

ESTUDIO HIDROLÓGICO

PROMOTOR:

TRES BRAZOS TROPICAL TREE TOPS PANAMA, S.A.

OBJETIVO

EVALUAR LAS CONDICIONES DE LINEA BASE DE LOS PRINCIPALES CURSOS DE AGUA SUPERFICIAL LOCALIZADOS DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.

UBICACIÓN DEL PROYECTO

REGIÓN DE TRES BRAZOS, CORREGIMIENTO DE SAN MARTÍN, DISTRITO DE PANAMÁ,
PROVINCIA DE PANAMÁ

CONSULTOR

AARON A. CONTE

*Ing. en Manejo de Cuencas y Ambiente
M. Sc. Gestión de Recursos Hídricos
Idoneidad N° 7,590-14*

FECHA

12 DE DICIEMBRE DE 2018

PRESENTACIÓN

El presente estudio hidrológico ha sido realizado con el fin de evaluar las condiciones de línea base del sistema hídrico que se localiza próximo al área donde el promotor TRES BRAZOS TREE TOPS PANAMA, S.A. se propone desarrollar un proyecto de construcción de estructuras de tirolesa destinadas a actividades recreativas y turísticas.

El sistema hídrico en estudio corresponde a una subcuenca del Río Pacora (Cuenca N° 146), cuyo cauce principal (*Sin nombre*) es un afluente primario localizado en la parte alta de la cuenca, dentro de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Chagres. Se trata de una subcuenca hidrográfica de pequeñas dimensiones, con un área aproximada de 10.7 Km², en la cual predomina un relieve accidentado y pendientes considerablemente pronunciadas.

Con el fin de evaluar adecuadamente los posibles impactos asociados a las actividades del proyecto, se estimó pertinente proceder con el análisis del comportamiento hidrológico de la siguiente forma: 1. Análisis del comportamiento de toda la subcuenca; 2. Análisis del comportamiento específico de uno de los afluentes secundarios dentro de la subcuenca, cuya área de drenaje será mayormente influenciada durante las operaciones del proyecto. Cabe resaltar que el estudio es realizado durante la época lluviosa, por tratarse del periodo donde se espera mayor incidencia de fenómenos de transporte de contaminantes y sedimentos, como consecuencia del incremento en la generación escorrentía superficial.

Para la realización del presente estudio hidrológico fueron seleccionados y evaluados los siguientes indicadores: la precipitación, la evapotranspiración potencial, las características morfométricas de ambas cuencas, la cantidad de escorrentía generada y el caudal promedio.

En este caso de estudio, para el levantamiento de los datos relacionados con la presencia de lluvias, fue utilizada la información generada por medio de la estación meteorológica de Altos de Pacora (Código 146-003), la cual es considerada relevante y adecuadamente representativa en función de su ubicación geográfica y la altitud a la cual se encuentra instalada. Para el desarrollo de los estudios de morfometría de la cuenca, se emplean herramientas disponibles en softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Adicionalmente, el presente documento detalla informaciones sobre el caudal promedio en cada uno de los sistemas hídricos estudiados, valores que fueron estimados mediante la aplicación del método de aforo con flotador.

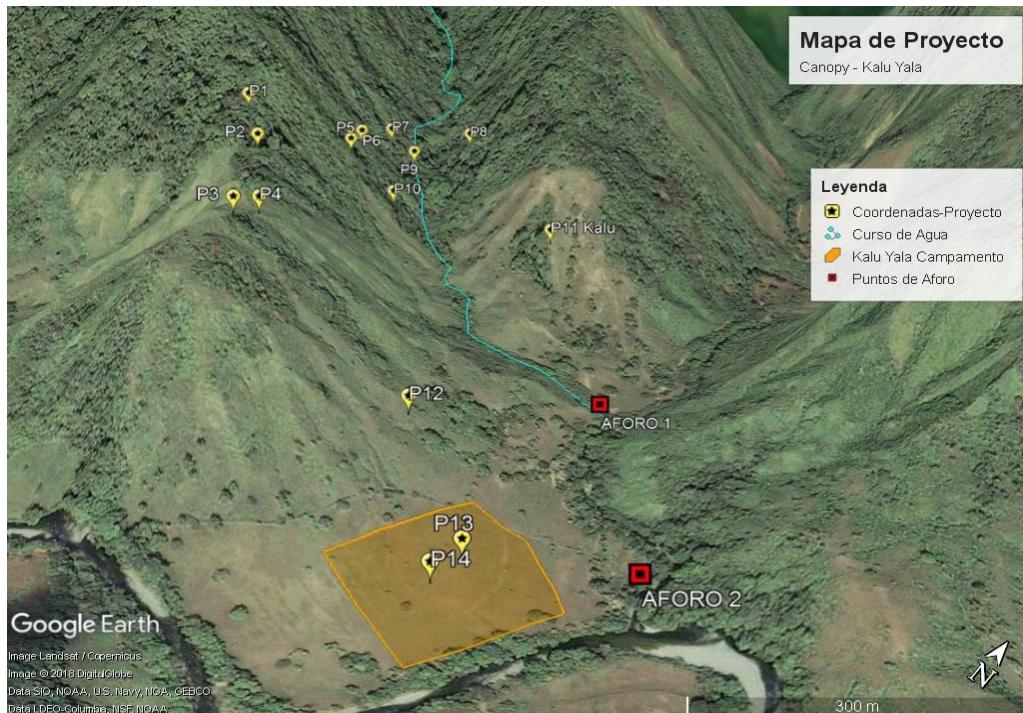
UBICACIÓN DEL PROYECTO

El área donde se tiene previsto desarrollar el proyecto se ubica en la región de Tres Brazos, Corregimiento de San Martín, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá. Con relación a su ubicación hidrográfica, el proyecto se encuentra dentro de la Cuenca N° 146 Río Pacora, específicamente dentro del área de drenaje de un afluente primario ubicado en la parte alta de la cuenca de este río.

A continuación, el cuadro N°1 muestra las coordenadas que corresponden a la ubicación de cada punto perteneciente al proyecto.

SITIO	ESTE (m)	NORTE (m)
1	687492	1023970
2	687549	1023933
3	687694	1023762
4	687716	1023787
5	687570	1024103
6	687552	1024146
7	687530	1024238
8	687620	1024336
9	687571	1024248
10	687632	1024130
11	687882	1024215
12	687997	1023762
13	688191	1023634
14	688192	1023580

Adicionalmente, la Figura N°1 ofrece mayores informaciones acerca de la zona donde se ubica el proyecto.



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Factores Físicos

La topografía es mayormente plana en el área del campamento principal, tornándose considerablemente irregular en las zonas adyacentes a los puntos identificados para el desarrollo del proyecto. Se observan pendientes pronunciadas en las márgenes de los afluentes, con numerosas secciones del cauce donde los valores superan el 100 por ciento (%). Las elevaciones máximas registradas dentro del área de influencia del proyecto oscilan en rangos comprendidos entre los 265 y 610 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

Según el estudio de taxonomía de suelos desarrollado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias – IDIAP (2010) dentro del área en estudio se identifica la presencia predominante de suelos del orden Ultisol, cuyas características edáficas los tornan considerablemente resistentes a la erosión y bastante bien drenados.

Morfometría de la cuenca hidrográfica.

Como parte de la caracterización física de la zona en estudio, fueron estimados algunos parámetros de morfometría de las cuencas hidrográficas que se encuentran próximas al área de influencia del proyecto, con el fin de identificar características morfológicas que ayuden a comprender su comportamiento hidrológico.

El cuadro N°2 contiene información detallada sobre cada uno de los parámetros determinados durante el estudio morfométrico de cada una de las dos unidades hidrográficas analizadas.

Indicador	Subcuenca (Afluente Primario)	Microcuenca (Afluente Secundario)
Área de Drenaje	1074 hectáreas	94.3 hectáreas
Perímetro de la Cuenca	15 kilómetros	4.41 kilómetros
Longitud del Cauce Principal	6.53 kilómetros	1.73 kilómetros
Pendiente Promedio del Cauce Principal	7.50 por ciento	15.14 por ciento
Índice de Gravelius	1.27	1.27
Forma de la Cuenca	Oval Oblonga	Oval Oblonga

Como se observa en el Cuadro N° 2, se trata de cuencas hidrográficas de pequeñas dimensiones cuyo cauce principal recorre distancias reducidas. Entre las características que deben ser observadas con detenimiento se resaltan el alto porcentaje de pendiente promedio del cauce principal y la forma de la cuenca que tiende a ser redondeada.

Estos últimos indicadores nos dan indicios de que se trata de sistemas hidrográficos donde se espera una alta generación de escorrentía superficial, siendo la pendiente uno de los factores que más influyen en las dinámicas de este proceso. Por su parte, la forma con tendencia a redondeada que presentan ambas cuencas hidrográficas sugieren un tiempo de concentración reducido, es decir, que la magnitud de la escorrentía superficial generada es un aspecto que debe ser vigilado con atención debido al carácter instantáneo con que pueden tener lugar crecidas en estos cursos de agua.

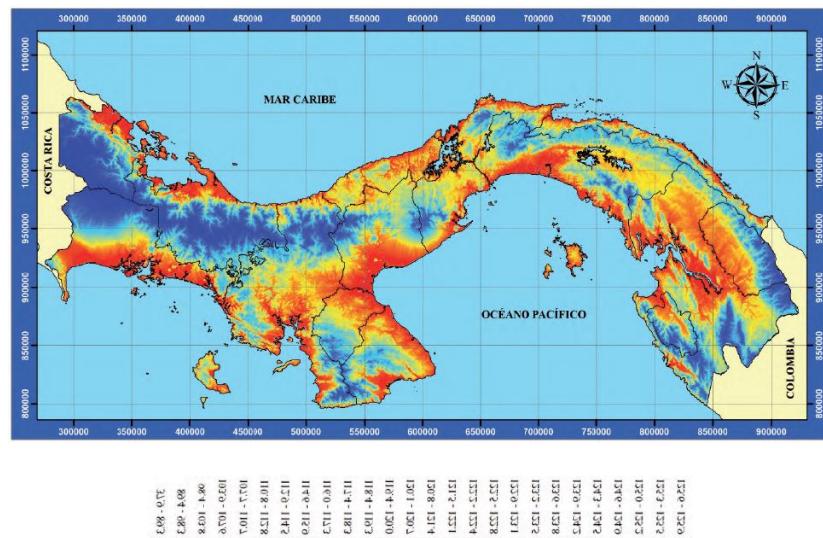
Factores Biológicos

El área donde será desarrollado el proyecto se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Chagres, sin embargo, gran parte de la vegetación primaria ha sido removida y el paisaje se encuentra dominado por potreros y terrenos dejados en recuperación (rastrojos). El paisaje se encuentra dominado por potreros con gramíneas y restos de vegetación boscosa, los cuales cambian gradualmente a áreas de bosque secundario intervenido conforme se avanza desde la parte media de la cuenca en dirección al nacimiento del curso de agua. Entre las zonas de vida de Holdridge con presencia en la región, se identifican el Bosque Pluvial Premontano y el Bosque Húmedo Tropical.

Condiciones Climatológicas

Según la clasificación climática de Köppen, el clima de la región de estudio se clasifica como Clima Tropical Húmedo (Ami), donde las temperaturas superan los 20 ° C y se experimenta una estación seca marcada. Las temperaturas diurnas pueden alcanzar entre 30 y 31 ° C, mientras que las temperaturas nocturnas se encuentran en el rango de 22 a 23 ° C.

La precipitación en estas zonas se caracteriza por ser abundante, cuyo promedio oscila en valores en torno a 2700 mm por año. La humedad relativa se encuentra en el rango de 80 a 90%. La figura presentada a continuación (Figura N°2) muestra el mapa de evapotranspiración potencial (ETP) en Panamá durante el mes de enero, donde se observa que el proyecto se ubica en áreas con baja demanda en términos de ETP.



DETERMINACIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS

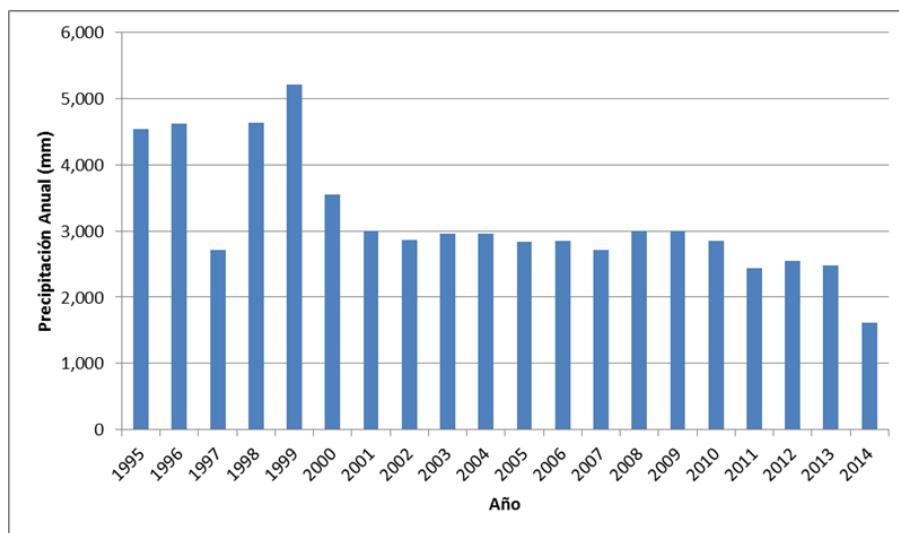
Precipitación Promedio Anual y Periodo de Retorno

Para el cálculo de la precipitación promedio anual se hace uso de los datos de precipitación anual registrados por la estación meteorológica “Altos de Pacora” (146-003), instalada a 850 m.s.n.m en la parte alta de la Cuenca N°146 del Río Pacora y operada actualmente por Empresas de Transmisión Eléctrica S.A. (E.T.E.S.A.). Se obtuvo un total de 20 años de registro, cuya información se muestra en el siguiente cuadro (Cuadro N°3) y es ilustrada en el Gráfico N°1:

Año	Precipitación (mm)	Año	Precipitación (mm)
1995	4537	2005	2841
1996	4613	2006	2849
1997	2716	2007	2716
1998	4631	2008	2995
1999	5201	2009	3003
2000	3555	2010	2852
2001	3004	2011	2436
2002	2865	2012	2550
2003	2957	2013	2481
2004	2955	2014	1613

Periodo de Retorno:
10 años
2 años

Gráfico N° 1 – Registros de precipitación anual acumulada, estación Altos de Pacora 146-003



A partir del conjunto de datos obtenidos de los registros históricos de precipitación, se determina que el valor de precipitación promedio anual en la región corresponde a **3,169 milímetros**, aproximadamente; con precipitaciones que superan los **2500 mm cada dos años** en promedio. Se trata de una región de alta pluviosidad.

Calculo de la Escorrentía Superficial (Método SCS)

El cálculo de la cantidad de escorrentía superficial generada en el área de estudio fue realizado a través del método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos. El método comprende la identificación de los diversos tipos de cobertura y usos de suelo dentro de una cuenca hidrográfica, para posteriormente proceder a asignar a cada una de estas áreas un valor determinado empíricamente, mejor conocido como número de curva (CN).

El método utiliza, además, una clasificación que discrimina los diferentes tipos de suelo de una región en función de su capacidad de infiltración, clasificándolos en los denominados grupos hidrológicos de suelo (A, B, C, D,).

El cálculo es realizado por medio de las expresiones detalladas a continuación:

$$E_s = P_e = [(P - 0.2S)2] / (P + 0.8S) \quad \text{Ecuación 1.0}$$

$$S = (1,000/CN) - 10 \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Con base en las ecuaciones 1.0 y 1.1, es realizado el cálculo para cada una de las cuencas hidrográficas en estudio. Las informaciones utilizadas para realizar las estimaciones, así como los resultados, son detallados en el Cuadro N° 4:

	Subcuenca (Afluente primario)	Microcuenca (afluente secundario)
Cobertura y Usos de Suelo identificados y áreas correspondientes	Pastos (60%); Bosque Secundario (10%); Bosque Maduro (30 %).	Bosque Secundario (100%)
Números de curva por uso	Pastos (61); Bosque Secundario (66); Bosque Maduro (55)	Bosque Secundario (66)
Área Total	1074 hectáreas	94.3 hectáreas
Evento de Precipitación	450 milímetros	450 milímetros
Lámina de Escorrentía Ponderada (milímetros)	293.96 milímetros	323.85 milímetros
Producción de escorrentía neta	3.15 millones de metros cúbicos (MMC)	305,390.55 metros cúbicos (m^3)

La cantidad de escorrentía neta producida a nivel de cada cuenca hidrográfica alcanza grandes magnitudes durante la época lluviosa, valor a cual corresponden los 450 milímetros utilizados para el cálculo (Precipitación de Octubre de 2013, según datos mensuales de la estación Altos de Pacora).

Es preciso resaltar que se trata de valores netos calculados apenas con el objetivo de tener estimativas aproximadas, sin considerar otras dinámicas que tienen lugar en el ciclo hidrológico (como pérdida por evaporación, retención superficial, intercepción, entre otras.)

Cálculo de tiempo de concentración

El tiempo de concentración (T_c) es una variable de suma importancia desde el punto de vista hidrológico y se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida. El T_c está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante al tiempo que máximo.

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

$$T_c = 0,02L^{0,77}S^{-0,385}$$

Ecuación 1.2

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

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

	Subcuenca (Afluente Primario)	Microcuenca (Afluente Secundario)
Tiempo de concentración	47 minutos	13 minutos

A partir de las estimaciones realizadas por medio del método de Kirpich se puede concluir que se trata de cuencas hidrográficas con tiempos de concentración bastante reducidos, asociados a las pronunciadas pendientes promedio de sus cauces principales y la corta distancia recorrida por estos últimos.

Este valor se constituye como un indicador que deja en evidencia la rápida respuesta de ambas cuencas ante eventos de precipitación. Por tratarse de zonas con altos índices de pluviosidad y con importantes tasas de generación de escorrentía durante la época lluviosa, se recomienda desarrollar medidas de precaución para reducir la vulnerabilidad en zonas susceptibles a crecidas e inundaciones de los ríos. Se trata de afluentes que pese a sus reducidas dimensiones son capaces de transportar grandes volúmenes de escorrimento superficial.

Estimación del caudal promedio

La estimación del caudal promedio para los cursos de agua superficial es realizada mediante el Aforo, actividad que consiste en la determinación de la variable hidrológica denominada “**Descarga**” (Q) la cual es representada en unidades de volumen por unidad de tiempo. Generalmente es expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s), y es calculado a partir de la expresión:

$$Q = A * V$$

Ecuación 1.3

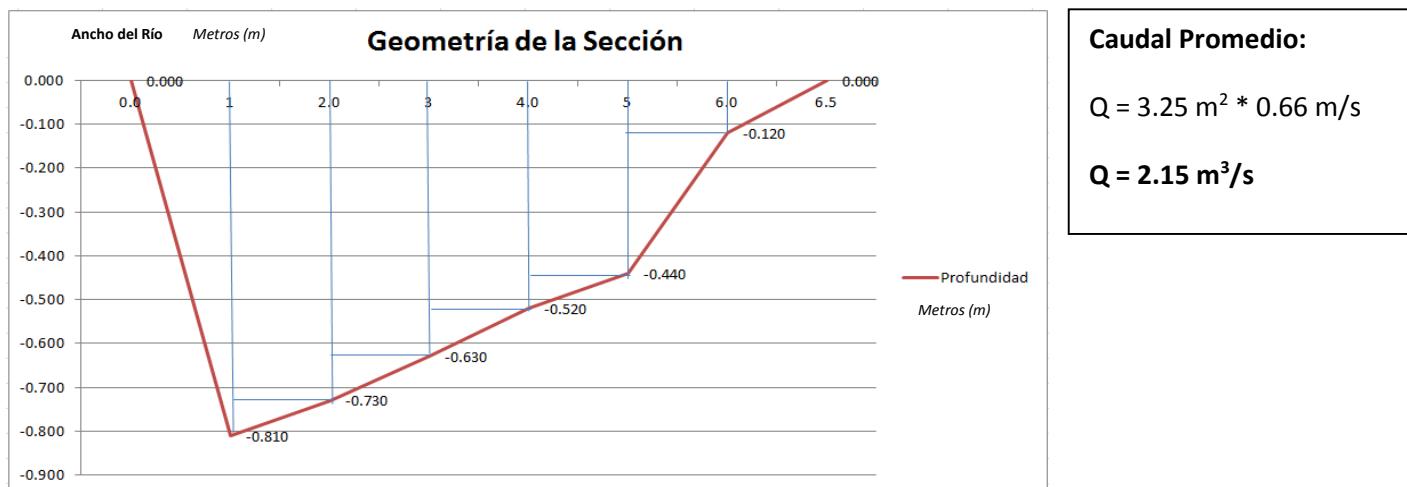
Donde (A) corresponde al área de la sección transversal del río en metros cuadrados (m^2) y (V) representa la velocidad de flujo medida en metros por segundo (m/s).

En este caso en particular, el caudal promedio fue determinado mediante el **aforo por el método del flotador**. Dicho método consiste, a grandes rasgos, en el desarrollo de las siguientes actividades: 1- Inicialmente se procede con levantamiento de las dimensiones que conforman la geometría del cauce (Área) mediante el vadeo; 2- Posteriormente se procede con la determinación de la velocidad promedio de flujo (V) en la sección transversal establecida, mediante el uso de flotadores cuya distancia y tiempo de recorrido son cuidadosamente observados.

Luego de levantada la información necesaria, se procede con la estimación del caudal promedio en cada sección de flujo estudiada, mediante la aplicación de la ecuación 1.3. Los resultados son mostrados a continuación:

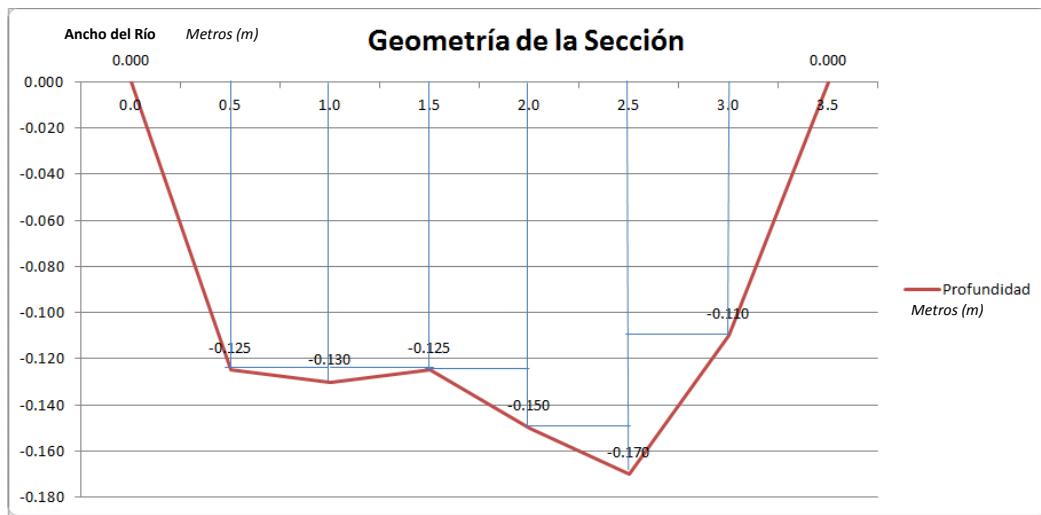
- **Subcuenca del río Pacora (Afluente Primario)**

Descripción	Valor
Coordinadas del Punto de Aforo	688376 Este; 1023711 Norte
Área de drenaje hasta el punto de aforo	10.9 Km ²
Longitud del Cauce	6.53 Km
Área de la Sección Transversal	3.25 m ²
Velocidad Media de Flujo	0.66 m/s



- **Microcuenca del río Pacora (Afluente Secundario)**

Descripción	Valor
Coordenadas del Punto de Aforo	688132 Este; 1023993 Norte
Área de drenaje hasta el punto de aforo	94.3 hectáreas
Longitud del Cauce	1.73 Km
Área de la Sección Transversal	0.405 m ²
Velocidad Media de Flujo	0.4773 m/s



Caudal Promedio:

$$Q = 0.405 \text{ m}^2 * 0.4773 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{Q = 0.19 \text{ m}^3/\text{s}}$$

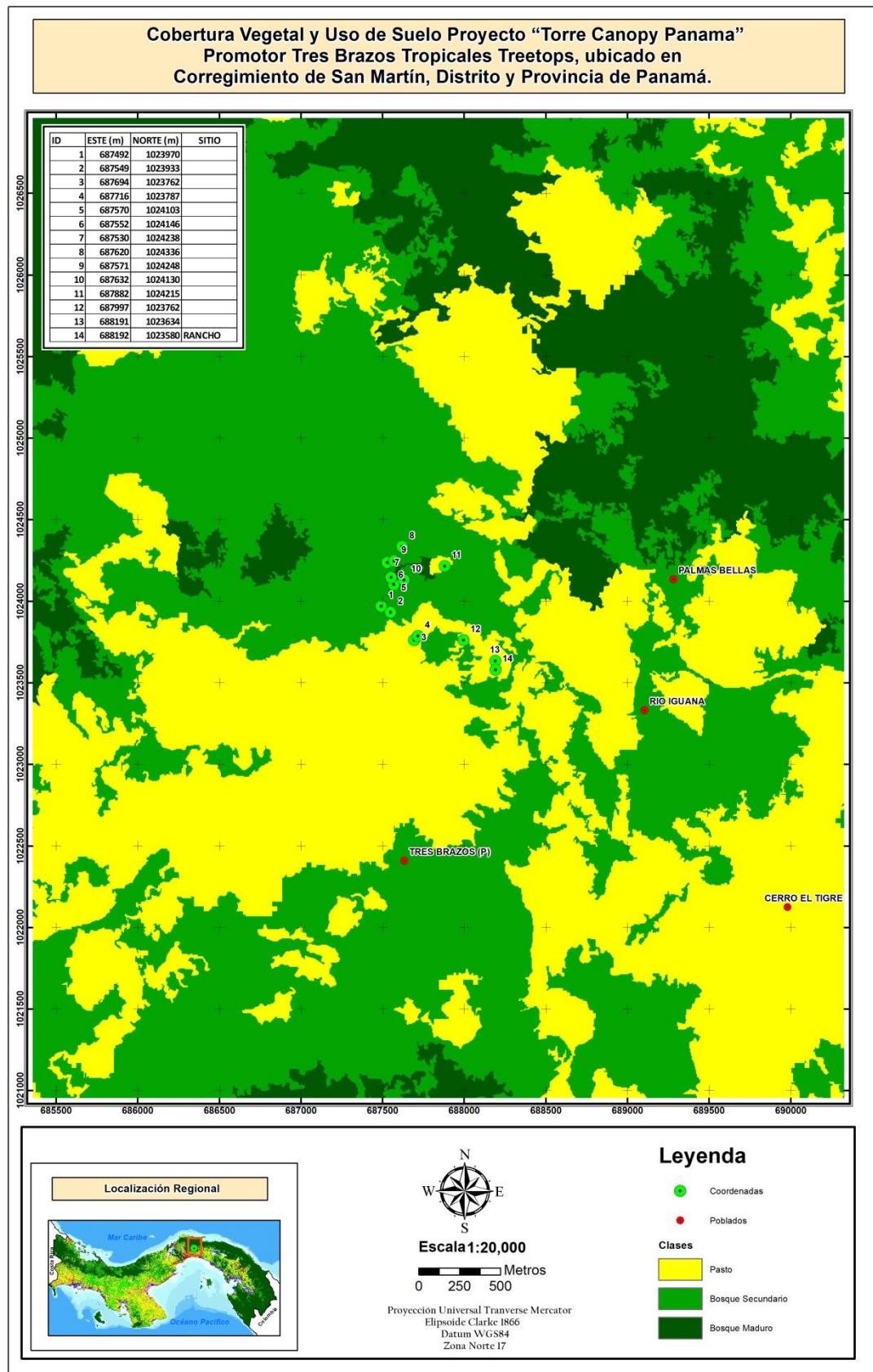
CONSIDERACIONES FINALES

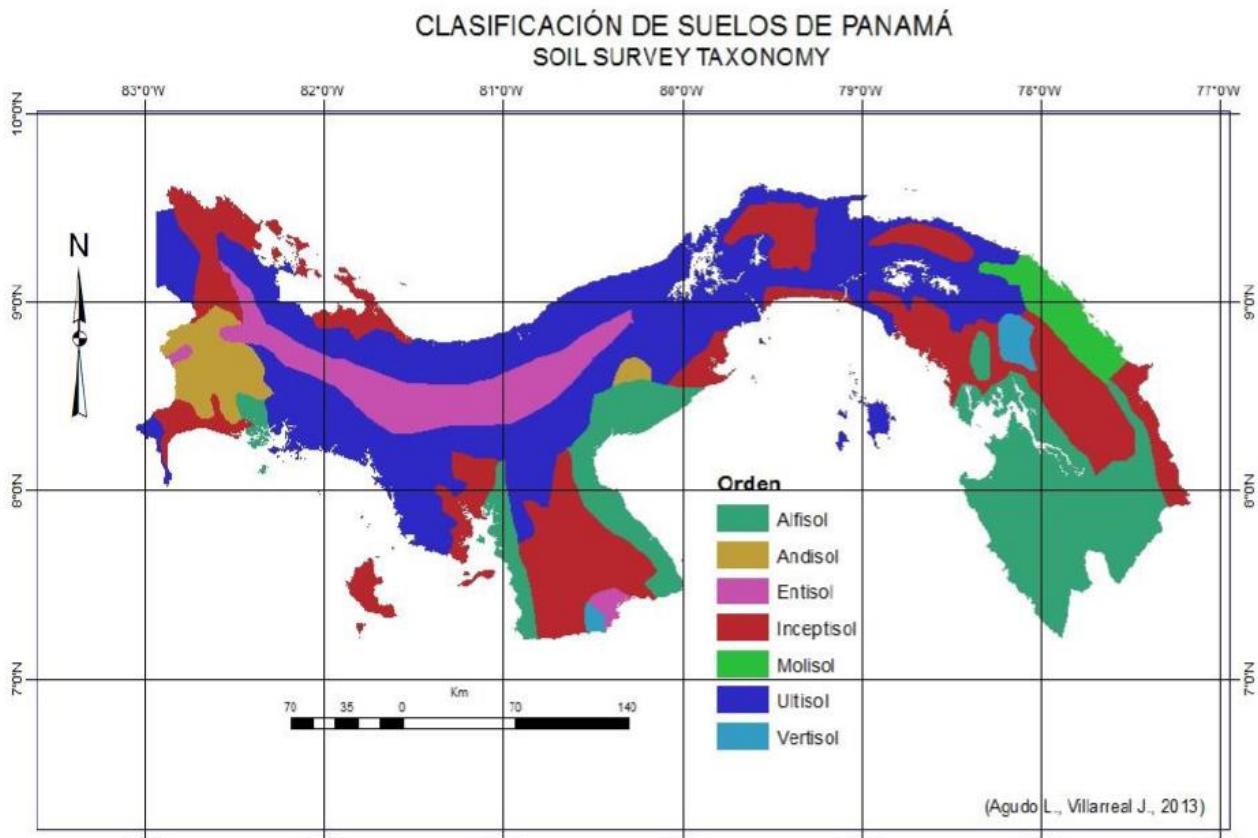
Con base en el estudio hidrológico realizado fue posible evaluar las condiciones de las cuencas hidrográficas de pequeño porte que serán, de alguna forma, influenciadas por los proyectos de desarrollo turístico y recreacional planteados al inicio de este informe. Los resultados demuestran que se trata de sistemas hidrológicos cuyas condiciones físicas, como la topografía y las características de la red de drenaje, inducen de forma natural aumentos en la cantidad de escorrentía superficial generada luego de eventos de precipitación.

Los usos de la tierra planteados por el proyecto del promotor TRES BRAZOS TROPICAL TREE TOPS PANAMA, S.A. prometen causar impactos positivos sobre la condición antes mencionada, toda vez que proponen la preservación del dosel del bosque, es decir, de la cobertura vegetal en su estado natural. Al permitir la regeneración y garantizar la conservación de bosques secundarios y maduros, se reestablece gradualmente el equilibrio hidrológico de la zona, como consecuencia del aumento de la capacidad de infiltración del agua en el suelo, y en detrimento del proceso de escurrimiento.

Como recomendación final, es resaltada la importancia de informar al promotor sobre los cuidados adecuados que deben ser tomados durante las fases de construcción y funcionamiento del proyecto, principalmente si involucran permanecer o trabajar en zonas próximas al lecho de los principales cursos de agua de la región.

ANEXOS





Registro Fotográfico.



Equipo Técnico llegando al área del proyecto



Afluente Secundario (Microcuenca). Sitio de Aforo



Muestreo de la fuente hídrica para determinación de parámetros de calidad de agua