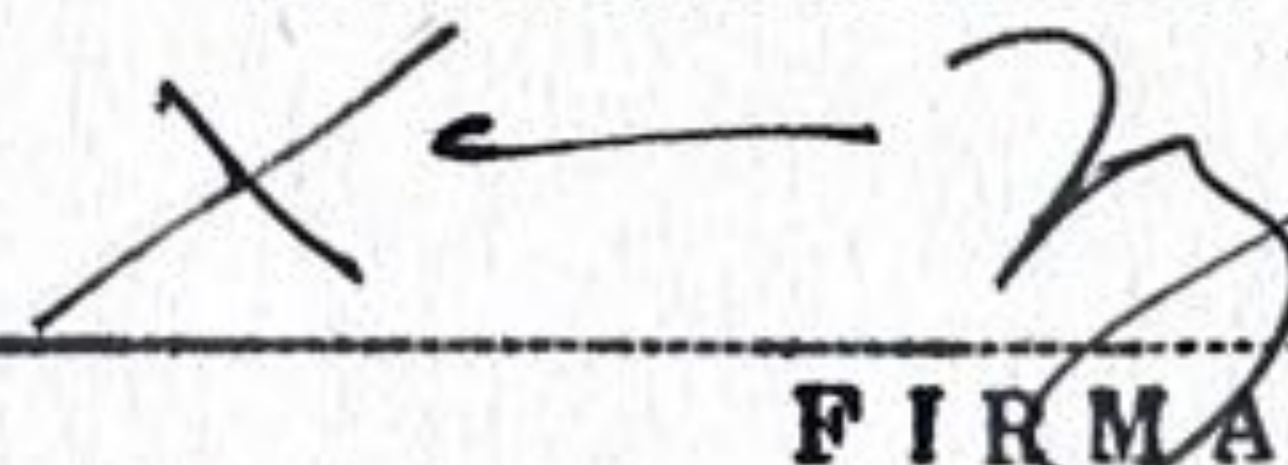


Análisis Hidrológico e Hidráulico Quebrada Bachiller

XAVIER J. RODRIGUEZ G.
INGENIERO AMBIENTAL
LICENCIA No. 2007-120-011



FIRMA

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Proyecto: "Colinas del Norte"

Promotor: Altos de Gonzalillo S.A.

Ubicación: Corregimientos Ernesto Córdoba Campos y Alcalde Díaz, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá, República de Panamá

Fecha: Octubre 2024

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
1) OBJETIVOS	4
1.1) Objetivo General.....	4
1.2) Objetivos Específicos	4
2) METODOLOGÍA	4
3) UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
3.1) Ubicación Geográfica	6
3.2) Ubicación Hidrográfica	9
4) CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	11
4.1) Condiciones Hidrográficas e Hidrológicas.....	11
4.5) Condiciones Climáticas y Meteorológicas	12
5) ESTIMACIÓN HIDROLÓGICA DE CAUDALES	15
6) CONCLUSIONES	35
7) RECOMENDACIONES	37
8) BIBLIOGRAFÍA	37

INTRODUCCIÓN

El presente Análisis Hidrológico e Hidráulico se realiza a solicitud de la empresa **Altos de Gonzalillo, S.A**, quien es promotora del proyecto “**Colinas del Norte**”. El proyecto está ubicado en el sector Gonzalillo, Corregimiento de Alcalde Díaz y Ernesto Córdoba Campos, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá, República de Panamá.

El informe se realiza con el objetivo de determinar y evaluar las influencias del cuerpo de agua colindante al terreno, denominado Quebrada Bachiller, el cual bordea el polígono del proyecto desde el noroeste al sureste. Esto, con el fin de establecer parámetros para las bases de la futura intervención de esta zona, enmarcados en la evaluación de impacto ambiental en curso. Cabe destacar que el polígono total del proyecto ocupa un total de 32 Ha + 4,147 m² + 13.16 dc² de superficie.

El área de estudio se ubica en el sector Gonzalillo, hacia el norte de la Subcuenca o Región Hidrográfica del Río Las Lajas, perteneciente a su vez la Cuenca del Río Juan Díaz y Entre Río Juan Díaz y Río Pacora (Cuenca N° 144). En dicha subcuenca se encuentran centros poblados como Bachiller, María Henríquez Rural, Las Cumbres, Alto del Lirio, Belisario Frías, Omar Torrijos, y Gonzalillo, donde se localiza el polígono del proyecto. Esto significa que durante los últimos años los procesos de asentamiento urbano han dado paso a la alteración de las condiciones morfológicas e hidrológicas propias del entorno natural, así como la calidad de los cuerpos de agua superficial presentes.

El presente documento compila el análisis del sitio y las evaluaciones de las condiciones morfológicas, climáticas e hidrológicas del mismo, que iniciaron con un levantamiento topográfico para la obtención de los modelos de terreno bajo condiciones naturales y con los niveles de terracería establecidos para el desarrollo del proyecto, la identificación de distribuciones de flujo y la obtención de caudales de crecidas máximas para un periodo de retorno de 100 años y una duración de lluvia de 30 minutos. Una vez levantada esta información se procedió a la simulación de diferentes escenarios de inundación.

Los escenarios de inundación se obtuvieron a través de modelos matemáticos generados con la ayuda del software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis Systems) Versión 6.6, desarrollado por el U.S Army Corps of Engineers; y el módulo HEC-GeoRAS para Arc-GIS, desarrollado por la empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI).

1) OBJETIVOS

1.1) Objetivo General

Realizar un análisis hidrológico e hidráulico para determinar los caudales de inundación del cuerpo de agua principal que colinda con el área del proyecto, a través de un período de retorno de 100 años y un tiempo de duración de lluvia de 30 minutos, de manera que se prevea el apropiado desarrollo del sitio.

1.2) Objetivos Específicos

- Realizar un análisis preliminar del sitio para identificar las condiciones generales del área de estudio
- Evaluar las condiciones climáticas del sitio como desencadenantes de fenómenos de inundación
- Determinar el caudal máximo de crecidas para un período de retorno de 100 años y un tiempo de duración de lluvia de 30 minutos.
- Elaborar un modelo hidrológico para simular los diferentes escenarios de inundación en el cuerpo de agua superficial evaluado y determinar las incidencias del mismo en el área del proyecto
- Validar los niveles de terracería seguros establecidos por el proyecto de acuerdo a la servidumbre pluvial aprobada.

2) METODOLOGÍA

Este estudio busca estimar los caudales de escorrentía y los niveles de agua máximos extraordinarios para las lluvias con período de retorno de 100 años, de la quebrada ubicada en la poligonal de estudio, localizada en el sector de Gonzalillo.

Este estudio corresponde al Análisis Hidrológico e Hidráulico de la quebrada denominada “Quebrada Bachiller”, realizado como parte integral del proyecto “Colinas del Norte”, del promotor Altos de Gonzalillo, S.A.

Los niveles máximos de agua calculados serán utilizados para la fijación de los niveles seguros de terracería para el desarrollo futuro del proyecto, además son la base para la delimitación de la servidumbre pluvial requerida por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE).

El trabajo ha sido abordado a través de dos fases, donde primeramente se recopiló y analizó la información existente del lugar, tomando los datos necesarios en campo y documentación proveniente de fuentes secundarias; y luego, se adentró a una segunda fase, donde se procesó toda la información obtenida y se produjeron los resultados.

Fase 1: Recopilación y Análisis de Información Existente

En esta primera fase se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Reconocimiento de la cuenca: el equipo técnico definió el área de estudio, para verificar las 32 Ha + 4,147 m² + 13.16 dc² de terreno a desarrollar
- Levantamiento y análisis de topografía: se realiza un levantamiento topográfico del terreno a desarrollar y de la Quebrada Bachiller. Se realizó tanto para las condiciones actuales como las futuras, las cuales contemplan la implantación de las terracerías del proyecto que modificarán en cierta medida el terreno natural del polígono a desarrollar.
- Evaluación y análisis de datos meteorológicos e hidrométricos: procesamiento en hojas de cálculo de datos procedentes de las estaciones meteorológicas e hidrométricas próximas al área de estudio, estableciendo intensidades de lluvia y cálculo de caudal por método racional.
- Evaluación hidrológica de la cuenca: delimitación hidrográfica del cauce principal, caracterización del mismo y de sus afluentes, áreas de drenaje y cálculos de caudales máximos de acuerdo a periodo de retorno de 100 años

y tiempo de duración de la lluvia de 30 minutos. Todo de acuerdo a lo establecido en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual de Requisitos de Revisión de Planos del MOP.

Fase 2: Procesamiento de Información

En esta segunda fase se cumplió con las siguientes actividades:

- Confección de mapas temáticos de análisis de la cuenca de estudio a través de información secundaria y georreferenciación satelital del área de estudio
- Cálculo y deducciones hidrológicas, a partir de la digitalización de la cartografía y datos de campo. Se modelaron diferentes escenarios de inundación para el área de estudio a través del software HEC-RAS Versión 6.6 y el módulo HEC-GeoRAS del software ArcGIS de la empresa ESRI.
- Análisis y evaluación de secciones y áreas que serán inundadas cuando el cauce principal adquiera caudales máximos para un período de retorno de 100 años y un tiempo de duración de lluvia de 30 minutos.

3) UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1) Ubicación Geográfica

El área de estudio está conformado por el globo de terreno de 32 Ha + 4,147 m² + 13.16 dc² ubicado en el sector de Gonzalillo, entre los corregimientos de Alcalde Díaz y Ernesto Córdoba Campos, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá, República de Panamá (Ver Figura 1).

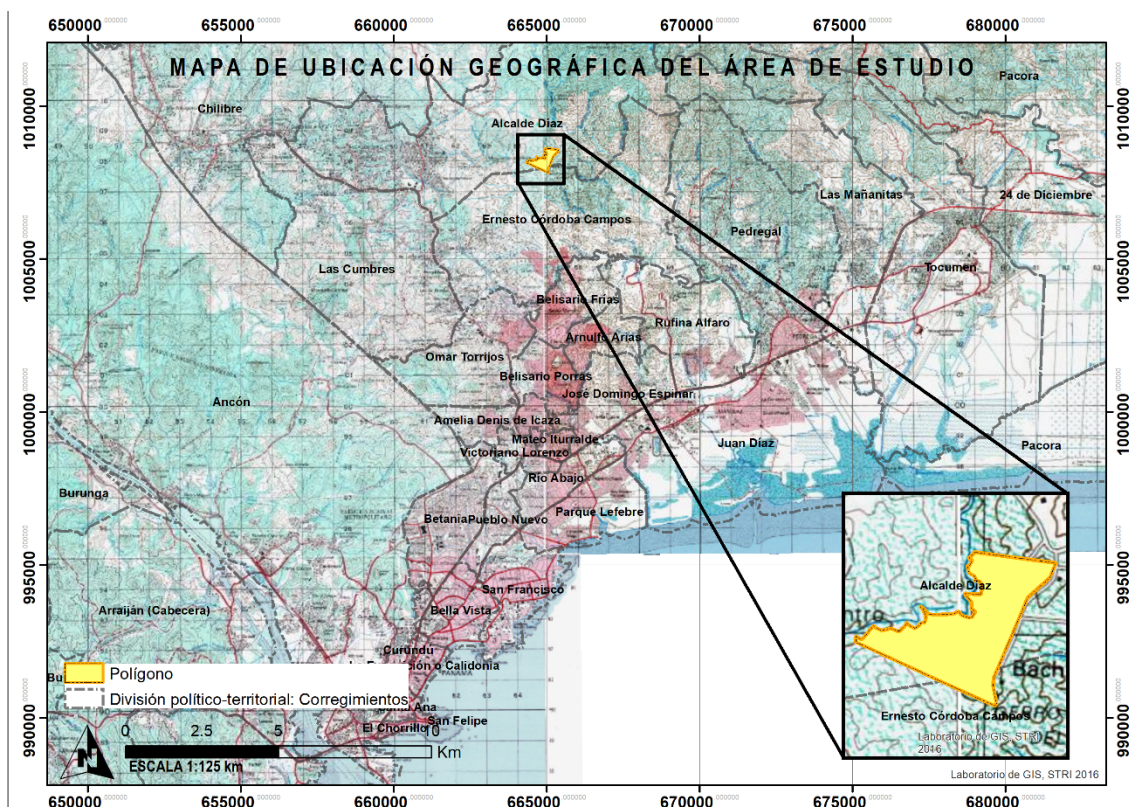


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Fuente: Equipo Consultor, con base en Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” y ArcGIS (ESRI), 2024.

Las coordenadas que componen el área de estudio son las siguientes:

Tabla 1. Coordenadas del polígono de estudio. Datum WGS84. Zona 17N.

VERTICE	ESTE	NORTE	VERTICE	ESTE	NORTE
1	664950.55	1008632.40	59	664709.62	1008308.73
2	665377.93	1008574.66	60	664733.19	1008304.49
3	665344.66	1008497.07	61	664770.62	1008305.43
4	665229.58	1008393.05	62	664792.83	1008306.46
5	665216.61	1008362.70	63	664800.61	1008306.67
6	665138.48	1008177.23	64	664810.77	1008305.81
7	665079.30	1008037.22	65	664810.78	1008305.92
8	665052.47	1007978.02	66	664838.28	1008308.44
9	665048.68	1007932.56	67	664846.21	1008311.37
10	665066.27	1007835.94	68	664855.57	1008315.82
11	665059.12	1007826.79	69	664863.61	1008319.17
12	665021.31	1007843.93	70	664866.89	1008320.04
13	664762.29	1007961.28	71	664871.13	1008316.34
14	664329.84	1008160.49	72	664876.62	1008308.54
15	664331.08	1008162.13	73	664883.64	1008301.61
16	664329.85	1008189.94	74	664889.72	1008297.77
17	664355.00	1008175.61	75	664917.95	1008290.23

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EslA Colinas del Norte

18	664360.39	1008175.58	76	664917.36	1008290.26
19	664370.93	1008184.55	77	664922.55	1008288.77
20	664375.49	1008189.90	78	664938.71	1008292.00
21	664384.55	1008200.36	79	664953.88	1008318.47
22	664394.96	1008213.90	80	664933.97	1008337.77
23	664398.63	1008220.30	81	664937.00	1008349.96
24	664406.01	1008227.75	82	664935.41	1008372.14
25	664417.38	1008240.89	83	664915.01	1008395.09
26	664422.36	1008245.56	84	664913.00	1008396.53
27	664423.60	1008245.11	85	664908.08	1008401.81
28	664434.77	1008236.17	86	664902.65	1008409.12
29	664465.51	1008221.80	87	664899.00	1008413.73
30	664475.47	1008222.91	88	664902.56	1008414.85
31	664494.55	1008228.03	89	664905.87	1008416.23
32	664502.82	1008230.60	90	664906.10	1008416.26
33	664510.68	1008231.17	91	664907.69	1008416.14
34	664522.68	1008228.97	92	664912.59	1008415.11
35	664524.85	1008228.19	93	664926.92	1008413.82
36	664531.71	1008224.58	94	664945.32	1008412.47
37	664543.46	1008220.03	95	664966.89	1008410.54
38	664559.48	1008220.17	96	664985.87	1008413.26
39	664579.15	1008237.99	97	664989.89	1008441.42
40	664592.05	1008254.65	98	664990.99	1008454.13
41	664594.83	1008264.45	99	664987.09	1008465.89
42	664599.65	1008256.88	100	664977.04	1008480.17
43	664610.93	1008248.22	101	664953.54	1008482.80
44	664621.38	1008241.58	102	664956.15	1008493.60
45	664638.41	1008233.82	103	664948.16	1008508.20
46	664650.06	1008240.01	104	664937.23	1008514.96
47	664653.91	1008243.50	105	664925.35	1008520.15
48	664662.45	1008247.05	106	664921.78	1008524.41
49	664669.12	1008259.86	107	664921.03	1008527.40
50	664690.72	1008263.99	108	664918.59	1008541.78
51	664695.51	1008280.72	109	664916.00	1008551.43
52	664697.50	1008294.12	110	664914.11	1008557.40
53	664683.14	1008330.07	111	664914.78	1008559.71
54	664668.26	1008344.21	112	664924.28	1008560.65
55	664668.34	1008345.33	113	664939.16	1008587.69
56	664669.53	1008347.81	114	664920.87	1008600.58
57	664670.93	1008346.80	115	664931.57	1008609.74
58	664690.47	1008328.36	116	664950.14	1008629.41

Fuente: Equipo Consultor, 2024.

3.2) Ubicación Hidrográfica

El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica No. 144 conocida como “Cuenca Hidrográfica del Río Juan Díaz y Entre Río Juan Díaz y Río Pacora”; específicamente al sureste de la misma. El cuerpo de agua principal de esta cuenca es el río Juan Díaz. (Ver Figura 2).

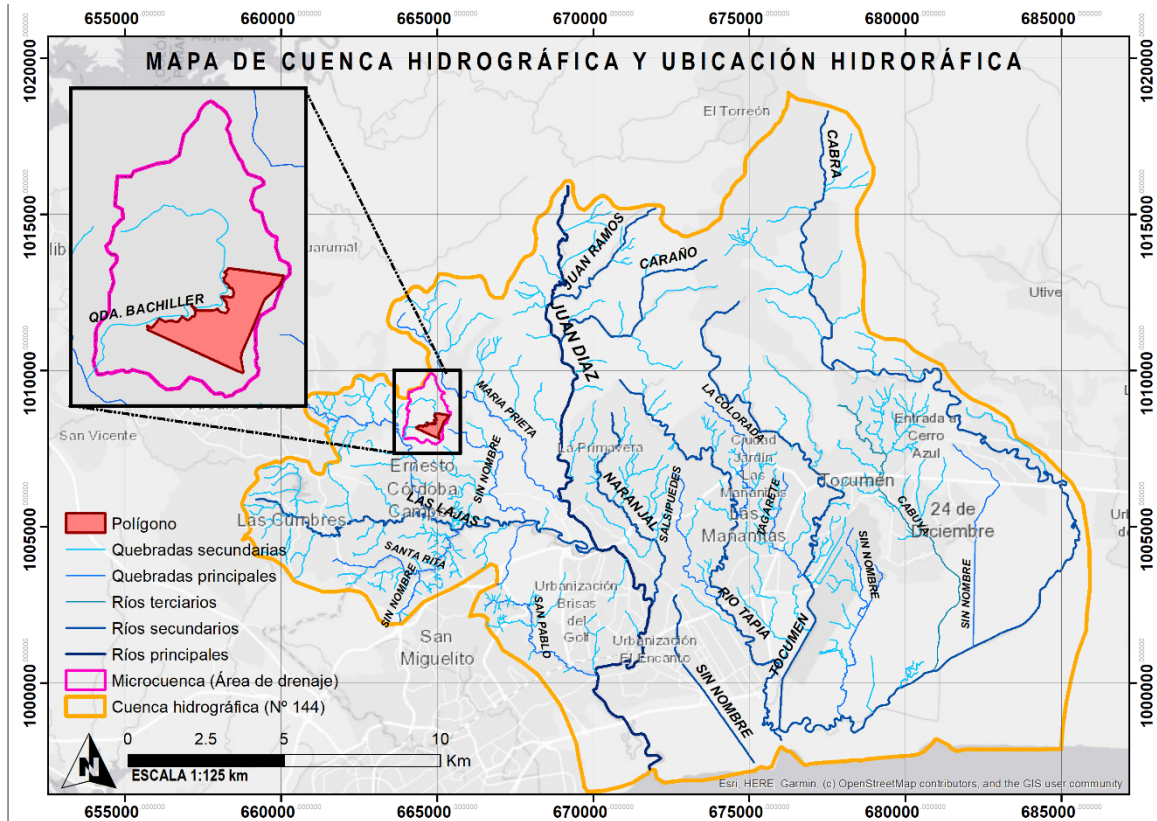


Figura 2. Ubicación hidrográfica del área de estudio.
Fuente: Equipo Consultor, con base en ArcGIS (ESRI), 2024.

Como se observa en la imagen anterior, la Quebrada Bachiller forma parte de la red de quebradas secundarias del sistema hidrográfico nacional, mientras que el Río María Henríquez, de la red de ríos terciarios. Por su parte el Río Las Lajas, es parte de la red de ríos secundarios y, por supuesto, el Río Juan Díaz es parte de la red de ríos primarios y, por ende, recibe aproximadamente el 50% de la escorrentía total de toda la cuenca.

El polígono de estudio se localiza específicamente hacia el norte de la subcuenca o región hidrográfica del Río Las Lajas, donde vierte sus aguas al Río María Henríquez, quien es a su vez vertiente de la Quebrada Bachiller, objeto de este estudio. (Ver Figura 3).

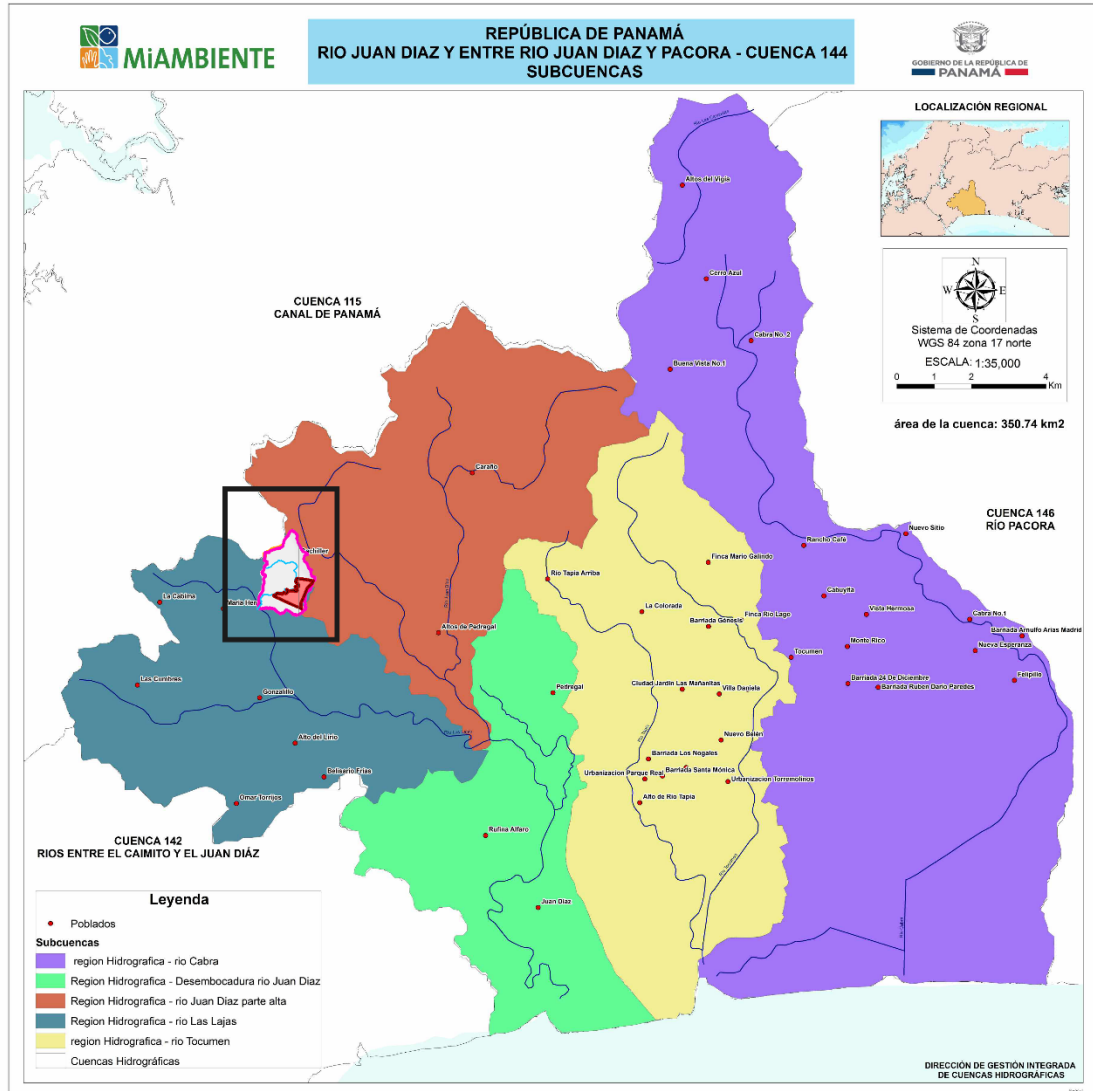


Figura 3. Ubicación del área de estudio en la subcuenca (Región Hidrográfica – Río Las Lajas).

Fuente: Equipo Consultor, con base en MIAMBIENTE, 2020.

La quebrada a estudiar, denominada Quebrada Bachiller, pasa cerca del borde oeste del polígono del proyecto, drenando de norte a sur. Es importante destacar que el proyecto cuenta con una servidumbre de protección ambiental para todo el segmento de la Quebrada Bachiller que atraviesa las fincas del promotor (20 metros de lado y lado del cauce), aprobado por el Ministerio de Obras Públicas

por medio del “*Análisis Hidrológico de la Quebrada María Henríquez, Quebrada Bachiller y Río María Henríquez*”, con fecha abril 2022, y desarrollado por la empresa Ingeniería Avanzada, S.A.

La Quebrada Bachiller se extiende en aproximadamente 3,790.63 metros de recorrido (3.79 km) hasta verter sus aguas en el Río María Henríquez. Esta nace en aproximadamente sobre los 149 msnm hacia el norte del polígono, en áreas montañosas, y se une al río María Henríquez hacia el sur del polígono, sobre los 78 msnm.

4) CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1) Condiciones Hidrográficas e Hidrológicas

La microcuenca de la Quebrada Bachiller, que pasa muy cerca del norte oeste el área de estudio, es parte de la Subcuenca del Río Las Lajas, la cual a su vez se ubica en la cuenca hidrográfica No. 144, conocida como Cuenca Hidrográfica del Río Juan Díaz y Entre Río Juan Díaz y Río Pacora. Esta cuenca está ubicada hacia el sudeste de la provincia de Panamá, nace en Cerro Azul, a una altitud de 691 msnm y desemboca en la bahía de Panamá. Sus principales afluentes son los ríos Las Lajas, María Prieta, Naranjal, Palomo, la Quebrada Espavé y la Quebrada Malagueto.

La cuenca tiene un área de drenaje de 149.97 km², siendo la cuenca hidrográfica más grande de las que atraviesan el distrito de Panamá en la dirección Norte-Sur. La topografía de la cuenca es accidentada con una pendiente media del 12.8%, estando el relieve compuesto por colinas y cerros bajos, tales como Cerro Bartolo, Cerro Santa Cruz, Cerro El Brujo, Cerro Batea, Cerro Viento y Cerro Bandera. Tiene numerosas cascadas en la cuenca alta, lo cual favorece el rápido escurrimiento de las aguas superficiales y los consecuentes bajos tiempos de concentración.

Una característica importante de esta cuenca es la formación de meandros en su parte baja debido a la erosión y deposición de sedimentos. Aunque en su parte alta existe aún vegetación abundante, la cuenca sufre un proceso acelerado de urbanización, contando en la actualidad un área urbanizada de

22% del área total de la cuenca. Este rápido proceso de urbanización causa impactos importantes sobre la hidrología de la cuenca, ya que se disminuye el área de bosque, reemplazándola por áreas impermeables de viviendas, carreteras e instalaciones industriales, lo que aumentan el coeficiente de escurrimiento superficial, disminuyendo el tiempo de concentración y, por lo tanto, aumentando los caudales pico con los consiguientes problemas de inundaciones. (BID & Universidad de Cantabria, 2016).

Por su parte, la Quebrada Bachiller, cuenta con una longitud total de más de 3.79 km lineales de recorrido, y tiene un área de drenaje de la microcuenca de aproximadamente 215.22 hectáreas (2.15 km²). (Ver Figura 4).

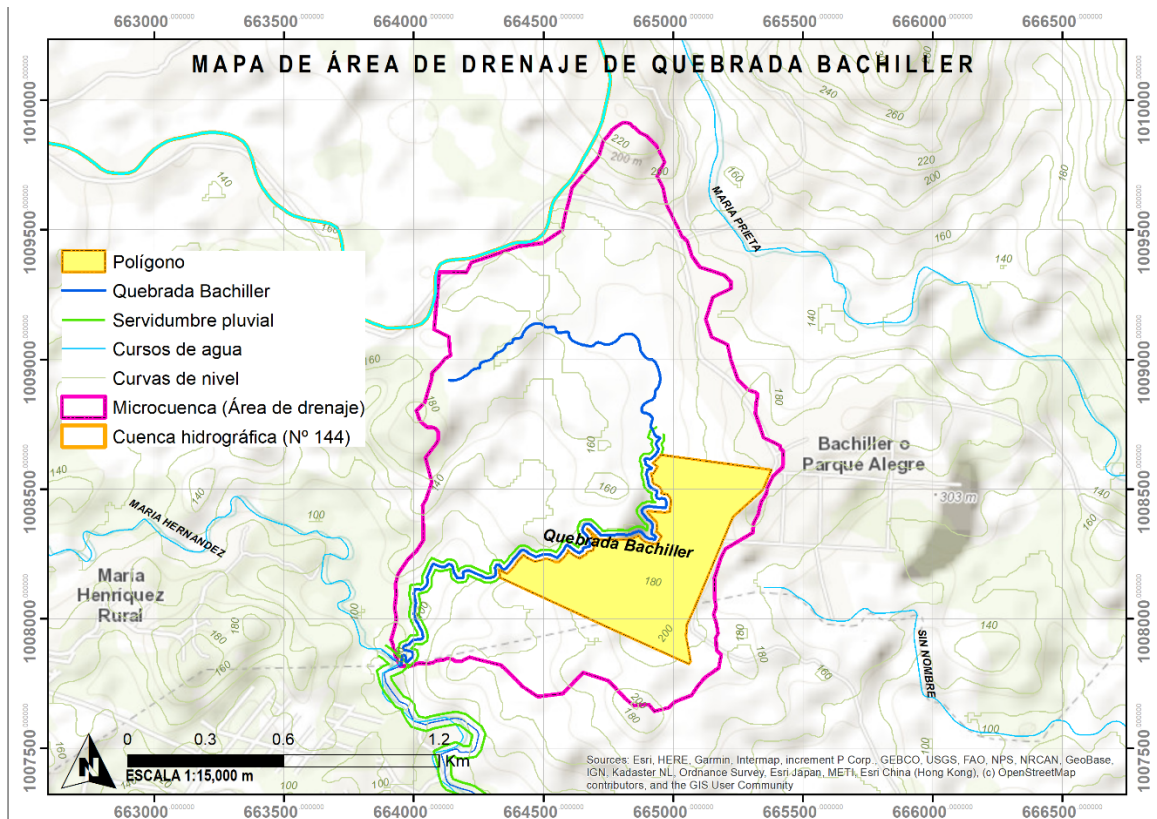


Figura 3. Área de drenaje de la microcuenca de la Quebrada Bachiller.
Fuente: Equipo Consultor, con base en ArcGIS (ESRI), 2024.

4.5) Condiciones Climáticas y Meteorológicas

En general, los factores que explican las diferencias del clima en el país están dados por la posición relativa de los vientos predominantes, la cercanía del mar

y la altura sobre el nivel del mar determinado por la orografía. Dada su posición latitudinal, la zona de estudio se encuentra en la región tropical, que le confieren un carácter según el sistema de clasificación de Vladimir Köppen como clima Húmedo Tropical y clima Tropical de Sabana.

El clima en general se caracteriza por poseer una época lluviosa y una época seca al año, con depresiones térmicas originadas por la acción de diferentes parámetros micro-climáticos, como lo es la disminución de la humedad.

La época lluviosa se caracteriza por abundantes precipitaciones, de intensidad entre moderada a fuerte, acompañadas de actividad eléctrica que ocurren especialmente en horas de la tarde. Ésta es estable en el mes de mayo y dura hasta mediados de noviembre, siendo los meses de septiembre y octubre los más lluviosos. La época seca se presenta de diciembre hasta abril, siendo marzo el mes más seco en la zona.

La lluvia en la zona, como característica de los países tropicales y por las condiciones topográficas, muestra grandes variaciones de un lugar a otro y amplias oscilaciones a través del tiempo. Desde el punto de vista meteorológico, hay dos estaciones y dos transiciones durante el curso del año. El 90% de la cantidad anual de lluvia cae durante la estación lluviosa y los dos períodos de transiciones (transición seca-lluviosa y lluviosa-seca).

Las Figuras 4 y 5 muestran valores de precipitación promedio anual entre las estaciones meteorológicas de Las Cumbres y Cerro Azul, ambas pertenecientes a la cuenca hidrográfica N°144. Esto, de modo que se entienda la variación entre los meses en los cuales se presentan los mayores y menores aportes de lluvia en el área de estudio.

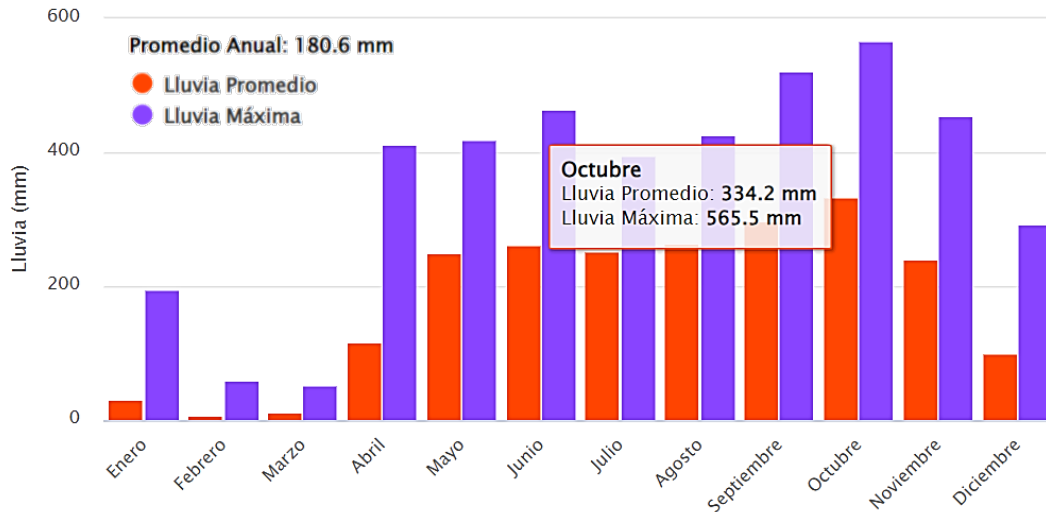


Figura 4. Promedio de lluvia anual - Estación Las Cumbres.
Fuente: IMHPA, 2024.

A partir de los datos históricos evaluados en la Estación Meteorológica de Las Cumbres se tiene que el promedio anual de precipitación para el área de estudio ronda los 180.6 mm, siendo el mes de octubre el que mayores niveles promedios alcanza, con 334.2 mm, y asimismo el que registra los niveles máximos de lluvia, con 556.5 mm.

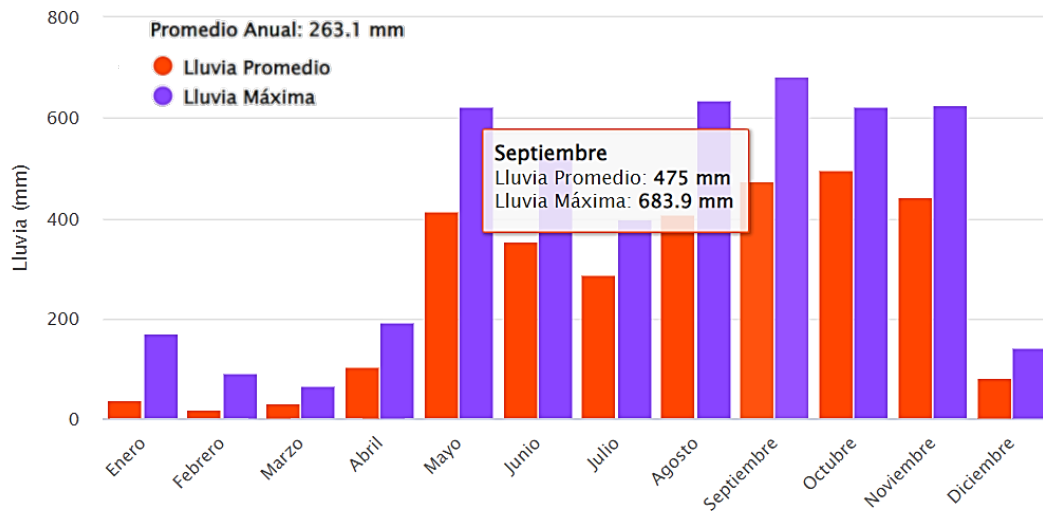


Figura 5. Promedio de lluvia anual – Estación Cerro Azul.
Fuente: IMHPA, 2024.

En cuanto a los datos históricos evaluados en la Estación Meteorológica de Cerro Azul se tiene que el promedio anual de precipitación para el área de estudio ronda los 263.1 mm, siendo el mes de octubre el que mayores niveles promedios

alcanza, con 497.2 mm, mientras que es el mes de septiembre el que registra los niveles máximos de lluvia, con 683.9 mm.

5) ESTIMACIÓN HIDROLÓGICA DE CAUDALES

Para la estimación del caudal de escorrentía superficial de la microcuenca de la Quebrada Bachiller, se consideró la aplicación del Método Racional en virtud de que el área de drenaje es menor de 250 Hectáreas, que corresponden al máximo de área para este tipo de análisis, establecido por el Ministerio de Obras Públicas. Al respecto, se siguieron y cumplieron todos los parámetros estipulados en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 que aprueba el Manual de Requisitos de Revisión de Planos del MOP.

5.1) Caudales Máximos de Escorrentía

El Método Racional permite estimar la escorrentía de la cuenca hidrográfica mediante la expresión 1:

$$Q = C \cdot I \cdot A / 360 \quad (1)$$

Dónde:

Q= caudal en m³/seg.

C= coeficiente de escorrentía, el cual varía según las características del terreno, forma de la cuenca y previsión de desarrollos futuros.

I= intensidad de lluvia en mm/hora.

A= área de drenaje la micro-cuenca en hectáreas.

El coeficiente de escorrentía (C) a utilizar será igual a 0.75 el cual es exigido por el Ministerio de Obras Públicas para áreas rurales y de bajo crecimiento, considerando que el área de estudio no cuenta con desarrollos urbanísticos aledaños actualmente y que, a futuro, únicamente se ubicará el proyecto “Colinas del Norte” en la zona.

Adicionalmente, el manual del MOP indica que este coeficiente de escorrentía, varía de acuerdo con las características del terreno y forma de la cuenca, y en este sentido, el área de drenaje de la quebrada Bachiller se caracteriza por una

vegetación moderadamente densa, pendientes suaves y suelos francos (ver Estudio de Impacto Ambiental), considerados suelos permeables.

Estos datos han sido levantados en campo y contrastados a través de un procesamiento digital. Los mismos están detallados en la tabla siguiente (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Datos generales de la Quebrada Bachiller para estimación de caudal de escorrentía

Longitud (L) (m)	Altitud inicial (m)	Altitud final (m)	Diferencia Altitudinal (H) (m)	Coef. de Escorrentía (C)	Pendiente (S)	Área (A) (Ha)
3,790.63	149.00	78.00	71.00	0.75	0.01873	215.22

Fuente: Equipo Consultor, 2024.

La estimación de caudales máximos de crecida se ha realizado para el período de retorno de 100 años, con un tiempo de duración de lluvia de 30 minutos. Para la estimación de los caudales de escorrentía de la quebrada, la intensidad de lluvia se ha estimado las fórmulas tomadas del manual del MOP según la curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) correspondiente a la Cuenca Hidrográfica del Río Juan Díaz y Entre Río Juan Díaz y Río Pacora. Por lo cual, se tiene que la intensidad de lluvia para el período de retorno de 100 años es

$$I = a / (d + b)$$

Donde:

i = Intensidad de lluvia, en mm/hr

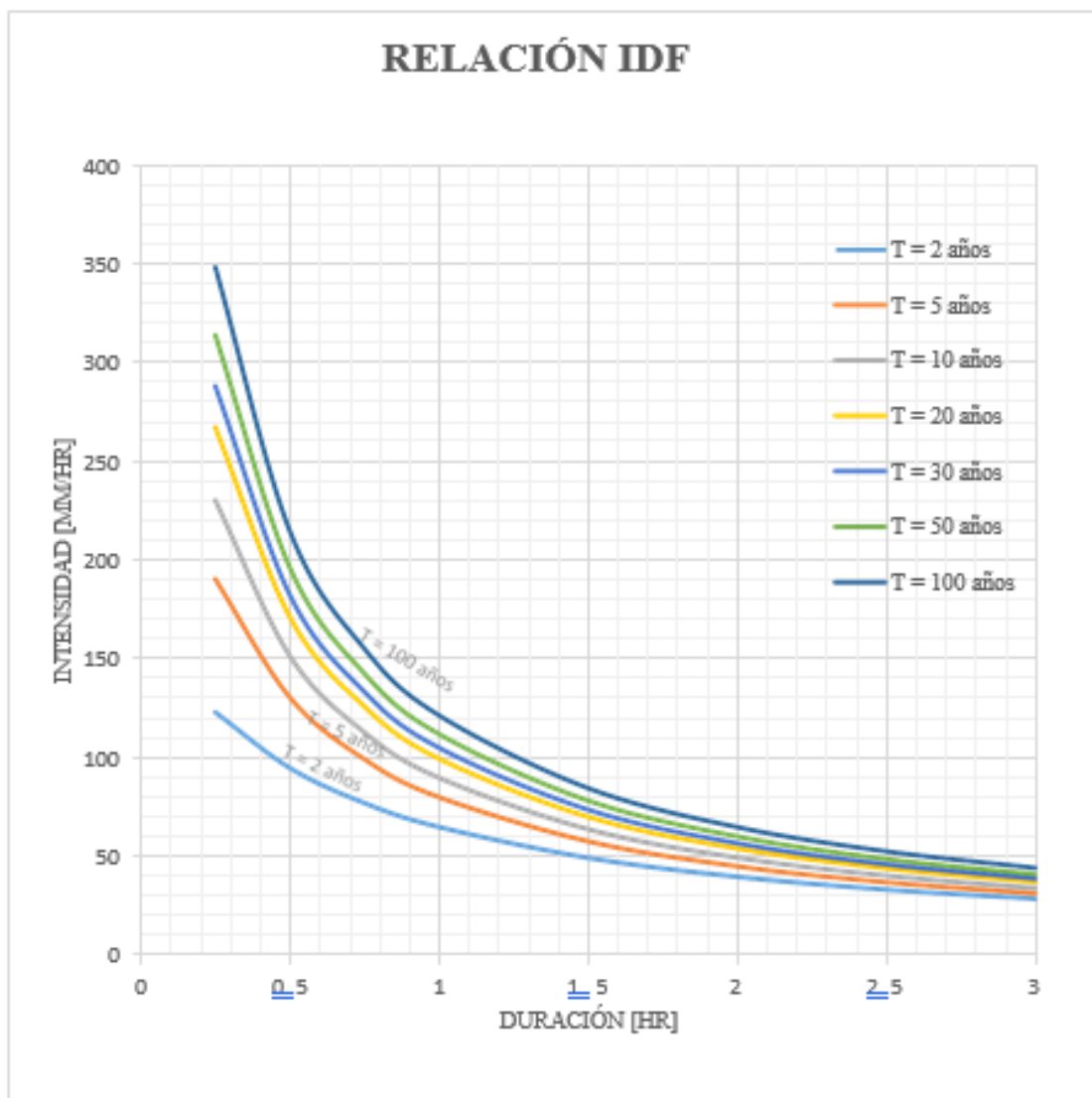
a = Cantidad total de lluvia, en mm

d = Tiempo de duración de lluvia, en hr

b = Tiempo de concentración de lluvia, en hr

La fórmula anterior se utiliza para calcular la intensidad de la lluvia (I) en milímetros por hora (mm/hr), donde **a** es la cantidad total de lluvia en milímetros, **d** es el tiempo de duración de la lluvia en horas y **b** es el tiempo de concentración, que representa el tiempo necesario para que el agua alcance un punto específico

tras comenzar a llover. La intensidad de la lluvia mide cuán fuerte es la precipitación en un periodo determinado. (Ver Figura 6).



Gráfica 4. 12: 144 - Relación Intensidad Duración Frecuencia

Tabla 4. 30: Ecuación de Intensidad Relación Frecuencia para Eventos con Duración d en Horas de cuenca del río Juan Díaz y ríos entre el Juan Díaz y el Pacora

	$i = \frac{a}{d + b}$						
T [años]	2	5	10	20	30	50	100
a [mm]	103.834	103.939	111.036	119.281	124.364	130.940	140.081
b [hr]	0.593	0.296	0.232	0.197	0.182	0.168	0.153
R ²	97.67%	97.84%	97.89%	97.91%	97.92%	97.92%	97.93%

Figura 6. Curvas de Intensidad- Duración-Frecuencia (IDF) de la Cuenca Hidrográfica del Río Juan Díaz y Entre Río Juan Díaz y Río Pacora.

Fuente: MOP, 2021.

De todo lo anterior, se han obtenido los caudales máximos de inundación para los períodos de retorno anteriormente descritos. La Tabla 3, muestra los resultados obtenidos en el cálculo del caudal para un período de retorno de 100 años, una duración de lluvia de 30 minutos (0.50 horas), un coeficiente de escorrentía de 0.75 y un área de drenaje de 215.22 hectáreas.

Tabla 3. Resultados de Cálculos Hidrológicos de la Quebrada Bachiller.
Período de retorno 1:100 años.

Área de drenaje (A) (Ha)	Coef de escorrentía (c)	Cantidad total de lluvia (a)	Tiempo de Concentración (b) (Hrs)	Tiempo de duración lluvia (d) (Hrs)	Intensidad (i) para 100 años (mm/hr)	Caudal para 100 años (Q) (m ³ /s)
215.22	0.75	140.081	0.153	0.5	214.52	96.1850

Fuente: Equipo Consultor, 2018.

Por tanto, se tiene que con los datos obtenidos de análisis, la intensidad de lluvia sería de 214.52 mm/hr en dicho período de retorno, y que el caudal Q resultante de la aplicación del Método Racional ($Q = C \cdot I \cdot A / 360$), es de 96.1850 m³/s.

En el contexto de este análisis de inundación, el caudal de 96.1850 m³/s se refiere a la cantidad de agua que fluirá por la quebrada Bachiller durante un evento de inundación con período de retorno de 100 años. Este parámetro es crucial, ya que ayuda a determinar la magnitud de la escorrentía y el potencial de inundación en el proyecto y áreas adyacentes.

Este caudal se utilizará, por tanto, para modelar la propagación de la inundación, evaluar la capacidad de la topografía natural y la terracería desarrollada por el proyecto para mitigar el riesgo de posibles inundaciones en la zona.

5.2) Modelo Hidráulico

Para la estimación de los niveles de crecida de la Quebrada Bachiller correspondiente a los caudales hidrológicos con el período de retorno de 1:100

años, se levantaron secciones a lo largo del tramo del sistema fluvial de la quebrada, a cada 20 metros de separación.

Esto dio como resultado un total de ciento veintiún (121) secciones transversales (Ver Figura 7). Todo esto fue realizado mediante el procesamiento del levantamiento topográfico efectuado y la georreferenciación de datos realizada a través del Sistema de información Geográfica ArcGIS.

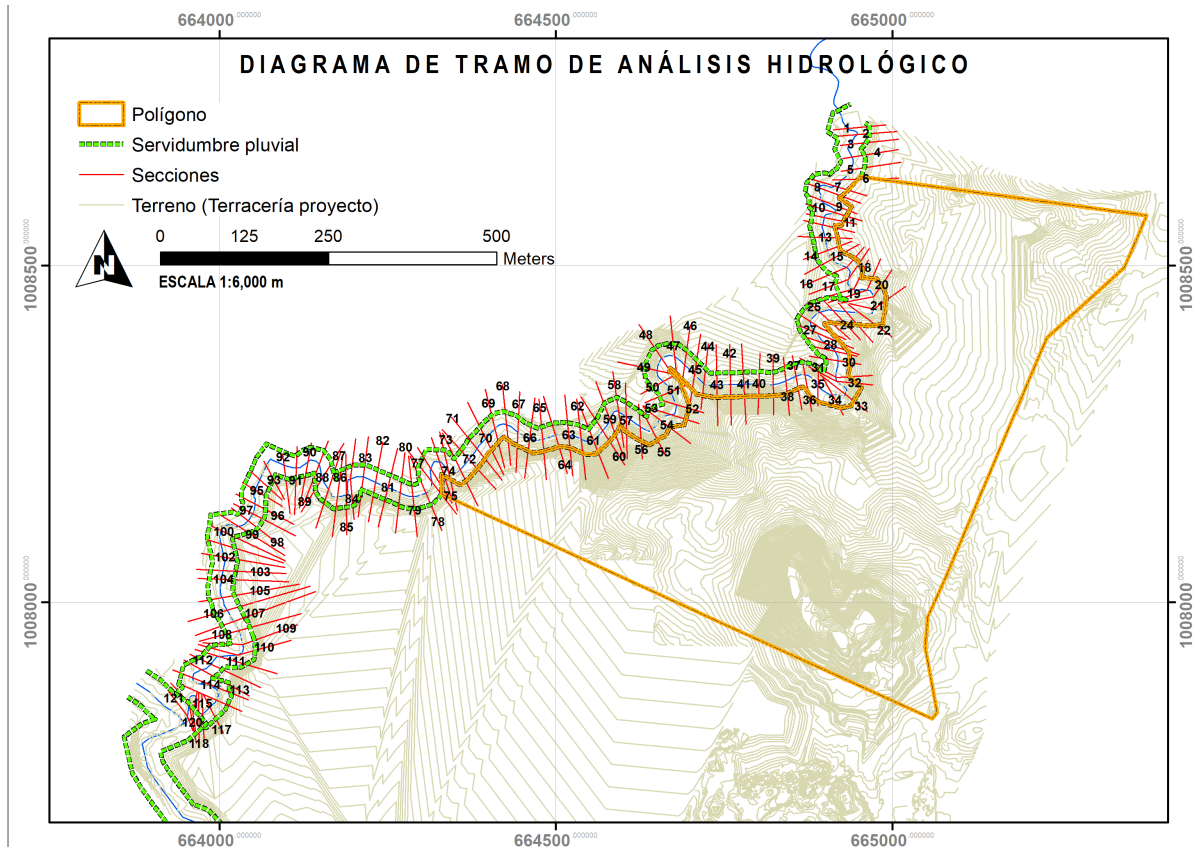


Figura 7. Tramo del sistema fluvial de la Quebrada Bachiller.
Fuente: Equipo Consultor, 2024.

Cabe destacar que el análisis hidrológico abarcó tanto las áreas directamente colindantes del polígono de terreno (desde la sección 1 hasta la sección 79), como las áreas aguas abajo que mantienen y soportan el caudal calculado pero que no corresponden a colindancia directa entre la rivera de quebrada y el polígono de estudio (desde la sección 80 hasta la sección 121, donde se une la quebrada Bachiller al río María Henríquez).

Adicionalmente, es importante mencionar que la simulación se basó en un flujo constante, empleando el caudal de 96.1850 m³/s para todas las estaciones (secciones) para el análisis de inundación.

Para los cálculos de comportamiento de flujo y áreas inundables en el área de estudio se empleó el software de ingeniería hidráulica HEC-RAS, versión 6.6, considerando un Coeficiente de Rugosidad (o de Manning) de 0.035, que es el correspondiente a corrientes naturales sinuosos, con algunos charcos y escollos limpios, muy característico de la quebrada analizada (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes de rugosidad (Manning) según descripción de la corriente.

Superficie	Condiciones			
	Perfectas	Buenas	Regulares	Malas
Canales y Zanjas				
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra, enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
Corrientes naturales				
1. Limpios, bordos rectos, llanos, sin hendiduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Igual a 1, pero con algo de hierbas y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Igual a 3, de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Igual a 3, algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Igual a 4, secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Cauces muy enhierbados	0.075	0.100	0.125	0.150

* Valores corrientemente usados en la práctica.

Fuente: Ciancaglini, N. 1966.

Asimismo, se ha asumido para todo el tramo analizado, una pendiente normal de 0.01873 o 1.87%, calculada a partir de la longitud del curso de agua (3,790.63 Metros), la cota donde nace el cauce (149 msnm) y la cota en la que se une al río María Henríquez (78 msnm), resultando una diferencia altitudinal de 71 m.

Las corridas se hicieron para un período de retorno de 100 años, empleando dos escenarios: el primero, bajo las condiciones actuales del terreno, donde se analiza el impacto de las zonas inundadas sobre el sitio tal y como se encuentra al día de hoy; y el segundo, con la terracería implantada en las áreas intervenidas, donde se evidencian posibles zonas a inundarse tras las

modificaciones que hagan al terreno natural. Ambas topografías han sido proporcionadas por el promotor del proyecto. Cabe mencionar que las áreas intervenidas que no corresponden al polígono que forma parte de la evaluación ambiental en curso ya cuentan con su herramienta de evaluación ambiental correspondiente aprobada por MIAMBIENTE.

5.3) Resultados de la Simulación

Para el análisis de crecidas máximas de la Quebrada Bachiller, se debe entender que este cuerpo es un aporte independiente o afluente del Río María Henríquez y que su nacimiento se encuentra a aproximadamente 1,230 metros al norte, fuera del polígono, en zona montañosa.

Para evitar inundaciones en áreas aprovechables dentro del área de estudio, se recomienda colocar los niveles de terracería 1.50 m sobre la elevación de agua, a partir del nivel máximo del agua según el caudal obtenido para el escenario de 100 años, esto considerando que es un nivel más seguro para el desarrollo del proyecto.

Para entender los resultados del análisis de inundación sobre el terreno natural (Escenario 1) y sobre la terracería implantada (Escenario 2), se debe considerar lo siguiente:

- **Min Ch El (Elevación Mínima del Canal):** Elevación más baja en el perfil del canal, medida en metros. Representa el punto más bajo del lecho del canal.
- **W.S. Elev (Elevación de la Superficie del Agua):** Altura de la superficie del agua en el canal, medida en metros. Indica a qué nivel se encuentra el agua en comparación con el lecho del canal.
- **Crit W.S. (Elevación del Agua Crítica):** Nivel de agua crítico, que se refiere a la altura a la cual se produce el cambio en el régimen de flujo, generalmente entre flujo subcrítico y supercrítico.
- **E.G. Elev (Elevación de la Línea de Energía):** Representa la altura total de energía en el flujo, que incluye la energía potencial y cinética, medida en metros.

- **E.G. Slope (Pendiente de la Línea de Energía):** Tasa de cambio de la elevación de la línea de energía a lo largo de la canal, expresada en metros por metro (m/m). Indica la inclinación de la línea de energía.
- **Vel Chnl (Velocidad del Canal):** Velocidad del flujo de agua en el canal, medida en metros por segundo (m/s). Proporciona información sobre la rapidez del flujo.
- **Flow Area (Área de Flujo):** Área a través de la cual fluye el agua en el canal, medida en metros cuadrados (m²). Es importante para calcular el caudal.
- **Top Width (Ancho Superior):** Ancho de la superficie del agua en la parte superior del flujo, medida en metros. Este valor es relevante para entender la extensión de la inundación.
- **Froude # Chl (Número de Froude del Canal):** Un número adimensional que indica la relación entre la velocidad del flujo y la gravedad. Un valor mayor que 1 indica flujo supercrítico, mientras que un valor menor que 1 indica flujo subcrítico.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos de la simulación para un período de retorno de 100 años, una temporalidad de lluvia de 30 minutos, y se realiza sobre el terreno natural del sitio como para la terracería implantada (Ver Tablas 6 y 7):

Tabla 6. Resultados de simulación de TR=100 años, para el terreno natural, Quebrada Bachiller.

Sección	Estación	Q Total (m3/s)	Elev Mínima del Canal (m)	Elev Superficie de agua (m)	Elev del agua crítica (m)	Elev de línea de energía (m)	Pendiente de línea de energía (m/m)	Velocidad del canal (m/s)	Área de flujo (m2)	Ancho superior (m)	# Froude del canal
1	2434.116	96.18	126	127.7	126.79	127.77	0.000946	1.25	86.77	60.13	0.31
2	2414.116	96.18	126	127.68		127.75	0.000938	1.24	85.91	58.91	0.3
3	2394.557	96.18	126	127.61		127.72	0.001692	1.62	66.18	46.51	0.41
4	2374.146	96.18	126	127.13	127.13	127.61	0.012355	3.44	31.67	33.21	1.03
5	2354.276	96.18	124	127.22	125.79	127.33	0.00087	1.75	68.78	33.91	0.32
6	2334.455	96.18	124.86	127.18		127.31	0.001432	1.83	62.31	36.2	0.39
7	2319.627	96.18	125	127.2		127.27	0.00077	1.34	84.82	52.68	0.29
8	2294.192	96.18	124.09	127.19		127.26	0.00065	1.41	88.27	49.21	0.27
9	2274.116	96.18	124	127.19		127.24	0.000468	1.11	95.7	45.82	0.23
10	2243.277	96.18	125	127.12		127.22	0.001201	1.44	69.83	41.67	0.33
11	2224.326	96.18	125	126.95		127.18	0.003192	2.52	47.1	34.22	0.58
12	2213.27	96.18	125	126.83		127.13	0.004275	2.79	41.15	30.41	0.66
13	2193.827	96.18	124.04	126.35	126.35	126.99	0.007839	4.07	30.47	25.52	0.9
14	2174.116	96.18	123.39	125.47	125.89	126.72	0.016683	5.35	21.64	20.11	1.27
15	2158.965	96.18	123	124.64	125.23	126.34	0.02966	6.19	18.25	19.8	1.64
16	2134.547	96.18	123	124.46	124.84	125.59	0.019771	5.1	22.49	24.34	1.36
17	2114.537	96.18	123	124	124.39	125.12	0.029977	4.89	20.86	23.76	1.57
18	2095.698	96.18	123	123.76	123.99	124.41	0.03102	4.19	28.3	54.4	1.54
19	2074.116	96.18	123	123.61	123.5	123.82	0.008153	1.84	47.34	67.07	0.75
20	2057.993	96.18	122.76	123.26	123.26	123.63	0.012943	1.63	36.37	49.64	0.87
21	2040.121	96.18	121.95	123.18	122.67	123.36	0.002751	1.17	52.44	39.26	0.45
22	2014.116	96.18	121	123.01		123.25	0.003325	2.11	44.43	27.98	0.56

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

23	1994.116	96.18	121	122.99		123.18	0.002286	2.03	51.08	32.3	0.48
24	1974.116	96.18	121	122.5	122.5	123.06	0.009383	3.43	30.64	29.69	0.93
25	1954.116	96.18	120.57	121.84	122.14	122.73	0.02548	4.6	24.57	33.24	1.44
26	1934.116	96.18	120	120.55	120.9	121.81	0.086041	5.14	19.34	42.04	2.35
27	1914.116	96.18	119	120.82	120.22	120.92	0.00158	1.57	74.57	64.25	0.39
28	1894.116	96.18	119	120.8		120.89	0.001194	1.39	76.59	56.36	0.34
29	1874.116	96.18	119	120.51	120.3	120.82	0.005766	2.67	40.07	37.1	0.73
30	1859.127	96.18	119	120.15	120.15	120.66	0.011419	3.36	31.03	31.68	1
31	1834.333	96.18	117.47	118.6	119.09	120.09	0.045278	5.64	18.07	22.76	1.9
32	1828.158	96.18	117	118.1	118.59	119.77	0.05448	5.77	17.21	24.39	2.05
33	1800.586	96.18	117	118.58	118.08	118.75	0.002647	1.91	53.71	41.04	0.5
34	1779.612	96.18	117	118.12	118.12	118.6	0.012383	3.1	31.22	33.25	1
35	1753.755	96.18	115.91	117.08	117.38	118.08	0.02856	4.75	23.33	34.62	1.53
36	1728.058	96.18	115	117.31	116.59	117.46	0.002008	1.99	57.88	40.46	0.44
37	1714.116	96.18	115	117.23		117.43	0.002432	2.14	49.4	31.81	0.49
38	1697.732	96.18	115	116.65	116.65	117.31	0.009245	3.75	27.92	22.32	0.94
39	1678.006	96.18	114.06	115.85	116.17	117	0.02027	5	20.82	17.4	1.34
40	1656.9	96.18	113	115.87	115.87	116.67	0.009091	4.07	25.4	16.53	0.92
41	1634.116	96.18	113	114.34	114.93	116.19	0.041016	6.36	16.47	16.62	1.86
42	1614.116	96.18	113	115.37	114.8	115.6	0.002611	2.34	48	32.09	0.52
43	1594.116	96.18	113	114.75	114.75	115.46	0.010067	3.89	26.78	19.98	0.97
44	1574.116	96.18	111	112.96	113.63	114.98	0.034404	6.3	15.28	10.49	1.67
45	1554.116	96.18	111	112.59	113.08	114.17	0.033564	5.57	17.25	15.04	1.66
46	1534.116	96.18	110.5	111.39	111.84	113.11	0.093666	6.33	16.95	32.99	2.57
47	1514.116	96.18	110	110.72	111	111.64	0.03906	3.8	22.93	35.75	1.63
48	1494.116	96.18	109.52	110.77	110.53	111.07	0.005861	2.12	40.23	34.19	0.69
49	1474.116	96.18	108.95	110.53		110.93	0.006366	2.83	34.39	23.28	0.75

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

50	1454.288	96.18	108	110.67		110.8	0.0014	1.81	63.27	44.06	0.39
51	1434.802	96.18	107	109.82	109.81	110.67	0.01135	4.09	23.54	13.86	1
52	1414.116	96.18	107	109.6	109.6	110.44	0.010891	4.08	24	15.14	0.96
53	1394.116	96.18	107	108.04	108.61	109.92	0.051918	6.08	15.83	16.85	2
54	1374.116	96.18	105	106.75	107.44	108.91	0.046655	6.52	14.75	12.49	1.92
55	1354.116	96.18	105	107.53	107.53	108.33	0.011488	3.96	24.28	15.48	1.01
56	1334.116	96.18	105	107.4	106.54	107.63	0.002019	2.17	46.77	25.07	0.46
57	1308.727	96.18	104.59	106.83	106.83	107.49	0.011472	3.6	26.73	20.27	1
58	1295.148	96.18	104	106.16	106.32	107.27	0.015228	4.65	20.66	11.81	1.12
59	1274.116	96.18	103	104.87	105.46	106.71	0.039021	6.01	16.02	13.62	1.77
60	1254.116	96.18	102.56	104.05	104.67	105.87	0.044608	5.97	16.15	16.2	1.88
61	1234.116	96.18	101.29	104.63	104.03	105.19	0.005473	3.3	29.2	12.8	0.69
62	1214.116	96.18	101	104.69		105.04	0.00332	2.61	36.83	15.86	0.55
63	1194.116	96.18	102	104.04	104.04	104.88	0.011548	4.07	23.66	14.04	1
64	1174.116	96.18	100	101.99	102.73	104.33	0.041451	6.78	14.19	10.01	1.82
65	1154.116	96.18	100	102.23	102.52	103.48	0.01815	4.95	19.43	11.97	1.24
66	1134.116	96.18	99.17	100.72	101.34	102.8	0.057154	6.39	15.04	16.05	2.11
67	1114.116	96.18	98	99.08	99.77	101.47	0.074167	6.85	14.04	16.67	2.38
68	1094.116	96.18	98	98.93	99.3	100.13	0.035134	4.95	20.51	27.61	1.67
69	1074.116	96.18	96	97.57	98.1	99.26	0.047563	5.77	16.7	19.02	1.94
70	1054.116	96.18	96	97.73	97.85	98.56	0.012911	4.05	24.5	19.68	1.07
71	1034.116	96.18	96	97.68	97.68	98.36	0.010207	3.79	27.33	20.69	0.96
72	1014.116	96.18	96	96.93	97.24	97.99	0.030743	4.76	21.5	26.13	1.58
73	994.116	96.18	94	95.03	95.57	96.98	0.074043	6.57	15.92	23.64	2.35
74	974.1159	96.18	94	95.48	95.14	95.79	0.004639	2.53	39.89	29.57	0.66
75	954.116	96.18	94	95.42		95.7	0.004641	2.32	41.65	31.34	0.64
76	934.116	96.18	94	95.44		95.59	0.002495	1.82	55.71	42.08	0.48

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

77	914.116	96.18	93.23	94.96	94.96	95.47	0.012299	3.21	30.61	30.27	1.01
78	894.116	96.18	92	93.35	93.88	94.96	0.037245	5.64	17.47	18.71	1.74
79	874.116	96.18	92	93.19	93.49	94.17	0.023635	4.66	22.9	26.12	1.4
80	854.116	96.18	92	93.27	93.27	93.79	0.011419	3.39	30.6	29.69	0.99
81	834.116	96.18	90.89	92.78	92.88	93.53	0.012101	3.97	26.08	22.12	1.05
82	814.116	96.18	90	91.26	91.82	93.01	0.045135	5.91	16.6	17.97	1.91
83	794.116	96.18	90	90.98	91.29	92.03	0.032829	4.34	21.21	25.64	1.58
84	774.116	96.18	90	91.15	90.95	91.41	0.005789	2.31	44.2	47.77	0.7
85	747.5142	96.18	89.84	90.82	90.82	91.19	0.012698	2.81	36.51	50.89	0.99
86	734.116	96.18	89.44	90.88	90.46	91.01	0.003225	1.7	58.7	57.46	0.52
87	714.116	96.18	88	90.77		90.94	0.004137	1.96	53.26	53.61	0.57
88	694.1161	96.18	88.85	90.4	90.4	90.78	0.012623	2.87	35.96	48.66	1
89	674.116	96.18	88.38	89.89	89.94	90.47	0.018103	3.49	29.21	38.74	1.2
90	654.1603	96.18	87.87	89.28	89.49	90.03	0.025256	3.97	25.84	37.29	1.4
91	633.441	96.18	87.35	88.77	88.99	89.58	0.019541	4.27	25.33	30.16	1.29
92	614.6771	96.18	86.74	88.21	88.52	89.19	0.021818	4.67	24.22	34.77	1.38
93	589.9522	96.18	86	87.87	87.02	87.98	0.00155	1.7	64.92	42.36	0.4
94	570.1448	96.18	86	87.72		87.93	0.002983	2.19	49.46	37.21	0.54
95	554.116	96.18	86	87.5		87.85	0.005845	2.8	38.41	33.22	0.74
96	532.3502	96.18	86	87.44		87.71	0.004486	2.42	43.66	38.29	0.65
97	516.9835	96.18	86	87.46		87.63	0.002854	1.97	54.36	44.35	0.52
98	504.592	96.18	86	87.06	87.06	87.53	0.012383	3.1	31.8	34.05	1
99	487.6944	96.18	84.42	86.73	86.2	87	0.003435	2.3	42.47	27.95	0.57
100	454.2961	96.18	84	86.37	86.37	86.82	0.00732	3.06	35.43	45.85	0.81
101	434.1649	96.18	84	85.41	85.73	86.5	0.028202	4.62	20.81	21.71	1.51
102	413.9453	96.18	84	85.69	85.69	86.09	0.007487	2.92	38.67	55.15	0.82
103	393.3529	96.18	84	84.81	85.11	85.73	0.03979	4.7	24.67	50.94	1.73

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

104	380.2426	96.18	84	85.07	84.78	85.2	0.003637	1.8	63.19	78.68	0.56
105	352.0713	96.18	84	84.67	84.67	84.98	0.01429	2.52	38.83	62.65	1
106	331.6377	96.18	82.91	84.13	84.23	84.57	0.023172	2.87	33.14	65.07	1.25
107	312.5026	96.18	82	83.33	83.56	84.12	0.019057	4.16	26.06	38.43	1.27
108	296.9758	96.18	82	83.16	83.35	83.77	0.018635	4.02	31.76	55.68	1.24
109	275.3656	96.18	82	83.16	82.84	83.3	0.003599	1.81	59	63.65	0.55
110	254.9305	96.18	82	83.15		83.24	0.001848	1.34	77.51	78.36	0.4
111	227.9688	96.18	82	82.9		83.13	0.007834	2.24	44.91	57.97	0.78
112	210.0556	96.18	81.44	82.59	82.59	82.92	0.01076	2.86	39.55	57.39	0.94
113	193.2196	96.18	80.73	81.72	82	82.58	0.039626	3.89	23.57	38.86	1.65
114	173.935	96.18	80	81.75	81	81.85	0.001535	1.39	69.11	49.37	0.38
115	113.9954	96.18	80	81.69		81.78	0.00139	1.36	69.93	46.86	0.35
116	99.38477	96.18	80	81.15	81.15	81.67	0.01242	2.99	30.21	29.09	1
117	85.10355	96.18	80	80.8	80.94	81.42	0.022385	3.42	27.71	37.01	1.29
118	78.77155	96.18	80	81.07	80.82	81.29	0.005438	2.14	45.87	47.36	0.68
119	54.11598	96.18	80	81.04		81.19	0.00398	1.85	54.83	56.27	0.58
120	34.11584	96.18	80	80.71	80.71	81.04	0.013837	2.67	38.22	59.49	1.01
121	14.11595	96.18	78.41	80.39	80.46	80.79	0.015502	3.15	36.72	64.29	1.08

Fuente: Equipo Consultor, 2024.

Tabla 7. Resultados de simulación de TR=100 años, para la terracería implantada, Quebrada Bachiller.

Sección	Estación	Q Total (m3/s)	Elev Mínima del Canal (m)	Elev Superficie de agua (m)	Elev del agua crítica (m)	Elev de línea de energía (m)	Pendiente de línea de energía (m/m)	Velocidad del canal (m/s)	Área de flujo (m2)	Ancho superior (m)	# Froude del canal
1	2434.116	96.18	126	127.37	126.38	127.42	0.000585	0.85	102.97	64.55	0.23
2	2414.116	96.18	126	127.34		127.4	0.000924	1.06	88.7	62.4	0.29
3	2394.557	96.18	126	127.32		127.39	0.000968	1.07	82.64	53.72	0.3
4	2374.146	96.18	126	127.25		127.36	0.001368	1.23	67.96	43.04	0.35
5	2354.276	96.18	124	127.28		127.33	0.000434	1.25	97.86	45.57	0.23
6	2334.455	96.18	124.86	127.18		127.31	0.001432	1.83	62.31	36.2	0.39
7	2319.627	96.18	125	127.2		127.27	0.00077	1.34	84.83	52.68	0.29
8	2294.192	96.18	124.09	127.19		127.26	0.00065	1.41	88.28	49.21	0.27
9	2274.116	96.18	124	127.19		127.24	0.000466	1.11	95.83	45.82	0.23
10	2243.277	96.18	125	127.12		127.22	0.001201	1.44	69.84	41.67	0.33
11	2224.326	96.18	125	126.95		127.18	0.003192	2.52	47.1	34.22	0.58
12	2213.27	96.18	125	126.83		127.13	0.004275	2.79	41.15	30.41	0.66
13	2193.827	96.18	124.04	126.35	126.35	126.99	0.007839	4.07	30.47	25.52	0.9
14	2174.116	96.18	123.39	125.47	125.89	126.72	0.016682	5.35	21.65	20.11	1.27
15	2158.965	96.18	123	124.64	125.23	126.34	0.029659	6.19	18.25	19.8	1.64
16	2134.547	96.18	123	124.46	124.84	125.59	0.019771	5.1	22.49	24.34	1.36
17	2114.537	96.18	123	124	124.39	125.12	0.029977	4.89	20.86	23.76	1.57
18	2095.698	96.18	123	123.76	123.99	124.41	0.031022	4.19	28.3	54.4	1.54
19	2074.116	96.18	123	123.61	123.5	123.82	0.008152	1.84	47.34	67.07	0.75
20	2057.993	96.18	122.76	123.26	123.26	123.63	0.012944	1.63	36.37	49.64	0.87
21	2040.121	96.18	121.95	123.18	122.67	123.36	0.002751	1.17	52.44	39.26	0.45
22	2014.116	96.18	121	123.01		123.25	0.003325	2.11	44.43	27.98	0.56
23	1994.116	96.18	121	122.99		123.18	0.002287	2.03	51.08	32.3	0.48

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

24	1974.116	96.18	121	122.5	122.5	123.06	0.009382	3.43	30.64	29.69	0.93
25	1954.116	96.18	120.57	121.84	122.14	122.73	0.02548	4.6	24.57	33.25	1.44
26	1934.116	96.18	120	120.55	120.91	121.81	0.086039	5.14	19.34	42.04	2.35
27	1914.116	96.18	119	120.82	120.22	120.92	0.00158	1.57	74.57	64.25	0.39
28	1894.116	96.18	119	120.8		120.89	0.001194	1.39	76.6	56.36	0.34
29	1874.116	96.18	119	120.51	120.3	120.82	0.005766	2.67	40.08	37.1	0.73
30	1859.127	96.18	119	120.15	120.15	120.66	0.01142	3.36	31.03	31.68	1
31	1834.333	96.18	117.47	118.6	119.09	120.09	0.045276	5.64	18.07	22.76	1.9
32	1828.158	96.18	117	118.1	118.6	119.77	0.054501	5.77	17.21	24.39	2.05
33	1800.586	96.18	117	118.58	118.08	118.75	0.002647	1.91	53.71	41.04	0.5
34	1779.612	96.18	117	118.12	118.12	118.6	0.012383	3.1	31.22	33.25	1
35	1753.755	96.18	115.91	117.08	117.38	118.08	0.028559	4.75	23.33	34.62	1.53
36	1728.058	96.18	115	117.31	116.59	117.46	0.002008	1.99	57.88	40.46	0.44
37	1714.116	96.18	115	117.23		117.43	0.002432	2.14	49.41	31.81	0.49
38	1697.732	96.18	115	116.65	116.65	117.31	0.009247	3.75	27.92	22.32	0.94
39	1678.006	96.18	114.06	115.85	116.17	117	0.020269	5	20.82	17.4	1.34
40	1656.9	96.18	113	115.87	115.87	116.67	0.00909	4.07	25.4	16.53	0.92
41	1634.116	96.18	113	114.34	114.93	116.19	0.041016	6.36	16.47	16.62	1.86
42	1614.116	96.18	113	115.37	114.8	115.6	0.002611	2.34	48.01	32.09	0.52
43	1594.116	96.18	113	114.75	114.75	115.46	0.010067	3.89	26.78	19.98	0.97
44	1574.116	96.18	111	112.96	113.63	114.98	0.034403	6.3	15.28	10.49	1.67
45	1554.116	96.18	111	112.59	113.08	114.17	0.033565	5.57	17.25	15.05	1.66
46	1534.116	96.18	110.5	111.39	111.84	113.11	0.093665	6.33	16.95	32.99	2.57
47	1514.116	96.18	110	110.72	111	111.64	0.03906	3.8	22.93	35.75	1.63
48	1494.116	96.18	109.52	110.77	110.53	111.07	0.00586	2.12	40.23	34.19	0.69
49	1474.116	96.18	108.95	110.53		110.93	0.006366	2.83	34.39	23.28	0.75
50	1454.288	96.18	108	110.67		110.8	0.0014	1.81	63.27	44.06	0.39

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

51	1434.802	96.18	107	109.82	109.81	110.67	0.01135	4.09	23.54	13.86	1
52	1414.116	96.18	107	109.6	109.6	110.44	0.010891	4.08	24	15.14	0.96
53	1394.116	96.18	107	108.04	108.61	109.92	0.05192	6.08	15.83	16.85	2
54	1374.116	96.18	105	106.75	107.44	108.91	0.046655	6.52	14.75	12.49	1.92
55	1354.116	96.18	105	107.53	107.53	108.33	0.011489	3.96	24.28	15.48	1.01
56	1334.116	96.18	105	107.4	106.54	107.63	0.002019	2.17	46.77	25.07	0.46
57	1308.727	96.18	104.59	106.83	106.83	107.49	0.011471	3.6	26.73	20.27	1
58	1295.148	96.18	104	106.16	106.32	107.27	0.015227	4.65	20.67	11.81	1.12
59	1274.116	96.18	103	104.87	105.46	106.71	0.039021	6.01	16.02	13.62	1.77
60	1254.116	96.18	102.56	104.05	104.67	105.87	0.044608	5.97	16.15	16.2	1.88
61	1234.116	96.18	101.29	104.63	104.03	105.19	0.005474	3.3	29.2	12.8	0.69
62	1214.116	96.18	101	104.69		105.04	0.003316	2.61	36.85	15.86	0.55
63	1194.116	96.18	102	104.04	104.04	104.88	0.011549	4.07	23.66	14.04	1
64	1174.116	96.18	100	101.99	102.73	104.33	0.04145	6.78	14.19	10.01	1.82
65	1154.116	96.18	100	102.23	102.52	103.48	0.01815	4.95	19.43	11.97	1.24
66	1134.116	96.18	99.17	100.72	101.34	102.8	0.057153	6.39	15.04	16.05	2.11
67	1114.116	96.18	98	99.08	99.77	101.47	0.074165	6.85	14.04	16.67	2.38
68	1094.116	96.18	98	98.87	99.24	100.05	0.039492	5.01	20.84	31.35	1.75
69	1074.116	96.18	96	97.52	98.01	99.13	0.049331	5.72	17.64	23.57	1.96
70	1054.116	96.18	96	98.15	97.87	98.51	0.004647	2.81	38.88	31.24	0.66
71	1034.116	96.18	96	97.69	97.69	98.35	0.010037	3.76	27.77	21.74	0.95
72	1014.116	96.18	96	96.93	97.24	97.98	0.030393	4.74	21.58	26.15	1.57
73	994.116	96.18	94	95.03	95.57	96.98	0.074085	6.57	15.91	23.64	2.35
74	974.1159	96.18	94	94.88	95.14	95.81	0.027436	4.35	22.8	27.45	1.48
75	954.116	96.18	94	95.53	94.72	95.64	0.001562	1.4	65.15	40.7	0.38
76	934.116	96.18	94	95.44		95.59	0.002495	1.82	55.71	42.09	0.48
77	914.116	96.18	93.23	94.96	94.96	95.47	0.012299	3.21	30.61	30.27	1.01

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

78	894.116	96.18	92	93.35	93.88	94.96	0.037242	5.64	17.47	18.71	1.74
79	874.116	96.18	92	93.19	93.49	94.17	0.023635	4.66	22.9	26.12	1.4
80	854.116	96.18	92	93.27	93.27	93.79	0.011419	3.39	30.6	29.69	0.99
81	834.116	96.18	90.89	92.78	92.88	93.53	0.0121	3.97	26.08	22.12	1.05
82	814.116	96.18	90	91.26	91.82	93.01	0.045134	5.91	16.61	17.97	1.91
83	794.116	96.18	90	90.98	91.29	92.03	0.032829	4.34	21.21	25.64	1.58
84	774.116	96.18	90	91.15	90.95	91.41	0.00579	2.31	44.2	47.77	0.7
85	747.5142	96.18	89.84	90.82	90.82	91.19	0.012695	2.81	36.52	50.89	0.99
86	734.116	96.18	89.44	90.1	90.33	90.87	0.035186	2.85	25.34	44.22	1.46
87	714.116	96.18	87.84	88.99	89.32	90.12	0.039007	4.87	20.82	27.77	1.69
88	694.1161	96.18	86.77	88.49	88.75	89.49	0.022354	4.44	21.66	19.85	1.36
89	674.116	96.18	87.03	88.6	88.36	89.06	0.006452	1.58	33.95	27.67	0.66
90	654.1603	96.18	86.91	88.25	88.25	88.88	0.008566	1.59	29.21	25.12	0.74
91	633.441	96.18	86	86.78	87.26	88.41	0.038871	3.51	17.48	18.84	1.59
92	614.6771	96.18	85.73	87.51	86.43	87.64	0.001187	1.05	65.07	39.1	0.32
93	589.9522	96.18	85.92	87.51		87.59	0.001087	1.24	77.55	47.66	0.32
94	570.1448	96.18	86	87.46		87.56	0.001364	1.32	68.47	44.21	0.35
95	554.116	96.18	86	87.45		87.53	0.000946	1.1	77.65	46.71	0.3
96	532.3502	96.18	85.81	87.44		87.51	0.000919	1.1	78.68	47.95	0.29
97	516.9835	96.18	86	87.41		87.5	0.001306	1.3	74.64	53.89	0.35
98	504.592	96.18	86	87.02	87.02	87.43	0.011954	2.98	34.88	43.99	0.98
99	487.6944	96.18	84.42	85.85	86.21	87.04	0.034356	4.83	19.9	22.49	1.64
100	454.2961	96.18	84	86.1	86.1	86.54	0.009763	3.14	34.6	38.07	0.91
101	434.1649	96.18	84	85.93	85.64	86.22	0.00514	2.51	42.08	39.75	0.68
102	413.9453	96.18	84	85.53	85.53	86.05	0.01118	3.31	30.82	30.47	0.98
103	393.3529	96.18	83.57	83.97	84.5	85.55	0.034579	1.8	17.55	17.88	1.29
104	380.2426	96.18	83.54	84.1	84.4	85.03	0.018477	1.06	24.43	38.49	0.9

Análisis Hidrológico e Hidráulico – Qda. Bachiller – EsIA Colinas del Norte

105	352.0713	96.18	83.85	83.98	83.98	84.54	0.010494	0.48	29.28	24.22	0.59
106	331.6377	96.18	82.23	83.62	82.96	83.83	0.002648	1.15	49.21	34.89	0.44
107	312.5026	96.18	82	83.6		83.76	0.00311	1.95	56.53	53.83	0.53
108	296.9758	96.18	82	83.35	83.35	83.67	0.008632	2.99	42.25	59.93	0.86
109	275.3656	96.18	82	83.16	82.84	83.3	0.00362	1.81	58.89	63.65	0.55
110	254.9305	96.18	82	83.15		83.23	0.001859	1.35	77.37	78.33	0.4
111	227.9688	96.18	82	82.77	82.77	83.11	0.01362	2.68	37.54	56.02	1.01
112	210.0556	96.18	81.44	82.31	82.41	82.76	0.020669	3.15	33.69	61.64	1.23
113	193.2196	96.18	80.73	81.86	82	82.42	0.021882	3.17	28.96	41.63	1.25
114	173.935	96.18	80	81.75	81	81.85	0.001535	1.39	69.11	49.37	0.38
115	113.9954	96.18	80	81.69		81.78	0.00139	1.36	69.93	46.86	0.35
116	99.38477	96.18	80	81.15	81.15	81.67	0.01242	2.99	30.21	29.09	1
117	85.10355	96.18	80	80.74	80.91	81.39	0.026766	3.57	27.26	41.57	1.39
118	78.77155	96.18	80	81.05	80.7	81.2	0.003569	1.72	57.21	58.8	0.55
119	54.11598	96.18	80	80.9		81.12	0.006297	2.12	47.47	55.43	0.71
120	34.11584	96.18	80	80.71		80.95	0.009776	2.25	44.91	67.81	0.85
121	14.11595	96.18	78.41	80.46	80.46	80.77	0.010898	2.79	41.45	65.34	0.92

Fuente: Equipo Consultor, 2024.

A partir de los datos obtenidos, se procedió a esquematizar la huella de inundación en el área de estudio, tanto para el terreno natural, como para la terracería implantada (Ver Figuras 8 y 9).

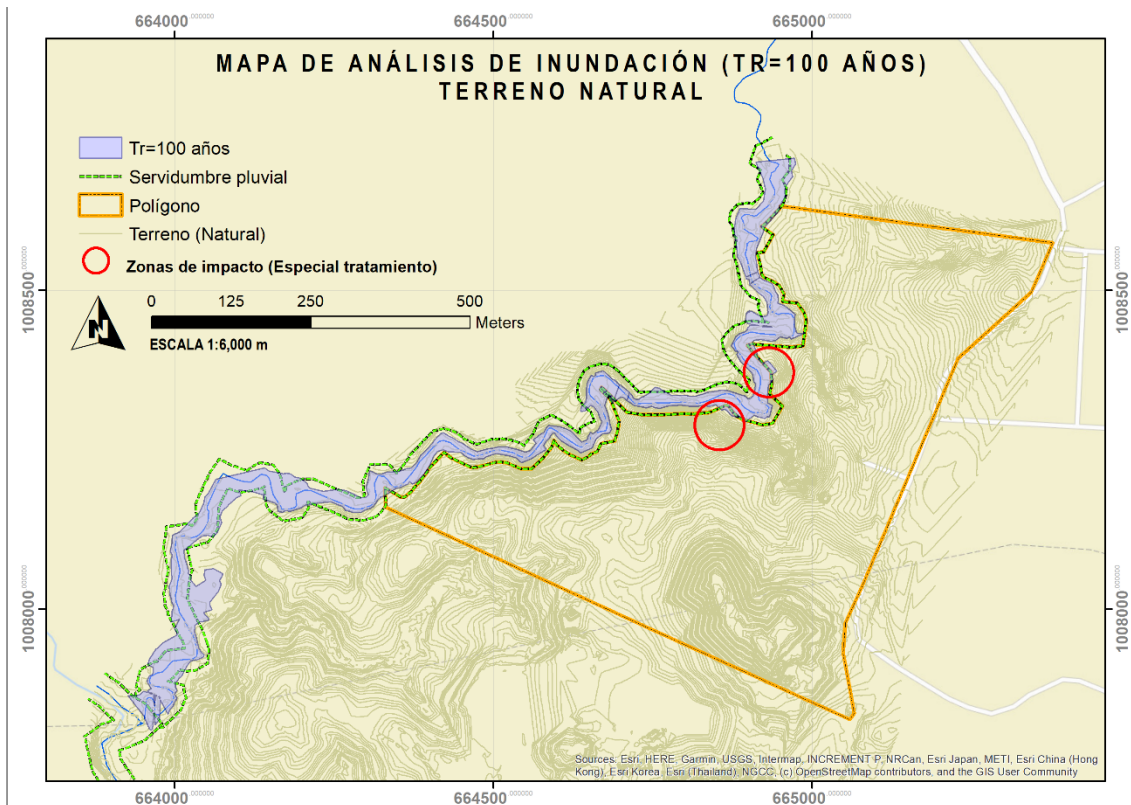


Figura 8. Huella de inundación con simulación sobre terreno natural.
Fuente: Equipo consultor, 2024.

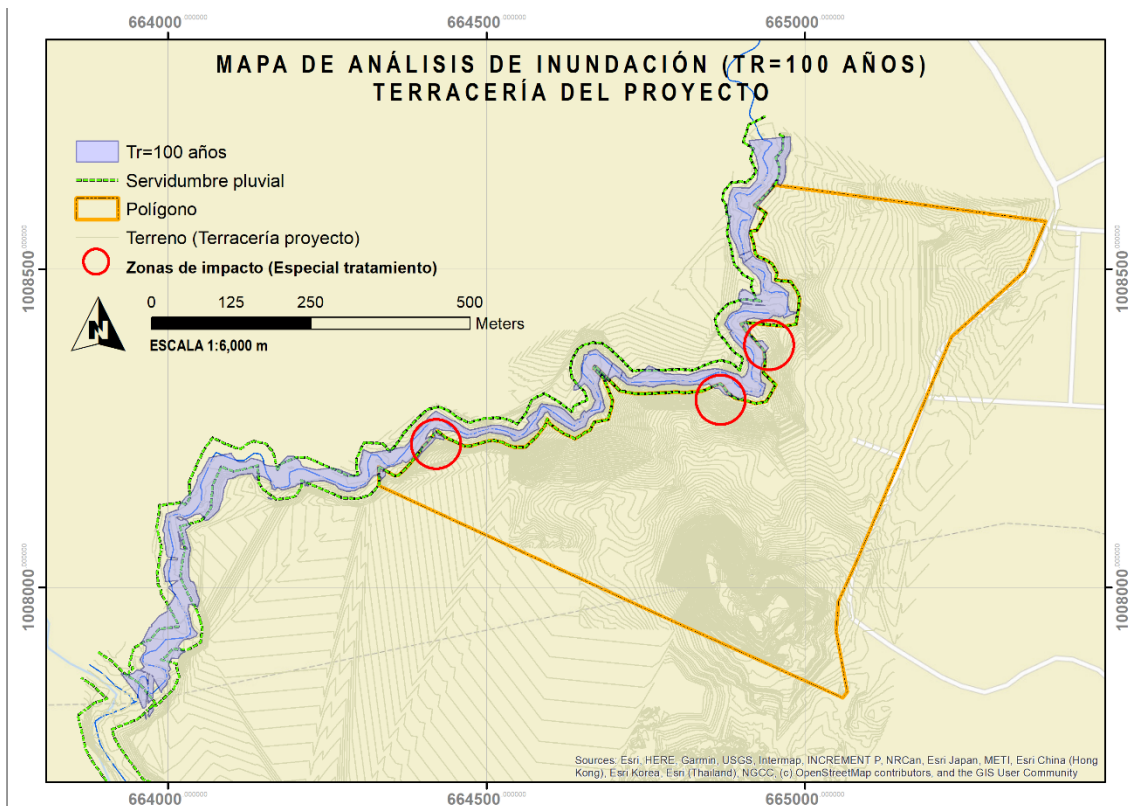


Figura 9. Huella de inundación con simulación sobre terracería implantada.
Fuente: Equipo consultor, 2024.

Basado en los resultados presentados previamente, se ha verificado que la huella de inundación resultante, tanto en el análisis sobre el terreno natural como la terracería, se enmarca dentro del perímetro de la servidumbre pluvial aprobada que colinda directamente con el polígono del proyecto, salvo tres (3) pequeñas áreas hacia el centro de la poligonal y sur de la misma (demarcadas con círculos rojos).

Sobre estas tres pequeñas zonas se evidencia un posible impacto de los niveles de inundación, presenciándose un ingreso de la huella de inundación al polígono de 5 aproximadamente metros (el mayor de estos tres). Es importante destacar que la incidencia es muy mínima y que además estamos hablando de un modelo que emplea triangulación digital para trazar dicha huella, por lo que pudiera haber influencia de ello en este sentido.

Sin embargo, se ha verificado que, de acuerdo al diseño del proyecto, estas áreas corresponden a zonas amortiguadoras a la servidumbre pluvial, y las mismas servirán como áreas de drenaje directo, donde no se contempla construcción alguna (Ver Figura 10). No obstante, es imprescindible asegurar su resguardo y monitoreo durante el desarrollo del proyecto.

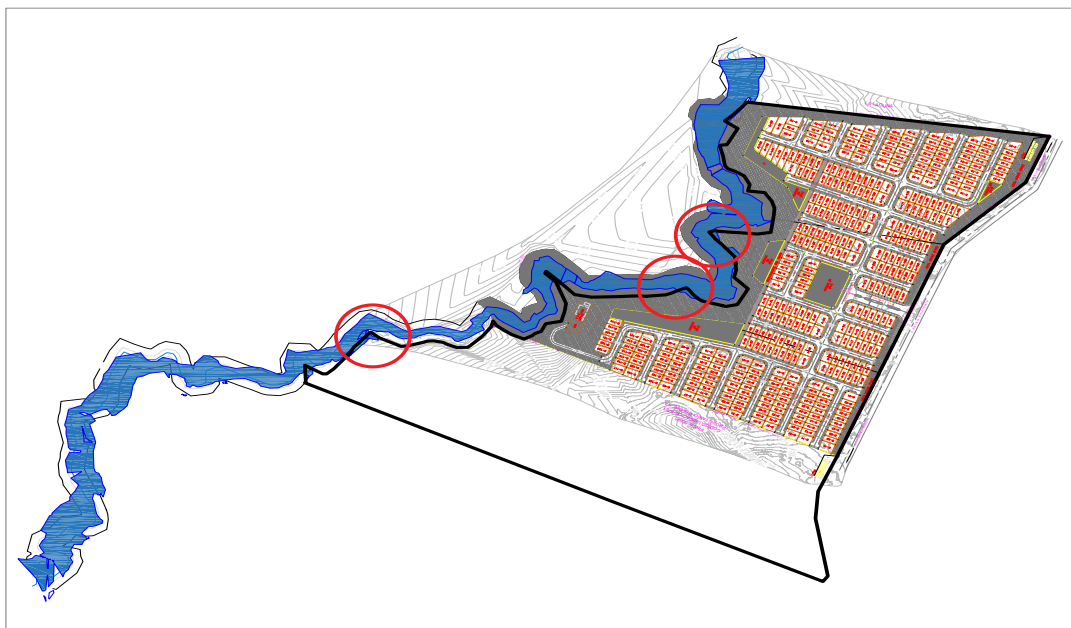


Figura 10. Diagrama de implantación de diseño del proyecto sobre terreno.
Fuente: Promotor, 2024.

6) CONCLUSIONES

Las condiciones del sector de estudio permiten identificar las áreas más propensas a fenómenos de inundación ante eventos de crecidas máximas. Estas corresponden a zonas próximas a la quebrada quedando enmarcadas por la servidumbre pluvial aprobada, que se extiende 20 metros de lado y lado del cauce.

Se pudo validar que la huella de inundación se extiende dentro de la servidumbre pluvial, sin extenderse hacia el polígono, salvo tres pequeñas áreas puntuales donde se evidenció un muy pequeño impacto de los niveles de inundación (ingreso al polígono de estudio), pero se constató que no se contemplan como áreas desarrollables por el proyecto Colinas del Norte, sino como áreas amortiguadoras o de apoyo a la servidumbre de protección ambiental.

Los eventos de inundación tienen mayor probabilidad de ocurrencia durante la época lluviosa, donde las precipitaciones aumentan, y estas corresponden al mes de octubre, ya que de acuerdo a la data histórica, en este mes se evidencian los mayores niveles de lluvia máxima.

El modelo hidráulico en este estudio ha considerado un caudal máximo para el período de retorno 1:100 años y un tiempo de duración de lluvia de 30 minutos. Dicho caudal el cual ha resultado en $96.18 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se han establecido un total de ciento veintiún (121) secciones transversales de la Qda. Bachiller, cada 20 metros de distancia, para simular los escenarios de inundación bajo el período de retorno de 1:100 años y así validar los niveles seguros de terracería.

Sobre los resultados del análisis de inundaciones propiamente, se establecen las siguientes conclusiones:

- **Elevación del Agua:** La elevación del agua (m) varía significativamente a lo largo de la estación, alcanzando un máximo de 127.42 m en las secciones más altas y bajando a 78.41 m en las secciones más bajas.

Esto indica un descenso progresivo del nivel del agua a medida que se avanza hacia el cauce.

- **Pendiente de Línea de Energía:** La pendiente de la línea de energía presenta variaciones, con valores que van de 0.000585 m/m a 0.074165 m/m. Un aumento en la pendiente podría indicar un aumento en la energía potencial, lo que puede influir en la capacidad del canal para manejar el caudal.
- **Velocidad del Agua:** Las velocidades del agua son generalmente bajas en las secciones superiores (0.23 m/s) y aumentan a medida que se desciende (hasta 6.85 m/s en secciones más bajas). Esto sugiere un aumento en la erosión potencial en las secciones más rápidas.
- **Número de Froude:** Los valores del número de Froude en el canal oscilan entre 0.23 y 2.57. Un número de Froude mayor a 1 indica flujo supercrítico, lo que podría presentar mayor riesgo de inundación y erosión en las secciones correspondientes (sección 46, por ejemplo).

Se concluye, finalmente, que los niveles de terracería empleados para el desarrollo Colinas del Norte son óptimos y apropiados. Respetando los mismos se salvaguardarán las futuras infraestructuras, edificaciones y demás elementos constructivos propios del desarrollo del área.

7) RECOMENDACIONES

Finalmente, se presentan las siguientes recomendaciones, las cuales pueden ayudar a gestionar mejor los recursos hídricos del área, incluyendo la Quebrada Bachiller, y minimizar el impacto de las inundaciones en la región.

- **Monitoreo Continuo:** Implementar un sistema de monitoreo continuo de los niveles y velocidades de agua durante el desarrollo de la obra y la ocupación del proyecto, sobre todo durante la temporada de lluvias, con el fin de mitigar posibles inundaciones.
- **Mantenimiento del Curso de Agua:** Realizar mantenimientos regulares del canal, especialmente en las secciones donde se observan velocidades altas y erosión ($\#Froude$ mayor a 1), para prevenir la degradación del cauce.
- **Evaluación de Riesgos:** Realizar una evaluación de riesgos en las áreas adyacentes al canal, enfocándose en las secciones con números de Froude elevados, para implementar medidas preventivas.
- **Educación y Concienciación:** Desarrollar programas de educación para la comunidad sobre el manejo de inundaciones y la importancia de mantener los cauces limpios y libres de obstrucciones.

8) BIBLIOGRAFÍA

- ANAM, "Informe de Monitoreo de la Calidad de Agua en las Cuencas Hidrográficas de Panamá Compendio de Resultados, años 2002-2008.
- ANAM, "Atlas Ambiental de la República de Panamá". Primera versión 2010.
- Cedeño David, "Apuntes de Hidrología". Facultad de Ing. Civil. Universidad Tecnológica de Panamá. 1997.
- Chandeck Maritza, "Análisis de intensidad, duración y frecuencia Eventos Máximos de Lluvia Anual". División de Ingeniería de ACP. 2001.
- CATIE, "Formulación del Plan Estratégico para el Manejo Integrado de la Cuenca del Río Pacora". 2008.

- Jorgue Julian Velez et al, "Diseño Hidráulico e Hidrológico de Obras de Ingeniería para Proyectos Viales". 2013
- MOP, Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual de Requisitos de Revisión de Planos del MOP, 2021.
- SiNAPROC, PREVDA, Implementación de las Acciones Priorizadas del Plan de Manejo Integrado de la Cuenca del Río Pacora. "Sistema de Alerta Temprana (SAT) Cuenca Río Pacora". 2010.
- WS&LE S.A. Análisis Hidrológico e Hidráulico del Río Castilla. Caterpillar - Panamá. 2008.