 msnm (según Tabla 14).
- La salida de la simulación hidráulica del río Tapia, indica que los niveles de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) usando el caudal del método de Lavalin varían entre 18.73 y 21.29 msnm (según Tabla 17).

17. CONCLUSIONES:

- Las elevaciones del cauce del río Tapia obtenidas del levantamiento de las secciones transversales, se encuentran entre 13.53 msnm para la estación 0k+000 y 15.50 msnm para la estación 0k+980.
- El NAME (obtenido por el hidrograma del modelo HEC-HMS) se encuentra entre 20.55 msnm para la estación 0k+980 y 17.64 msnm para la estación 0k+000 msnm.
- El NAME (obtenido por el hidrograma del modelo de Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá) se encuentra entre 21.29 msnm para la estación 0k+980 y 18.73 msnm para la estación 0k+000 msnm.
- Los resultados de la modelación hidráulica al utilizar el caudal máximo por el modelo HEC-HMS indican que los niveles de terracería seguros se encuentran entre 18.46 y 21.66 msnm de elevación respectivamente.
- Los resultados de la modelación hidráulica al utilizar el caudal estimado por el método de Lavalin, indican que los niveles de terracería seguros se encuentran entre 19.27 y 21.79 msnm de elevación respectivamente.
- La salida de la simulación hidráulica del río Tapia (usando el caudal estimado por el modelo HEC-HMS) para un periodo de retorno de 50 años, indica que las zonas donde se va a construir el proyecto no van a ser afectadas ante un evento de crecidas extraordinaria para un periodo de retorno de 1 en 50 años.
- La salida de la simulación hidráulica del río Tapia (usando el caudal estimado por método de Lavalin) para un periodo de retorno de 50 años, indica que las zonas donde se va a construir el proyecto no van a ser afectadas ante un evento de crecidas extraordinaria para un periodo de retorno de 1 en 50 años.

- El proyecto por desarrollar se ubica sobre un terreno de configuración topográfica casi plana y bastante regular que tiene una elevación de terracería entre 29.00 y 32.00 msnm.
- El terreno se encuentra a una elevación segura y no se espera rebasamiento por crecida para la terracería existente.
- Para el desarrollo del proyecto no se contempla realizar obras en cauce.

18. RECOMENDACIONES

- Según los resultados de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 1 en 50 años, los niveles de terracería segura que se recomiendan para el proyecto deben tener una elevación máxima de 21.79 msnm y una elevación mínima de 19.27 msnm (ver Tabla 18).
- Se recomienda que el departamento de mantenimiento del Ministerio de Obras Públicas realice labores de limpieza periódicas en el río Tapia, ya que la contaminación reduce la capacidad hidráulica del cauce.
- Las autoridades del gobierno nacional deben involucrarse para hacer jornadas de concienciación en la población que vive en los alrededores del río Tapia, fomentando una cultura de limpieza.
- El promotor del proyecto requiere cumplir con un plan de control de erosión y sedimentos para evitar que se produzca una reducción en la capacidad hidráulica del río Tapia.
- Se recomienda mantener los bosques de galería que se encuentran en el área de influencia del proyecto.

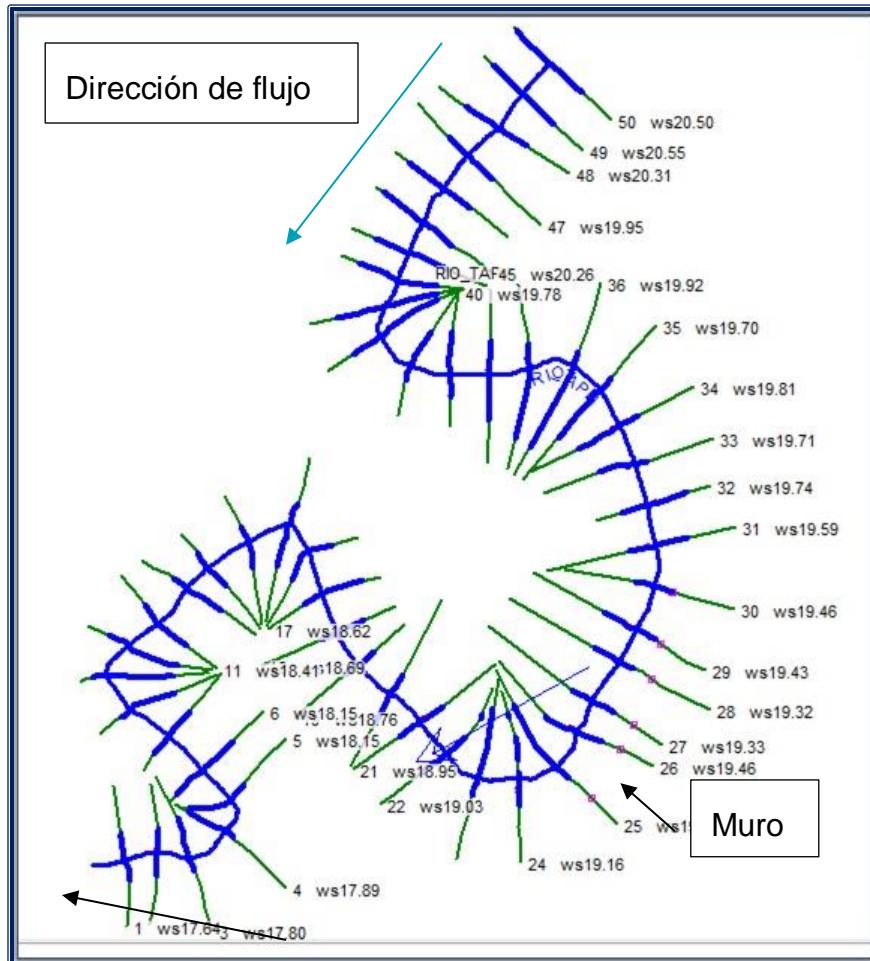
19. BIBLIOGRAFÍA:

- Chow, V.T., Maidment, D y Mays, L. (1993). *Hidrología Aplicada*. Lugar: McGraw Hill.
- Chow, V.T. (1995). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Lugar: McGraw Hill.
- Gonzalez D., Jaramillo I y De Calzadilla L. G. (2008). *Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá*. Panamá.
- Linsley, R. y Franzini, J. (1984). *Ingeniería de los Recursos Hidráulicos*. Lugar: CECSA.
- Lau A. y Pérez A. (2015) *Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en La República de Panamá*. Universidad Tecnológica de Panamá.
- Ministerio de Ambiente (2010). *Atlas Ambiental de la República de Panamá*. Panamá.
- Ministerio de Obras Públicas (2003). *Manual de Requisitos para Revisión de Planos*. Panamá.
- Ministerio de Vivienda (2003). *Requisitos-Dirección-Nacional-de-Ventanilla-Única-Urbanizaciones-y-Segregaciones*. Panamá

20. ANEXOS

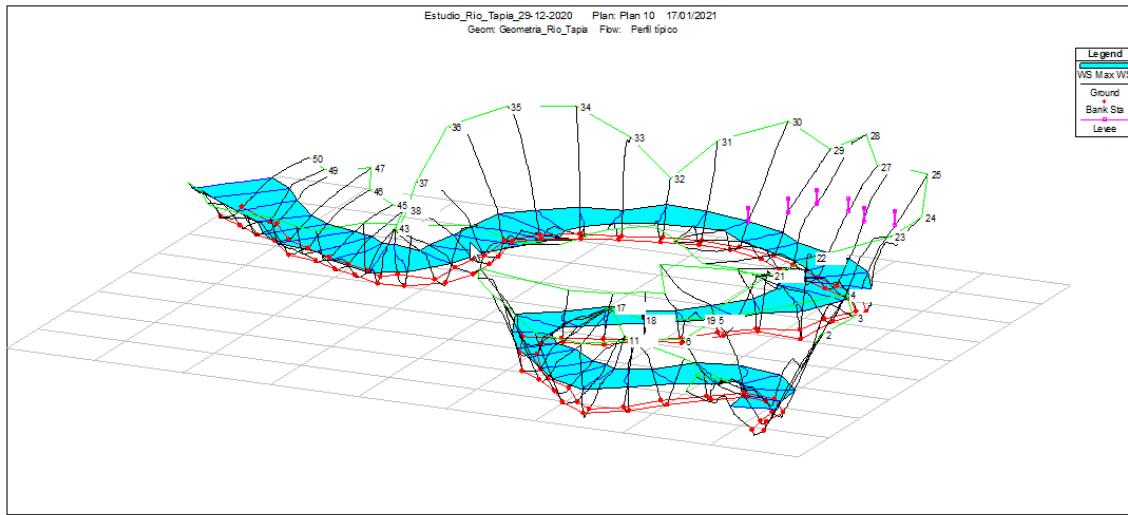
- A.1. 1 Esquema de la modelación del Río Tapia
- A.1. 2 Vista 3D de la modelación del Río Tapia.
- A.1. 3 Delimitación de la superficie de drenaje del Río Tapia.
- A.2. 1 Planicie de inundación del río Tapia para un periodo de retorno de 50 años.
- A.2. 2. Demarcación de Servidumbre Pluvial.
- A.3. 1 Secciones Transversales del Río Tapia.
- A.4. 1 Informe de Inspección del Proyecto “Parque Logístico San Carlos”.

A.1. 1 Esquema de la modelación del Río Tapia

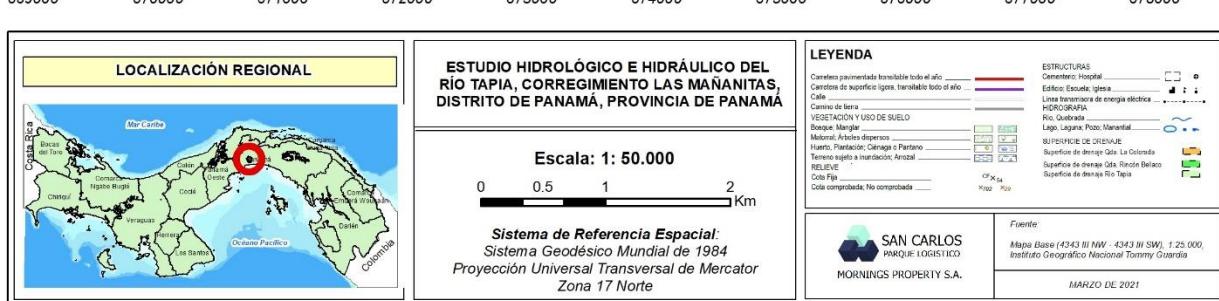
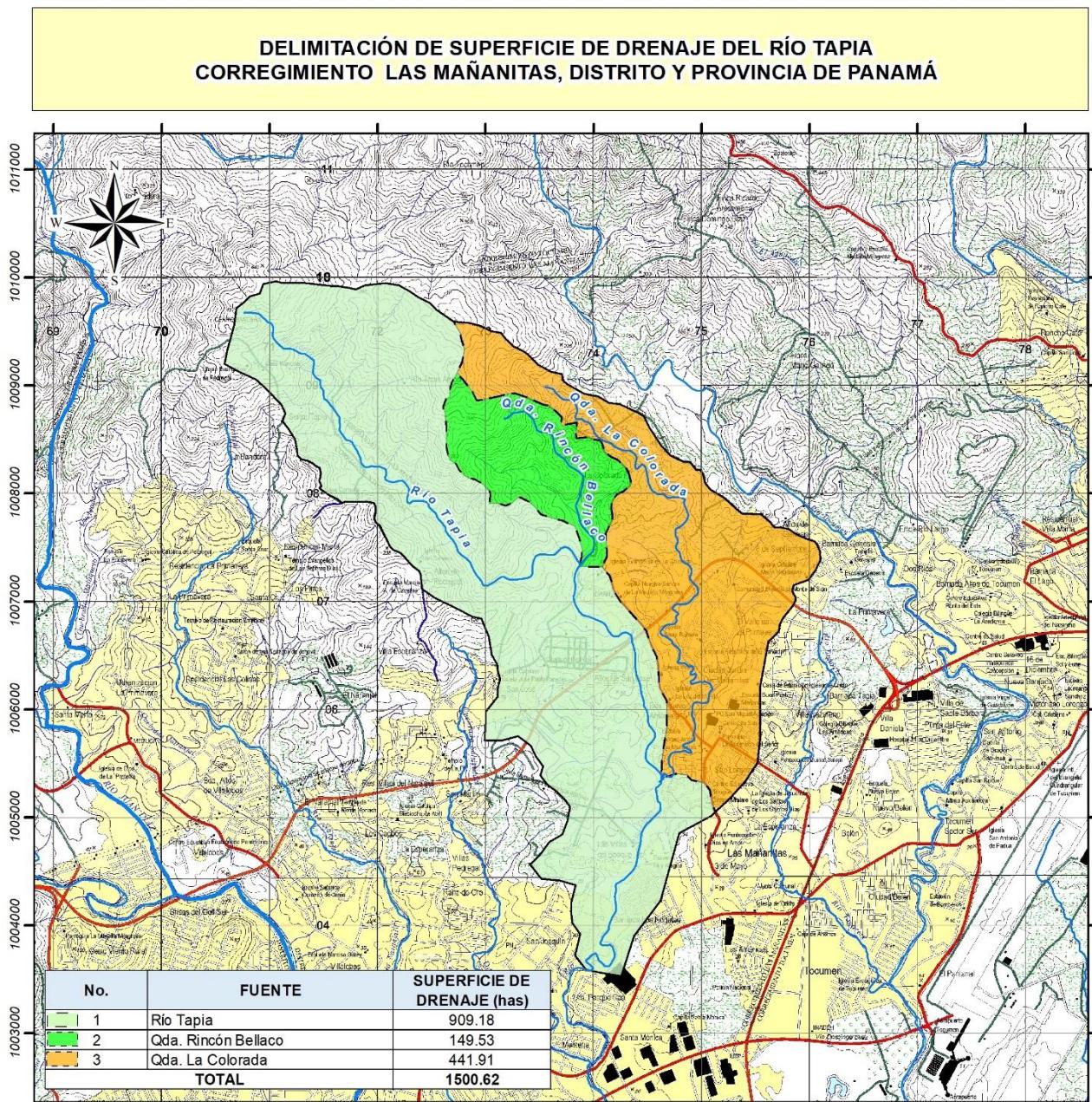


Fuente: Desarrollado por el Consultor, agosto de 2020.

A.1. 2 Vista 3D de la modelación del Río Tapia

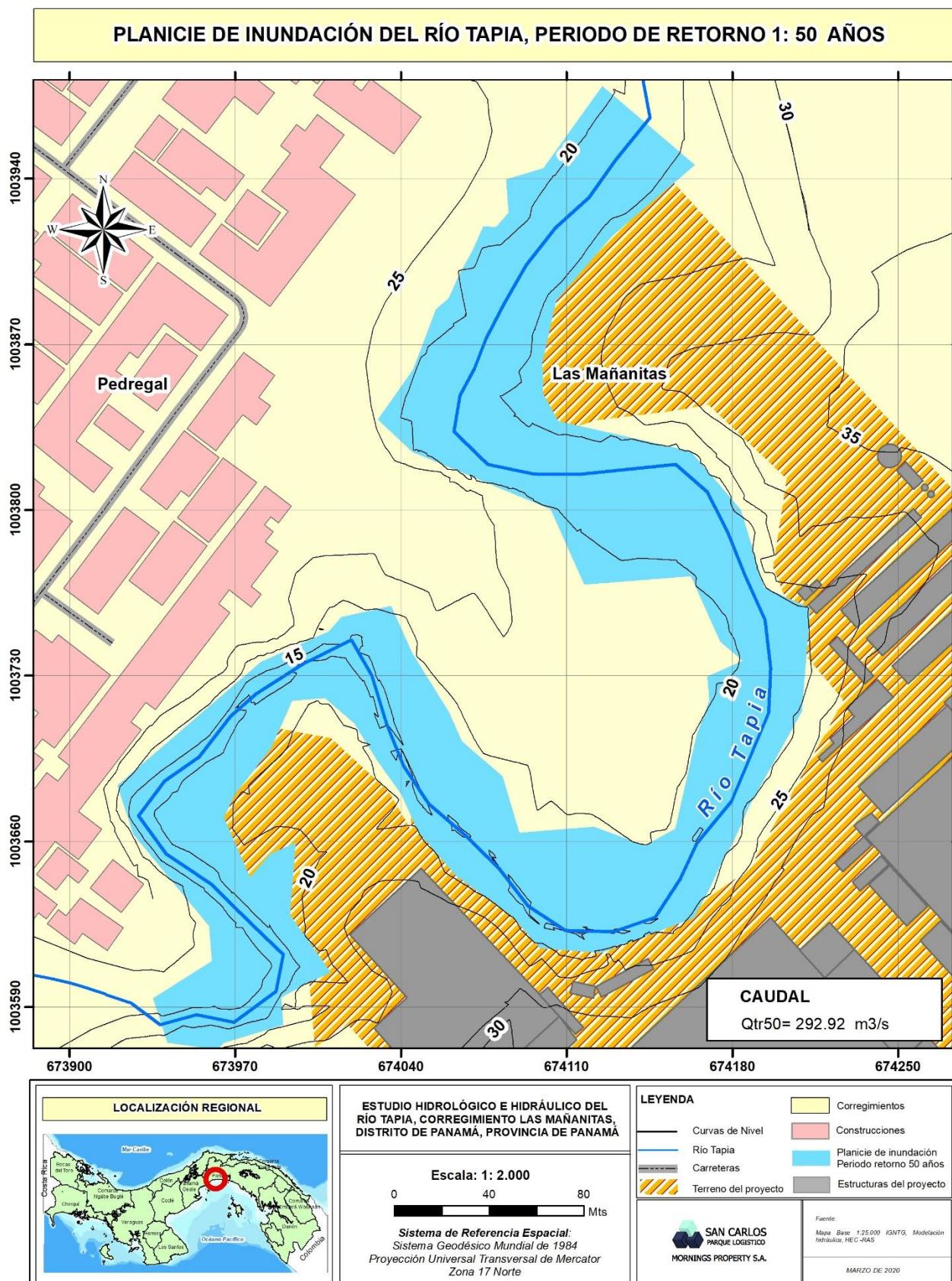


A.1. 3 Delimitación de la superficie de drenaje del Río Tapia.



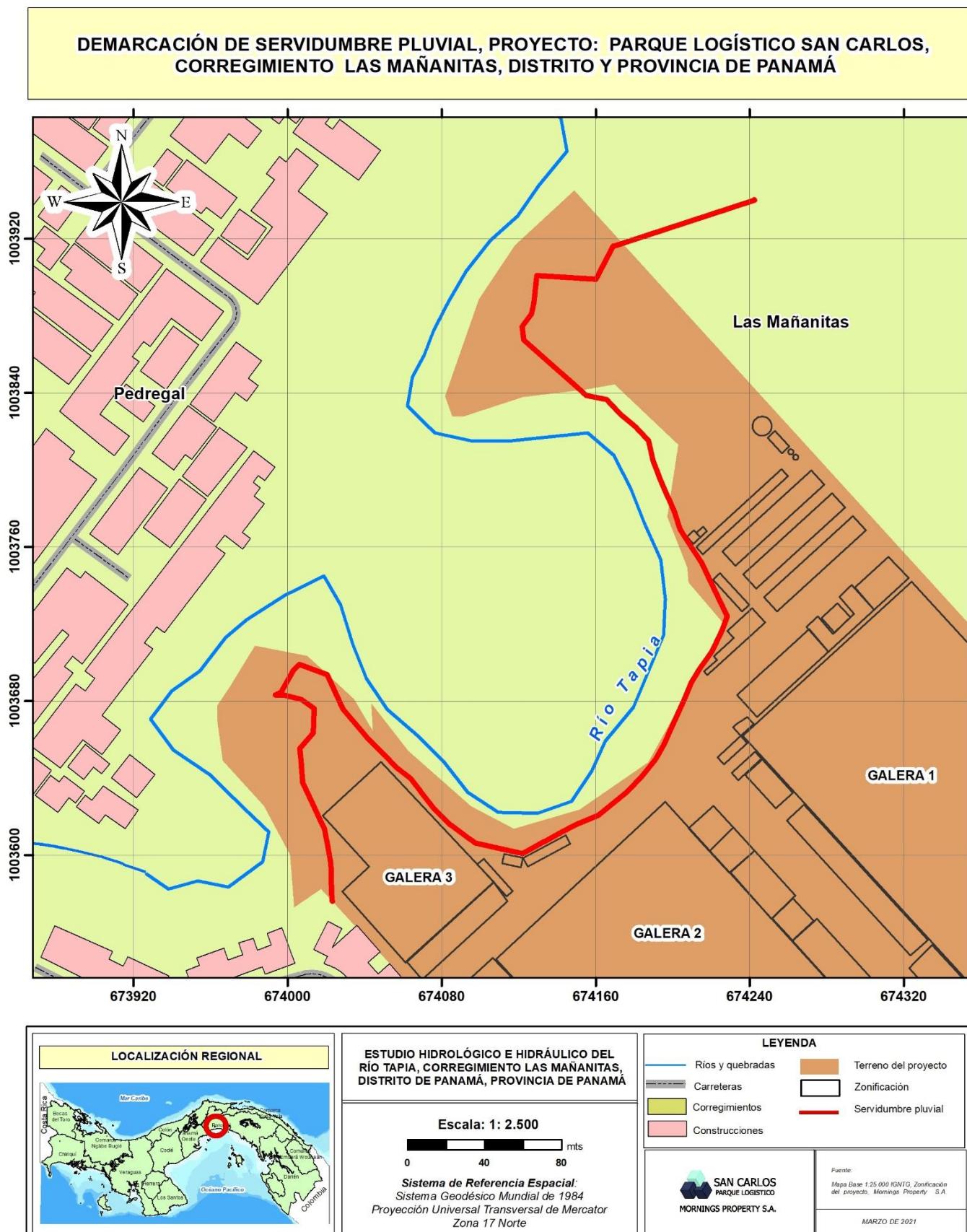
Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

A.2. 2 Planicies de inundación del río Tapia para períodos de retorno de 50 años.



Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

A.2. 3 Demarcación de Servidumbre Pluvial.



Fuente: Desarrollado por el Consultor, marzo de 2021.

A.3. 1 Secciones Transversales del Río Tapia

Figura A.3.1.1 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+980 del cauce del río Tapia, aguas arriba.

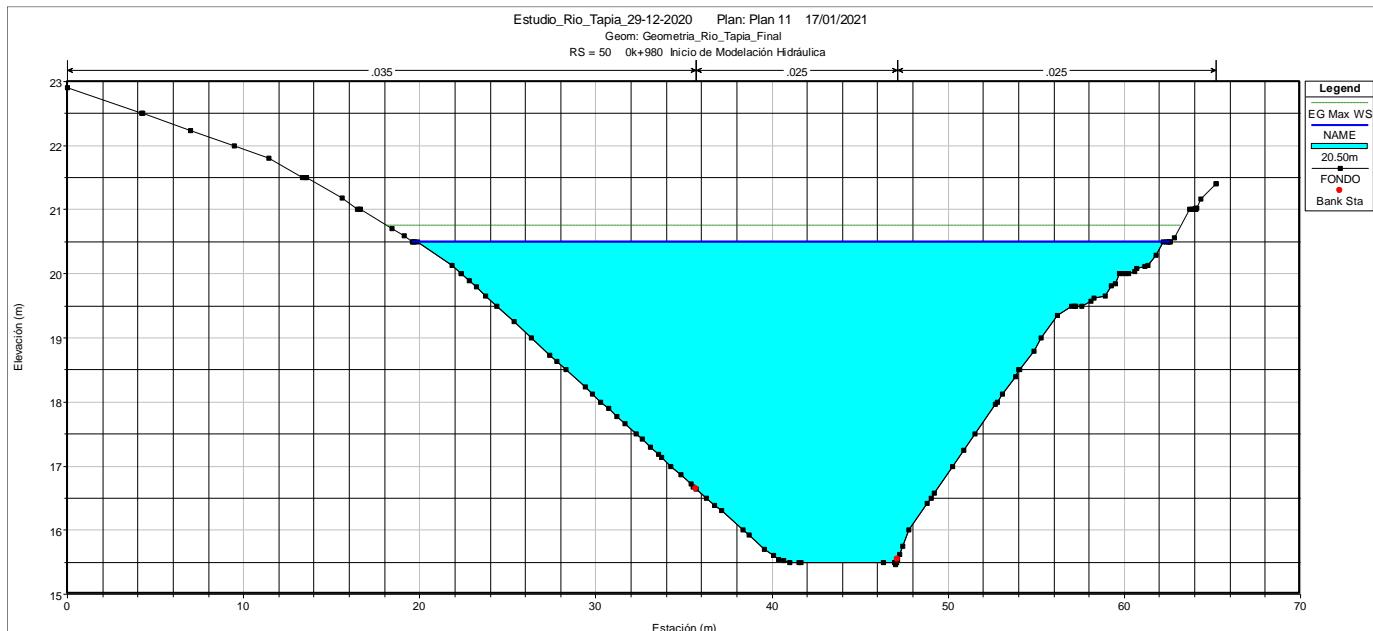


Figura A.3.1.2 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+620 del cauce del río Tapia, aguas arriba. La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se encuentra en una cota de terracería segura (21.50 msnm).

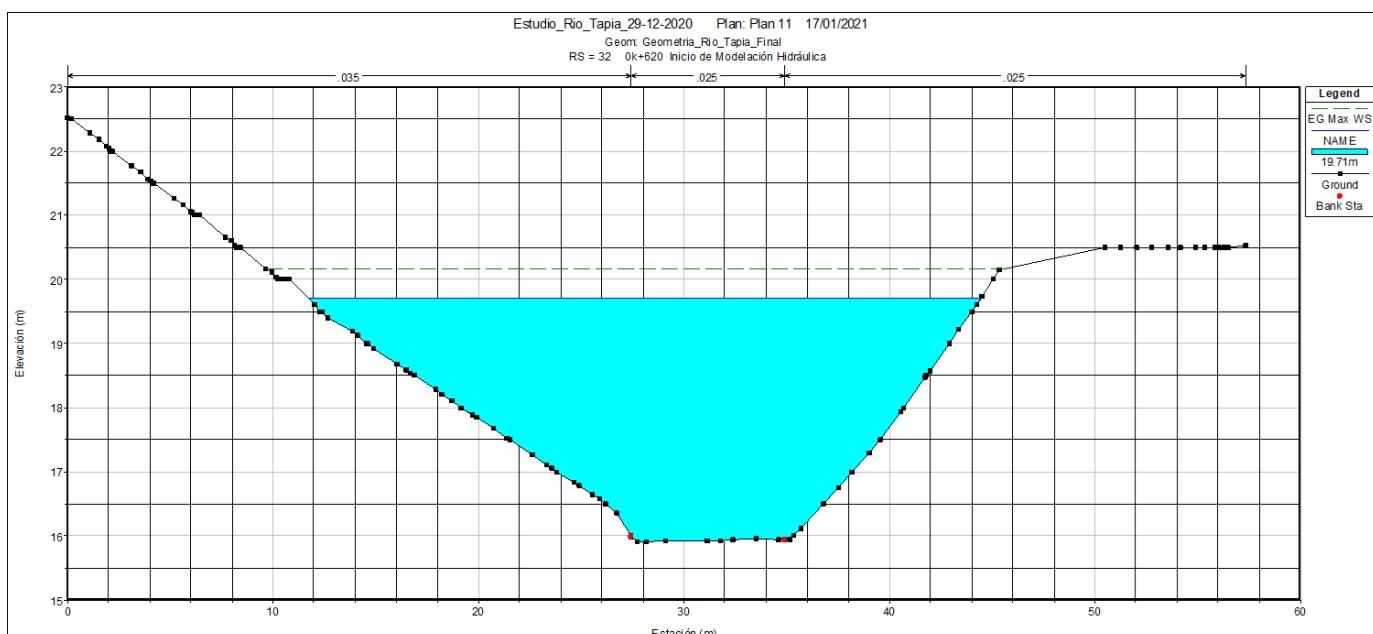


Figura A.3.1.3 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+580 del cauce del río Tapia, aguas arriba. El área de estacionamientos se encuentra en una cota de terracería segura (28.50 msnm)

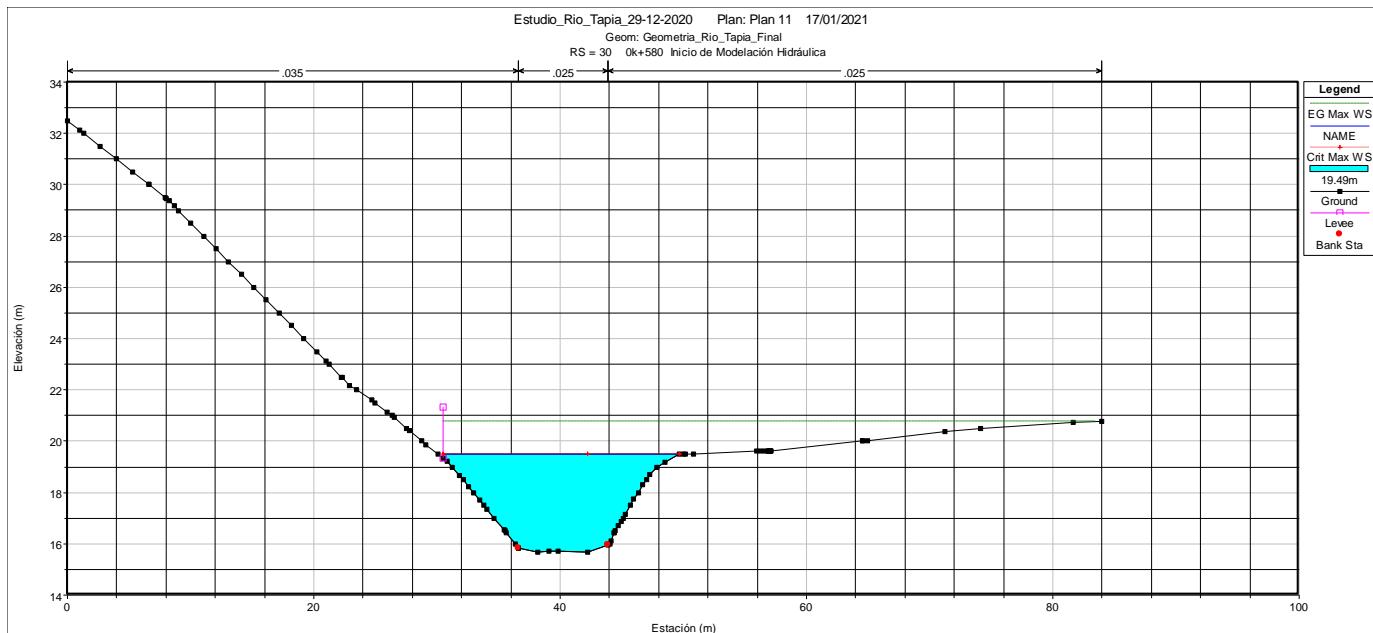


Figura A.3.1.4 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+560 del cauce del río Tapia, aguas arriba.

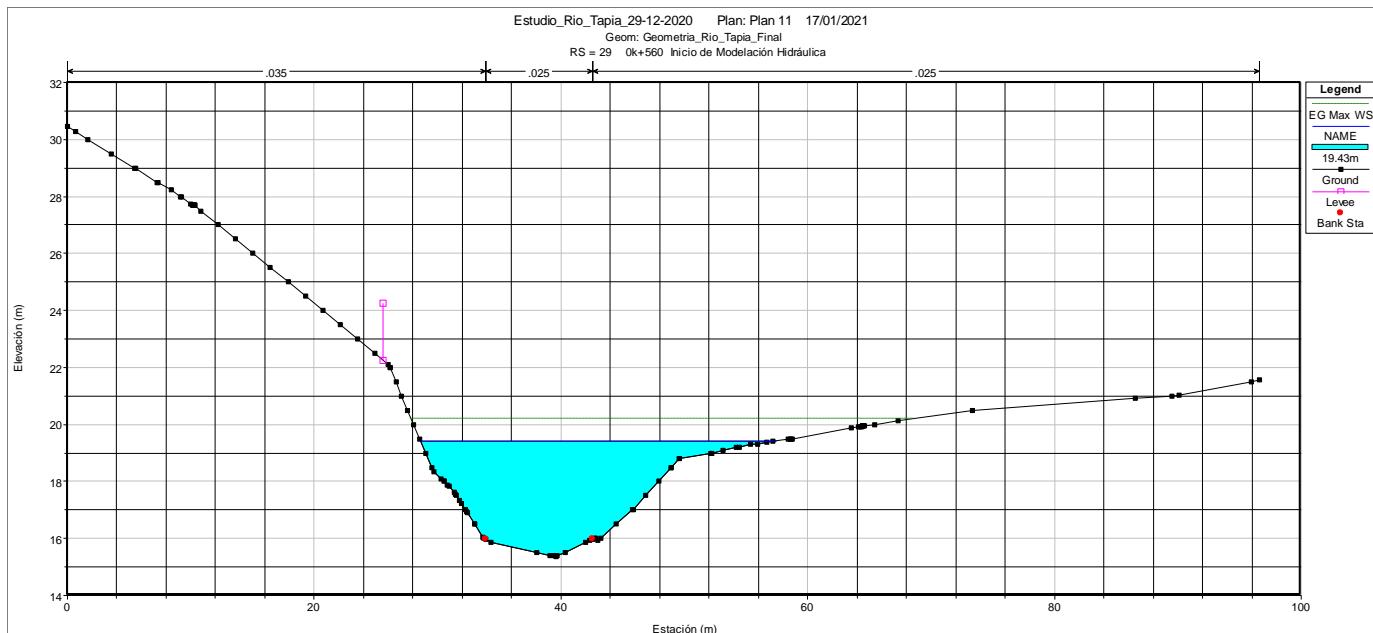


Figura A.3.1.5 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+540 del cauce del río Tapia aguas arriba.

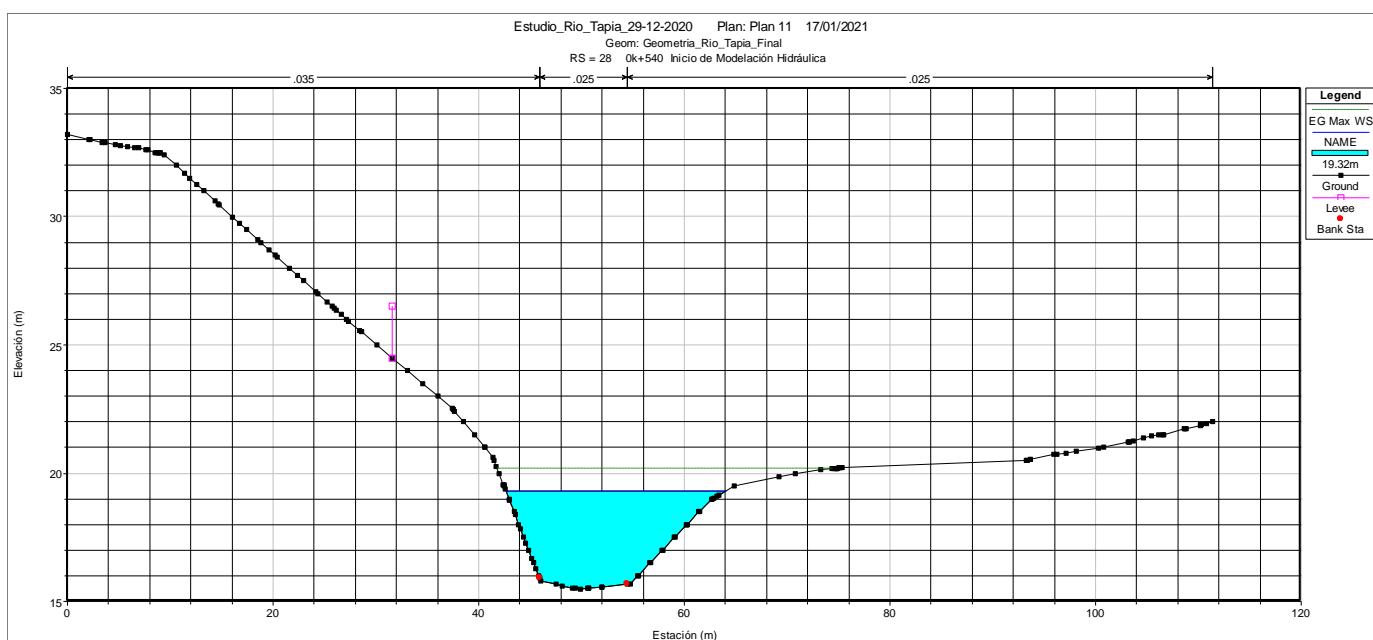


Figura A.3.1.6 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+520 del cauce del río Tapia, aguas abajo.

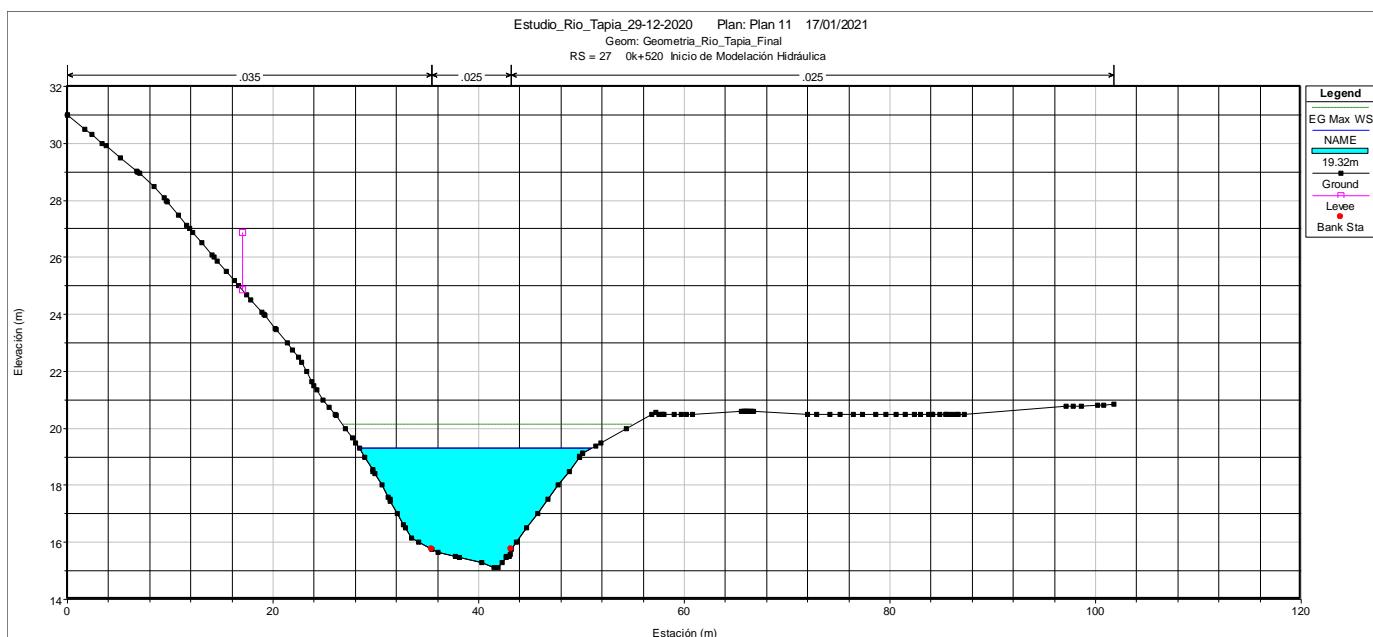


Figura A.3.1.7 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+500 del cauce del río Tapia, aguas abajo. La elevación de la calle se encuentra en una cota de terracería segura (25.50 msnm)

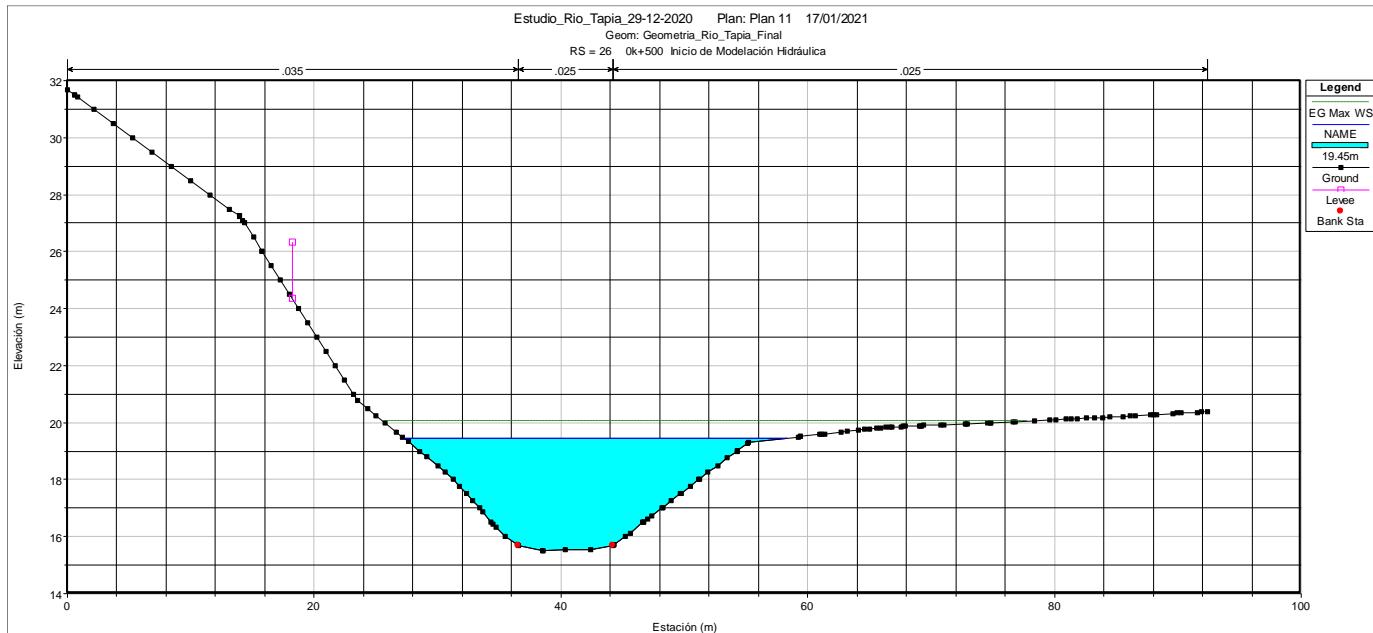
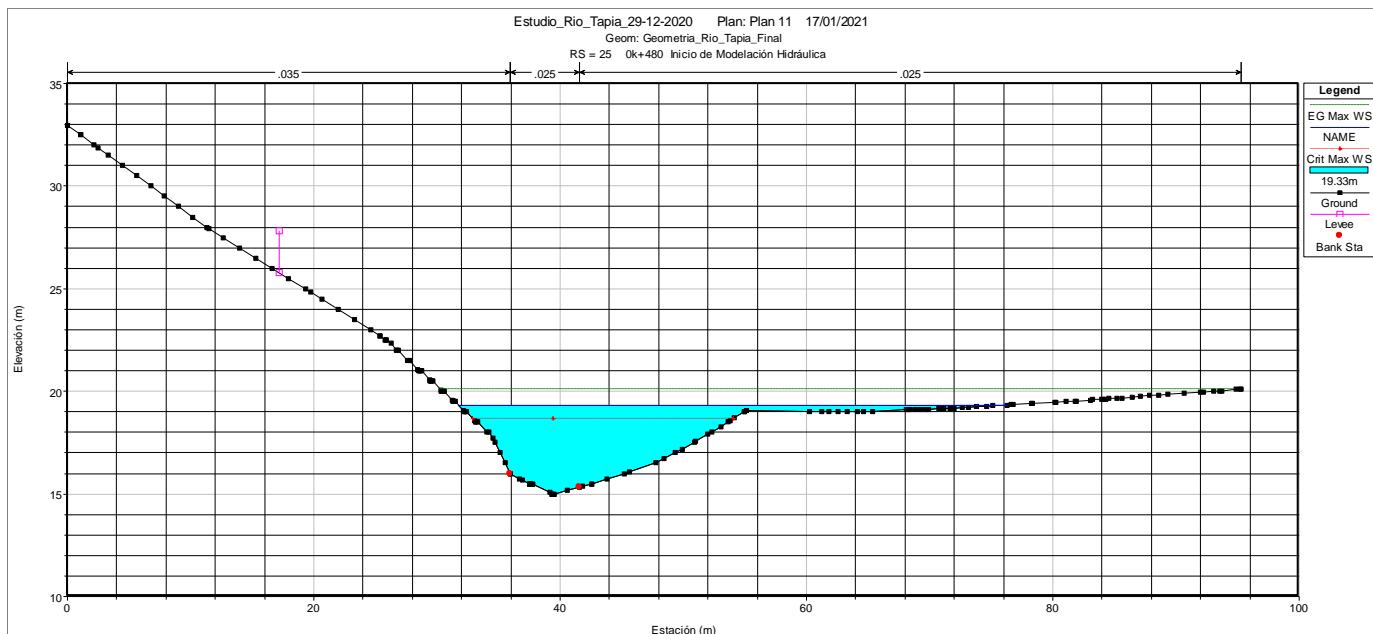


Figura A.3.1.7 Secciones transversales usadas para alimentar el programa HEC-RAS. Estación 0k+480 del cauce del río Tapia, aguas abajo.



A.4. 1 Informe de Inspección del Proyecto “Parque Logístico San Carlos”.

Lugar: Las Mañanitas, distrito de Panamá, provincia de Panamá

Fecha: jueves 13 de agosto de 2020

Tiempo: Lluvioso en la mañana.

Participantes:

Lic. René González (topógrafo) y David E. Trejos H (JACUM Enterprises, S.A.).

Antecedentes:

A solicitud de la Empresa Mornings Property S.A., encargada de desarrollar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto “Parque Logístico San Carlos”, se realizó una visita al área del proyecto, con la finalidad de inspeccionar directamente el sitio e identificar los drenajes que pudiesen afectar el desarrollo del proyecto.

El proyecto consiste en el desarrollo de aproximadamente 14 Ha + 6,981 m² de terreno, localizadas a 3 km del Aeropuerto Internacional de Tocumen y al este de la ciudad de Panamá, en el corregimiento Las Mañanitas, distrito de Panamá. El proyecto propuesto, consiste en el desarrollo de la construcción de galeras en 3 fases para un Parque Logístico que servirá de almacenaje y distribución de mercancía que llega proveniente del Aeropuerto.

Localización del Proyecto

El proyecto “Parque Logístico San Carlos”, se encuentra ubicado a aproximadamente 17.3 km en línea recta al este de la ciudad de Panamá. El acceso al mismo toma aproximadamente 25 minutos viajando por la Ave. Ricardo J. Alfaro y Ave. Domingo Díaz desde Condado del Rey. El promotor del proyecto es Mornings Property S.A.

Detalle de la inspección

09:00 a.m. – 9:30 a.m.: Llegada al sitio de reunión acordado, en el sitio del Proyecto.

09:30-10:30 a.m.: Inspección hacia el río Tapia



Foto 1 Llegada al sitio de inspección. Fuente: JACUM, agosto 2020.

Después de identificar los límites de los terrenos del proyecto, con el personal de RGV Topografía, se procedió a recorrer el río Tapia, dentro de las áreas aledañas al proyecto.

El Lic. René González, nos proporcionó un machetero con conocimiento del sitio y que sirvió a la vez de guía, para recorrer los terrenos e inspeccionar el área. Antes de llegar al río Tapia, el machetero nos informó que en el terreno donde se va a desarrollar el Proyecto, antes existía una fábrica de vidrios. En el recorrido de campo se observó aguas empozadas durante el trayecto (ver Foto 2), y restos de vidrios esparcidos de la fábrica que existía antes en el sitio (ver Foto 3). Nos adentramos al cuerpo de agua y caminamos de aguas abajo hacia aguas arriba empezando por la ribera izquierda.

Al llegar cerca de la orilla izquierda del río Tapia (tomando como referencia de aguas arriba hacia aguas abajo), se identificó un cabezal con su respectiva tubería de drenaje pluvial que descarga en el río Tapia (ver Foto 4).



Foto 2. Durante la inspección antes de llegar al río Tapia se encontró aguas empozadas en el terreno donde se va a desarrollar el Proyecto. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*



Foto 3. Vista de los restos de vidrios que fueron dejados por la fábrica que existía en el sitio. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*



Foto 4. En la ribera izquierda se observó un cabezal, donde la tubería de drenaje pluvial descarga hacia el río Tapia. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*

También en las riberas del lado donde se va a construir el proyecto, se encontró un muro perimetral rodeado de vegetación, que era un cerca de la fábrica para proteger las instalaciones de intrusos. (ver Foto 5).



Foto 5. Vista del muro perimetral que antes servía de barrera para la fábrica de vidrios. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*

Siguiendo el camino de la ribera izquierda del río Tapia, se observó un tramo del muro perimetral que falló justo al borde del talud del río Tapia (ver Foto 6).



Foto 6. Caída de Muro Perimetral en borde de talud en río Tapia. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*

Nos adentramos al cuerpo de agua, cruzando el río Tapia desde la orilla izquierda hasta la orilla derecha (ver Foto 7). Al llegar, observamos que el personal de topografía estaba en el lado izquierdo del Río Tapia (ver Foto 8). Se observó al topógrafo y su ayudante realizando el levantamiento de las secciones transversales del río. (ver Foto 9 y 10).



Foto 7. Recorrido dentro del río Tapia. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*

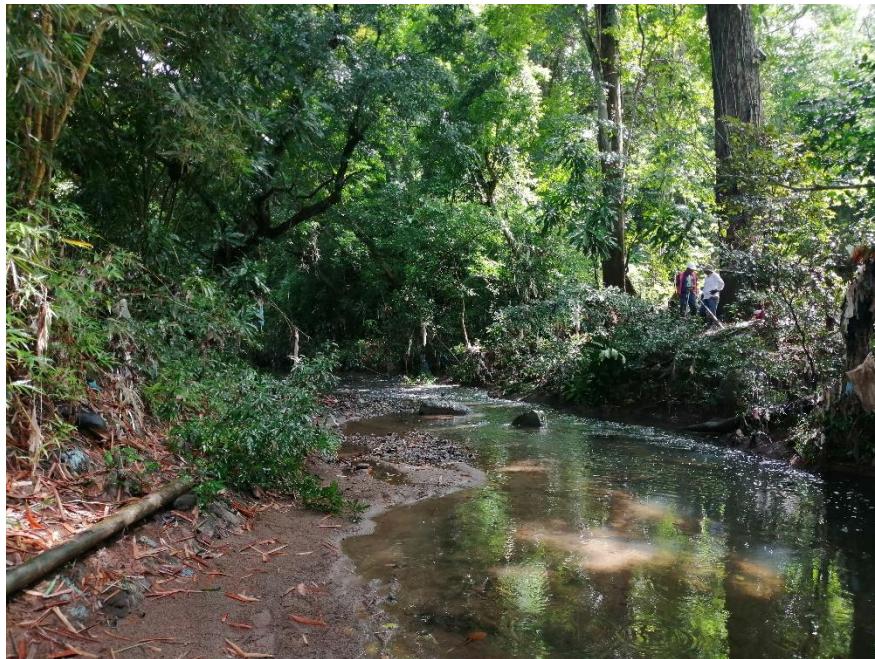


Foto 8. Personal de RGV Topografía, realizando el levantamiento en el lado izquierdo del río Tapia. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*



Foto 9. Ayudante de RGV Topografía tomando el punto con la mira en la orilla derecha.
Fuente: JACUM, agosto de 2020.



Foto 10. Topógrafo con la estación total capturando los datos de posición, distancia y elevación durante el levantamiento en campo. *Fuente: JACUM, agosto de 2020.*

Resultados de la Inspección:

Al momento de la inspección al sitio propuesto para el desarrollo del proyecto, se observó que la topografía del terreno es bastante regular y casi plana. Solamente presenta pendientes empinadas al borde del terreno con el río Tapia.

Se identificó solamente un cuerpo de agua que impacta al desarrollo del futuro proyecto Parque logístico San Carlos, que es el río Tapia que corre de norte a sur contiguo al Proyecto, su flujo es permanente y desemboca en el Océano Pacífico.

El río Tapia está protegido por cobertura boscosa en bosque galería (secundario), con vegetación que consiste en arbustos y árboles más desarrollados en altura (entre 8 a 11 m).

El río Tapia recorre aproximadamente 9.91 kilómetros desde su nacimiento hasta al sitio del Proyecto. Se observó que el muro perimetral (que se encuentra al borde

del barranco) tiene tramos que se han mantenido estables y otros que han fallado por inestabilidad.

Conclusiones:

- Se identificó un solo cuerpo de agua que colinda con el Proyecto
- Se identificó un muro perimetral en la ribera izquierda del río Tapia, que servía de barrera de protección ante una situación de crecidas.
- El río Tapia está protegido por bosque de galería secundario.
- El río Tapia es un curso de agua permanente.

Recomendaciones de la Inspección:

- Se requiere realizar limpieza del terreno y darle la pendiente a las zonas de agua empozada para evitar que ocurra más inundaciones producto de las lluvias.
- El tramo del muro perimetral que ha colapsado es una evidencia importante para hacer una evaluación de las estructuras existentes.