

1.6 HIDROLOGÍA

1.6.1 GENERALIDADES

Los recursos hídricos son vitales y de suma importancia para el desarrollo de toda actividad, ya sea en forma directa o indirecta, por tanto su uso y aprovechamiento debe ser económico, racional y múltiple. La abundancia o escasez de agua de una zona, así como su calidad pueden ocasionar restricciones en su aprovechamiento, así como conflictos en los ecosistemas.

El área de estudio forma parte de la Vertiente del Atlántico, caracterizada por presentar ríos de gran magnitud, profundos, navegables y de caudal regular que desaguan en el río Amazonas, que a su vez desemboca en el océano Atlántico.

El objetivo de este capítulo, es evaluar y definir las características del escurrimiento hidrológico superficial del área del proyecto de prospección sísmica. Ello implica el estudio de las principales corrientes de agua, caudales y sus variaciones, así como el examen de posibilidades de máximas de escurrimiento para determinados períodos de retorno.

El estudio se llevará a cabo en parte del río Corrientes, el cual es un afluente por la margen derecha del río Tigre. El río Corrientes es un río de gran magnitud, con caudales que superan varios miles de m^3/seg , además de ser importante fuente de abastecimiento de recursos hidrobiológicos para la población de la región, constituyen a su vez medios de transporte fluvial que permiten el desplazamiento de embarcaciones de elevada capacidad. Sin considerar su incuestionable valor ecológico, es frecuente también que este río, pueda inundar amplias extensiones de tierras cuando se producen períodos de muy fuertes precipitaciones.

1.6.2 LA RED HIDROGRÁFICA

La caracterización hidrológica comprende la descripción hidrográfica de los principales ríos y quebradas así como la cuantificación de sus caudales y comportamiento de estos en forma espacial y temporal.

En éste caso específico describiremos la hidrografía de la cuenca del río Tigre, la del río Corrientes y las quebradas que comprometen al área de estudio. Tal como se puede observar en el Mapa Hidrográfico Regional en la **Figura 1.6-1**.

Figura 1.6-1 Mapa Hidrográfico Regional donde se ubica el Área de Estudio

1.6.2.1 Descripción Hidrográfica de la cuenca del Río Tigre

La cuenca del río Tigre recorre territorio peruano en la zona del Llano Amazónico. El río Tigre nace en la cordillera Oriental de los Andes ubicadas en tierras ecuatorianas. Es uno de los principales afluentes del río Marañón. Su cauce mide unos 500 metros de ancho en la desembocadura y 150 metros en la confluencia del Pintoyacu con el Cunambo, punto por donde ingresa a territorio peruano.

Su lecho es profundo y navegable todo el año, aunque encajado y tortuoso; en todo su cauce no hay más islas que las de Lupulillo y Yacumana. Cerca de Piedra Lisa hay unas "cashoeiras" (pequeñas cascadas) que en el periodo de vaciantes, dificultan la navegación; durante el periodo de crecientes de 4 pies. Los principales tributarios del río Tigre, en orden de confluencia son: río Pucacuro, que confluye por su margen izquierda; y el río Corrientes, por la margen derecha. Siendo éste último el afluente más grande e importante del sistema fluvial del río Tigre.

Según el Inventario Nacional de Aguas Superficiales (ONERN, 1980), el área de la cuenca del río Tigre, asciende a 45,073 km², su longitud total asciende a 1,446 km. y el caudal medio anual estimado es de 3,279.0 m³/s.

1.6.2.2 Descripción Hidrográfica del Río Corrientes

El río Corrientes, es el principal afluente del río Tigre por la margen derecha, es ancho y de curso sinuoso, sus aguas son turbias y con rápidas corrientes. Tiene su origen en la confluencia de los ríos Guyuyacu y Bufeoyacu en la república del Ecuador, ingresa a territorio peruano en las coordenadas 76°23'36" de longitud Oeste y 02°23'59" de latitud Sur. La mayor parte de su recorrido es por territorio peruano con 499 km (925 millas náuticas). Su recorrido tiene una dirección Nor Oeste - Sur Este hasta desembocar en el río Tigre, aproximadamente a 148 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Tigre y Pucacuro. Es el principal río del ámbito de estudio.

Según el Inventario Nacional de Aguas Superficiales (ONERN, 1980) el área de la cuenca del río Corrientes, que recorre territorio peruano, asciende a 15,025 km², su longitud total asciende a 1,363 km y el caudal medio anual estimado es de 1,154.0 m³/s.

Presenta playas y quebradas a lo largo de su recorrido. El terreno aledaño es generalmente alto no inundable a excepción del área de la desembocadura y cercanías, donde se pueden apreciar partes bajas parcialmente inundables.

Basándonos en los datos obtenidos en el Derrotero de la Amazonía Peruana, se tiene que el río Corrientes presenta una creciente que se inicia en el mes de febrero, alcanza una máxima en el mes de mayo y continúa hasta junio. La vaciante se inicia en el mes de agosto y alcanza el nivel mínimo del río en el mes de enero, pudiendo ocurrir variaciones de nivel intempestivo e irregular. La variación del nivel del río Corrientes entre creciente y vaciante es variable, pudiendo alcanzar una profundidad máxima de casi 10 m.

1.6.2.3 Principales Afluentes del Río Corrientes

Afluentes por la Margen Derecha

Por la margen derecha los principales afluentes que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto son la quebrada Cauchio, la quebrada Sabalillo, la quebrada Tamborana y la quebrada Guerrero.

Afluentes por la Margen Izquierda

Por la margen izquierda los principales afluentes que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto son la laguna Yachuarcana, la laguna Lupuna, la quebrada Pizango, la quebrada Aucayacu, la quebrada Nayanamaca y el río Pavayacu.

1.6.2.4 Navegabilidad del Río Corrientes

En épocas de creciente, el río Corrientes es navegable por buques de hasta 4 pies de calado, hasta la boca del río Macusari. En época de vaciante puede navegarse solo con embarcaciones de menor calado. La navegación nocturna es recomendable solo en noches claras.

1.6.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DEL ÁREA DEL PROYECTO

El área de estudio constituye parte de la cuenca del río Corrientes constituido por las quebradas Aucayacu, Nayanamaca, Pizango y el río Pavayacu afluentes por la margen izquierda y las quebradas Agua Blanca y Moteloyacu afluentes del río Pavayacu.

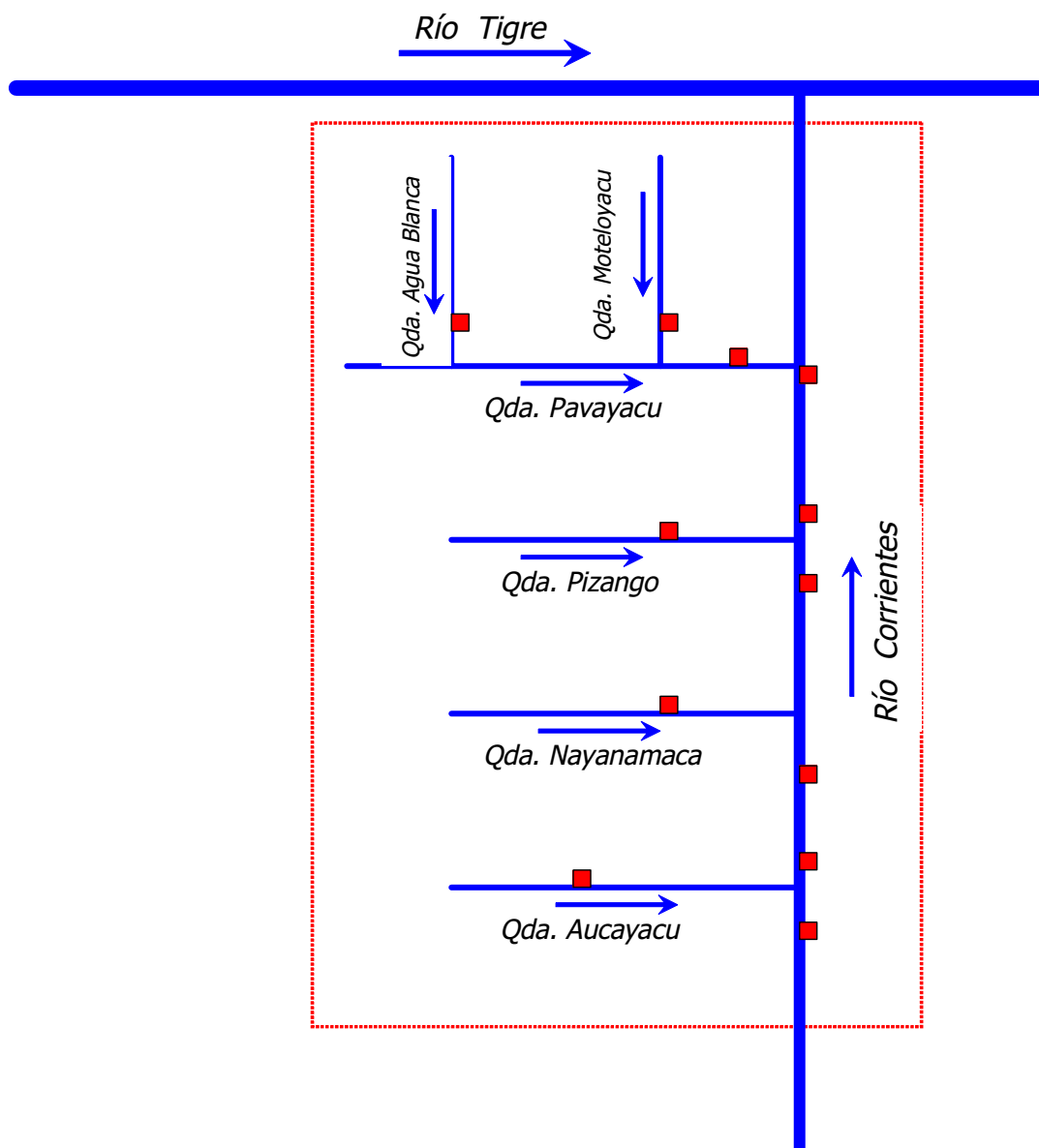
Desde el punto de vista fisiográfico y geomorfológico, la Cuenca del río Corrientes se encuentra totalmente dentro del Llano Amazónico, la cual está conformada por una extensa penillanura, con ligeros desniveles producto de una prologada erosión, actualmente sometida a un proceso de abrasión y destrucción por los ríos que la cruzan. Presenta terrazas subcrecientes que forman las transiciones hacia la denominada "Tierra Firme", ligeramente inclinadas y onduladas, que se encuentran entre 2 a 6 m sobre el cauce del río.

A lo largo del cauce del río Corrientes se encuentran acumulaciones fluviales conformadas por bancos o playas de arenas e islas de variada forma y dimensión. Los materiales acumulados son de carácter migratorio y estacional durante los períodos de crecidas. En este sentido, la energía fluvial arrastra sedimentos en volúmenes considerables depositándolos en zonas de inundación.

En la **Figura 1.6-2**, se muestra el Diagrama de la Red Fluvial del ámbito de estudio, en el cual se indican, también, los puntos de control considerados.

Los caudales de los ríos y quebradas están asociados principalmente a la ocurrencia de las precipitaciones que ocurren en sus cuencas de drenaje, así como a las características fisiográficas que facilitan o dificultan los escurrimientos superficiales y subsuperficiales. El área de estudio corresponde a un clima de selva tropical o permanentemente húmedo donde las copiosas lluvias favorecen el desarrollo de una exuberante vegetación.

Figura 1.6-2 Diagrama de la Red Fluvial del ámbito de estudio



LEYENDA	
Punto de muestreo (Caudal en avenidas, Caudal en Estiaje) en m ³ /seg	■
Sentido de la corriente	→
Área de estudio del proyecto

1.6.3.1 Descripción de las Quebradas

1.6.3.1.1 Descripción de la Quebrada Aucayacu

La quebrada Aucayacu nace en las coordenadas UTM 430,951 E, 9'646,035 N. Su recorrido presenta una dirección de Nor Este – Sur Oeste, desembocando en el río Corrientes en las coordenadas 429,485 E, 9'645,783 N, pertenece a la CN Santa Rosa.

Este río tiene aguas clara (transparentes con una sensación verdosa), indicando que son principalmente producto de un escurrimiento de áreas donde no hay perturbación del suelo ni de su cauce, hay presencia de cascajo.

La quebrada Aucayacu presenta una longitud de 1,546 km y se encuentra ubicada a una altura promedio de 152 msnm.

1.6.3.1.2 Descripción de la Quebrada Tunguiyacu

La quebrada Tunguiyacu pertenece a la CN San José de Nueva Esperanza. Nace en las coordenadas UTM 432,657 E, 9'657,770 N. Su recorrido presenta una dirección de Nor Este – Sur Oeste, desembocando en el río Corrientes en las coordenadas 429,707 E, 9'630,439 N.

Tiene un ancho de cauce promedio de 15 m en estación de fuertes precipitaciones, su profundidad promedio es de 1.93 m. El color de sus aguas es clara (transparentes con tono verdoso), hay presencia de palizada en su cauce lo que dificulta el acceso y el tránsito por sus aguas. En época de estiaje el caudal que presenta es mínimo e inclusive llega a ser nulo.

La quebrada Aucayacu presenta una longitud de 32,696 km y se encuentra ubicada a una altitud promedio de 149 msnm.

1.6.3.1.3 Descripción de la Quebrada Agua Blanca:

La quebrada Agua Blanca es afluente del río Pavayacu, pertenece a la CN Santa Rosa. Nace en las coordenadas UTM 437,374 E, 9'642,108 N. Ubicada a un altitud promedio de 124 msnm. Desemboca en el río Corrientes en las coordenadas 445,117 E, 9'642,659 N.

Tiene un ancho de cauce promedio de 20 m en estación de altas precipitaciones, su profundidad promedio es de 3.4 m. Sus aguas son negras, debido al contenido de materia orgánica; presenta palizada en su cauce lo que dificulta el acceso y el tránsito. En época de estiaje el caudal que presenta es muy reducido.

1.6.3.1.4 Descripción de la Quebrada Moteloyacu:

La quebrada Moteloyacu, es afluente del río Pavayacu. Nace en las coordenadas UTM 439,781 E, 9'641,648 N. Su recorrido presenta una dirección de Este –Oeste. Desemboca en el río Corrientes en las coordenadas 446,168 E, 9'631,370 N.

Tiene un ancho de cauce promedio de 19 m, su profundidad promedio es de 1.6 m. El color de sus aguas es beige, en sus orillas presenta hojarasca y palizada. En época de estiaje el caudal que presenta es mínimo e inclusive nulo.

La quebrada Moteloyacu se encuentra ubicada a una altitud promedio de 206 msnm y tiene una longitud de 18,730 km.

1.6.3.1.5 Descripción de la Quebrada Pizango:

La quebrada Pizango ubicada, pertenece a la CN San Ramón. Nace en las coordenadas UTM 435,108 E, 9'638,054 N. Su recorrido presenta una dirección de Nor Oeste – Sur Este, desembocando en el río Corrientes en las coordenadas 439,632 E, 9'628,674 N.

Tiene un ancho de cauce promedio de 20 m en estación de fuertes precipitaciones, su profundidad promedio es de 1.40 m. En su cauce se observan troncos de árboles los cuales caen debido a la erosión e impiden el normal flujo de corriente. El color de sus aguas es marrón claro, en sus orillas se observa arena y palizada.

La quebrada Pizango presenta una longitud de 12.468 km y se encuentra ubicada a una altura promedio de 137 msnm.

1.6.3.1.6 Descripción del río Pavayacu:

El río Pavayacu pertenece a la localidad de Dos de Mayo. Nace en las coordenadas UTM 435,700 E, 9'665,443 N. Su recorrido presenta una dirección de Sur a Norte, con una longitud de 73,546 km. Desemboca en el río Corrientes en las coordenadas 447,585 E, 9'623,716 N, siendo dicha confluencia la entrada a la zona del presente estudio.

Tiene un ancho de cauce promedio de 30 m en estación de fuertes precipitaciones, su profundidad promedio es de 2.8 m. Sus aguas son negras. En época de estiaje su caudal disminuye y aumenta la presencia de palizada y troncos caídos por acción de la erosión, lo cual hace posible el recorrido solo en embarcaciones pequeñas como "peque – peque".

1.6.4 DESCARGAS HÍDRICAS

1.6.4.1 Aforos de los ríos en las Etapas de Campo

Durante las etapas de campo realizadas en 2 periodos; setiembre (estación húmeda) y noviembre (estación muy húmeda), se ha efectuado el levantamiento de información referida a las características hídricas del ámbito de estudio, principalmente aforos (medición de caudales) en ríos y quebradas que conforman la red hidrográfica del ámbito de estudio. Los caudales medidos en los diferentes periodos reflejan una parte del comportamiento de estos a lo largo del año.

Con el propósito de conocer la cantidad de agua que fluye por los ríos en un determinado momento, se ha efectuado la medición de los caudales de los ríos y quebradas en 12 puntos de control, abarcando la mayor parte de la red hidrográfica del ámbito de estudio.

La distribución y codificación de los puntos de medición, realizados durante los dos periodos de campo se muestra en el **Cuadro 1.6-1**.

Cuadro 1.6-1 Lista de Puntos de Aforo en el área de estudio

Código	Lugar de Escorrentía	Coordenadas UTM		
		Este	Norte	Altitud
HID-1	Río Corrientes	428,234	9'646,226	151
HID-2	Quebrada Aucayacu	430,298	9'650,710	152
HID-3	Río Corrientes	428,909	9'643,659	154
HID-4	Quebrada Tunguiyacu	427,765	9'639,504	149
HID-5	Río Corrientes	438,845	9'628,535	142
HID-6	Río Corrientes	441,084	9'628,250	143
HID-7	Quebrada Agua Blanca	445,032	9'642,759	124
HID-8	Quebrada Moteloyacu	446,123	9'631,392	206
HID-9	Río Corrientes	447,811	9'623,874	124
HID-10	Quebrada Pizango	439,627	9'628,766	137
HID-11	Río Pavayacu	447,680	9'625,770	122
HID-12	Río Corrientes	428,853	9'644,635	106

Fuente: DOMUS, Consultoría Ambiental, 2008.

Metodología para realizar medición de caudales

La metodología desarrollada para cumplir con este propósito ha sido la siguiente:

1. Sobre la cartografía disponible (escala 1: 100 000) se ubicaron los puntos de control a ser aforados durante la etapa de campo. Estos puntos han sido considerados tomando en cuenta la accesibilidad y la representatividad del aforo en dicho punto. A cada punto de control se le ha codificado con las iniciales de la especialidad: HID, seguidas de un número correlativo.

Para facilitar el levantamiento de datos de cada punto de control se elaboró una ficha de campo, en la cual se consignaron todos los datos medidos, así como los datos observados, parte de esta información se encuentran en la **Figura.1.6-3** (Ficha de campo).

El acceso a los puntos de control se ha realizado por vía fluvial o vía terrestre. Así mismo, se contó con personal de apoyo de las comunidades aledañas, quienes han participado en el proceso de aforo de los ríos y quebradas; y también han cumplido la función de guías durante toda la etapa de campo.

2. El aforo de los ríos en los puntos seleccionados se ha realizado utilizando el Método del Flotador, el cual toma en cuenta la sección del río y la velocidad superficial en dicha sección. El procedimiento seguido es el siguiente:

- Identificación del punto de Aforo (sección estable y recta, líneas de corriente paralelas, velocidad del flujo medible, etc).
- Cálculo del ancho y profundidad del río (sección); para lo cual se ha utilizado una sonda (cable graduado de 100 m, y un peso de hierro de 10 kg). Se han realizado varias mediciones de las profundidades a lo largo de la sección del río, como también del ancho total del río, lo cual ha permitido determinar el área de la sección del río por el cual fluye el agua (A).
- Cálculo de la velocidad superficial de las aguas del río (V_s); en un tramo seleccionado se hizo transitar un flotador, midiendo el tiempo que demora en desplazarse los 25 ó 50 m de recorrido. Entre los instrumentos que se utilizaron para realizar estas mediciones tenemos; flotador (madera seca u ramitas de árboles), cronómetro y wincha de 50 m de longitud.
- Con los datos obtenidos en el campo, se procedió a realizar los cálculos y gráficos respectivos (etapa de gabinete), llegando finalmente a determinar los caudales parciales (Q_p) para cada sección del río, multiplicando el área de la sección del río (A) por la velocidad superficial (V_s) por un coeficiente que transforma la velocidad superficial en velocidad media (K). Este coeficiente toma el valor de 0.8 en forma general.

- Cálculo del caudal total (Q_t); es el resultado de la sumatoria de los caudales parciales (Q_p).

3. Los caudales de los ríos calculados con los procedimientos descritos en los párrafos anteriores, sólo son válidos para el día en que se efectuaron dichas mediciones, ya que este parámetro (caudal) responde en forma directa a las condiciones de precipitación que ocurren en las cuencas (aguas arriba del punto de control respectivo), y tiene una variabilidad muy marcada a lo largo de los días del año, principalmente en la época de verano.

Los resultados obtenidos se muestran en el **Cuadro 1.6-2** (estación muy húmeda) y el **Cuadro 1.6-3** (estación húmeda), donde se indica para cada punto de control, la ubicación exacta (coordenadas), altitud, profundidad promedio del río, ancho, área de la sección del río, velocidad media y finalmente el caudal obtenido. Así mismo, se consigna la fecha en el que se efectuó dicho aforo. Ver las secciones de los distintos puntos de control evaluados en campo en **ANEXO 1**.

De todos los puntos analizados, los caudales medidos en la estación muy húmeda varían entre $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ (Quebrada Aucayacu) y $266.75 \text{ m}^3/\text{s}$ (Río Corrientes); y los caudales en la estación húmeda varían entre $0.00 \text{ m}^3/\text{s}$ (Quebrada Aucayacu) y $300.92 \text{ m}^3/\text{s}$ (Río Corrientes).

En conclusión, la mayor parte de los caudales de los ríos y quebradas obtenidos en la estación muy húmeda tienen un valor más alto comparado con los caudales medidos en la estación húmeda. No obstante, en la estación húmeda se ha obtenido caudales mayores en 4 puntos de control, los cuales se deberían básicamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones ocurridas durante el trabajo de campo en el mes de setiembre, lo cual es de poca trascendencia ya que esta zona se caracteriza por presentar abundantes precipitaciones durante todo el año.

Por otro lado el color de las aguas de los distintos puntos de control está principalmente ligado a las condiciones de flujos superficiales. La mayoría de los ríos tienen sus aguas de color marrón, las cuales se dan cuando ocurren precipitaciones en sus respectivas cuencas de drenaje y cuando los cauces son más inestables.

Figura 1.6-3 Ficha de Campo

[illegible]

Cuadro 1.6-2 Caudales Medidos en los Puntos de Control – Estación Muy Húmeda

RÍOS Y/O QUEBRADAS	PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m)	ANCHO DE RIO/QUEB. (m)	PROFUNDIDAD PROMEDIO (m)	AREA (m2)	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s) *	CAUDAL (m3/s)	FECHA
		Este (m)	Norte (m)							
Río Corrientes	HID-1	428,234	9'646,226	151	47.6	4.43	245.08	0.33	161.24	22/11/2008
Quebrada Aucayacu	HID-2	430,298	9'650,710	152	2.0	0.33	0.49	0.14	0.07	24/11/2008
Río Corrientes	HID-3	428,909	9'643,659	154	82.5	3.91	416.80	0.64	266.75	25/11/2008
Quebrada Tunguyacu	HID-4	427,765	9'639,504	149	15.6	1.93	25.11	0.00	6.78	25/11/2008
Río Corrientes	HID-5	438,845	9'628,535	142	93.0	3.13	330.75	0.67	221.6	29/11/2008
Río Corrientes	HID-6	441,084	9'628,250	143	90.0	2.79	323.20	0.61	258.56	29/11/2008
Quebrada Agua Blanca	HID-7	445,032	9'642,759	124	20.1	3.78	76.34	0.78	59.32	27/11/2008
Quebrada Moteloyacu	HID-8	446,123	9'631,392	206	28	2.23	57.90	0.61	35.38	28/11/2008
Río Corrientes	HID-9	447,811	9'623,874	124	49	2.63	105.65	1.19	158.475	28/11/2008
Quebrada Pizango	HID-10	439,627	9'628,766	137	20	1.33	22.85	0	2.057	29/11/2008
Río Pavayacu	HID-11	447,680	9'625,770	122	30	2.89	79.90	1.53	122.25	28/11/2008
Río Corrientes	HID-12	428,853	9'644,635	106	78	4.80	378.15	0.56	211.76	25/11/2008

Elaboración: DOMUS, Consultoría Ambiental, 2008.

Cuadro 1.6-3 Caudales Medidos en los Puntos de Control – Estación Húmeda

RÍOS Y/O QUEBRADAS	PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m)	ANCHO DE RIO/QUEB. (m)	PROFUNDIDAD PROMEDIO (m)	AREA (m2)	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	CAUDAL (m3/s)	FECHA
		Este (m)	Norte (m)							
Río Corrientes	HID-1	428,234	9'646,226	151	45.7	4.10	187.25	83.00	155.42	05/09/2008
Quebrada Aucayacu	HID-2	430,298	9'650,710	152	2.8	0.11	0.24	0.00	0	07/09/2008
Río Corrientes	HID-3	428,909	9'643,659	154	70.0	4.02	309.88	0.39	120.85	09/09/2008
Quebrada Tunguiyacu	HID-4	427,765	9'639,504	149	10.0	1.08	10.05	0.27	2.71	06/09/2008
Río Corrientes	HID-5	438,845	9'628,535	142	82.0	2.68	265.60	0.89	263.38	15/09/2008
Río Corrientes	HID-6	441,084	9'628,250	143	70.0	3.30	289.35	1.04	300.92	15/09/2008
Quebrada Agua Blanca	HID-7	445,032	9'642,759	124	20.1	2.98	59.61	0.16	9.54	13/09/2008
Quebrada Moteloyacu	HID-8	446,123	9'631,392	206	10.5	0.98	9.41	0.1	0.94	14/09/2008
Río Corrientes	HID-9	447,811	9'623,874	124	100	2.59	278.70	0.51	142.14	15/09/2008
Quebrada Pizango	HID-10	439,627	9'628,766	137	12	1.49	15.36	0.09	1.38	15/09/2008
Río Pavayacu	HID-11	447,680	9'625,770	122	6.1	2.70	4.10	0	102.81	14/09/2008
Río Corrientes	HID-12	428,853	9'644,635	106	65.5	2.94	154.71	0.45	69.62	05/09/2008

Elaboración: Domus, Consultoría Ambiental, 2008.

1.6.4.2 Zonificación del Esgurrimiento Superficial

Ante la insuficiente información hidrométrica y heterogeneidad de los períodos de registros, surge la necesidad de aplicar algunos modelos hidrológicos para la determinación del escurrimiento superficial, a partir del cual será posible iniciar el proceso de caracterización hidrológica de los ríos y quebradas del ámbito de estudio.

En el presente estudio se desarrollo el modelo de "Zonificación del Esgurrimiento Superficial", que es un modelo hidrológico que permite caracterizar un determinado espacio, a través de zonas homogéneas denominados "Zonas de Vida". Las Zonas de Vida son áreas homogéneas desde el punto de vista topográfico, climático, geológico, biológico y consecuentemente también desde el punto de vista hidrológico, por tanto su uso permite determinar los escurrimientos superficiales medios anuales, y es de alta confiabilidad y de fácil aplicación. A continuación se muestra su ecuación general:

$$\overline{E} = \overline{K} \cdot \overline{PP}$$

Donde:

E: Esgurrimiento superficial medio anual en mm.

K: Coeficiente de escorrentía (adimensional).

PP: Precipitación media anual en mm.

Para el presente estudio, la precipitación media anual, de cada zona de vida, fue determinada empleando el "Diagrama Bioclimático para la Clasificación de Zonas de Vida en el Mundo", desarrollado por L.R. Holdridge, tomándose para cada zona de vida el promedio de sus valores extremos.

El coeficiente de escurrimiento fue establecido en una primera etapa sobre la base de un análisis teórico, mediante balances hídricos efectuados para cada provincia de humedad y empleando el Diagrama antes citado y el "Nomograma de Movimientos de Agua en Asociaciones Climáticas", con este último se determinó para cada zona de vida la evaporación real para luego obtener el valor de la relación de evapotranspiración potencial.

En el área de estudio del proyecto se identificó una sola formación ecológica:

- Bosque muy húmedo – Premontano Tropical transicional a bosque húmedo – Tropical (bmh - PT/BH – T).

Debido a que el área de estudio se encuentra dentro de una misma Zona de Esgurrimiento Superficial, toda la zona tendrá las mismas características de temperatura, precipitación y coeficiente de esgurrimiento.

Basándonos en el método descrito líneas arriba hemos determinado las descargas medias anuales (m^3/s) de los cuerpos de agua evaluados.

El **Cuadro 1.6-4** presenta las características principales de las Zonas de Esgurrimiento Superficial correspondientes al área de influencia.

Cuadro 1.6-4 Caracterización de las Zonas de Esgurrimiento Superficial del Área del proyecto

Símbolo	Zona de Esgurrimiento Superficial	Precipitación (mm)*	Coeficiente de Esgurrimiento (k)**	Esgurrimiento Superficial (mm)
bmh – PT / bh – T	Bosque muy húmedo – Premontano Tropical a bosque húmedo - Tropical	3,000	0.57	1,710

* Valores calculados a partir de la ecuación $P = f(H)$, descrita en el estudio de Clima y Meteorología.

** Adaptado del Inventario Nacional de Aguas Superficiales del Perú (ONERN, 1980).

1.6.4.2.1 Generación de Caudales Medios Anuales

La estimación de los caudales medios anuales en Puntos de Interés permiten obtener, desde el punto de vista hidrológico, un valor del caudal que representa, en primera instancia, una característica principal del río cuando no se dispone de registros de estaciones hidrométricas.

Cuando se dispone de registros hidrométricos, el caudal medio anual es el promedio ponderado de los caudales medios mensuales. Por supuesto, este valor (caudal medio anual) -por sí solo- no permite tener la idea de la variación temporal de los caudales, como ocurre con frecuencia cuando se trata de ríos de la vertiente del Amazonas, donde los registros hidrométricos no existen, o solo permiten cuantificar las variaciones de los niveles de los ríos.

En el área de estudio los ríos y quebradas no cuentan con estaciones donde se registren las variaciones de nivel de sus aguas. En este sentido, la generación de los caudales medios anuales en diferentes puntos de interés, se ha efectuado haciendo uso del modelo de Zonificación del Esgurrimiento Superficial explicado en el ítem anterior, y ello constituye un aporte importante para la caracterización hidrológica del ámbito de estudio.

Metodología para el Cálculo de los Caudales Medios Anuales

Para calcular el Caudal Medio Anual en cualquier punto de interés de la red hidrográfica del ámbito de estudio, a partir de las zonas de escurrimiento superficial, se sigue el procedimiento que se indica a continuación:

1. Ubicar sobre el Mapa Hidrológico el punto del río o quebrada (Px) en el cual se desea calcular su caudal medio anual.
2. Delimitar el área de drenaje o cuenca colectora a dicho punto.
3. Calcular el área cada zona de escurrimiento (A_i) ubicadas dentro de la cuenca de drenaje sobre el punto de interés.
4. Conservando adecuadamente la consistencia de la escala y de las unidades, calcular el caudal parcial (Q_i) de cada zona de escurrimiento, multiplicando el área (A_i) determinada en el paso anterior por la precipitación media anual (P_i) y por el coeficiente de escurrimiento (K_i), o simplemente por la lámina de escurrimiento superficial correspondiente (Esi), tal como se indica a continuación:

$$Q_i = A_i * P_i * K_i * F \text{ ó}$$

$$Q_i = A_i * Esi * F;$$

F , es el factor que transforma las unidades respectivas.

5. Finalmente se calculó el caudal medio anual (Q_t) mediante la sumatoria de los caudales parciales determinados para cada una de las Zonas de Escurrimiento.

$$Q_t = \text{Sumatoria de } Q_i$$

Cabe recalcar que los puntos de interés a evaluar se han ubicado en la boca de las subcuencas ubicadas en el área del proyecto.

En el **Cuadro 1.6-5**, se presentan las descargas medias anuales de los puntos de interés ubicados en el área de estudio generadas a partir del modelo de Escurrimiento Superficial. La **Figura 1.6-4** nos muestra la distribución espacial de estos puntos.

Figura 1.6-4 Mapa Hidrológico

Cuadro 1.6-5 Caudales Medios Anuales Generados (m^3/s) en el Área de Estudio

Cuencas / Ríos	Punto de Interés	Área (m^2)	Caudal Medio Anual Generado (m^3/s)
Subcuenca Pavayacu	1	696991623.3	37.79
Microcuenca Tunguiyacu	2	85134459.5	4.62
Microcuenca Pizango	3	40320616.4	2.19
Quebrada Aucayacu	4	1721268.8	0.09

Elaboración: Domus Consultoría Ambiental, 2009.

* Generado a partir del Modelo de Zonificación de Escurrimiento Superficial.

L.R. = Lugar de Referencia

1.6.4.3 Análisis de Precipitación Máxima en 24 horas dentro del área de estudio

Sobre las intensidades máximas en 24 horas, el servicio nacional de meteorología e Hidrología SENAMHI cuenta en la región con la estación de Bartra que es la que presenta un mayor registro de precipitación (1971-1980). En base a esta data se realizó el cálculo de tormentas hasta 1,000 años con el método de Gumbel y el método de Log Pearson III.

El período de retorno (T) se define como el intervalo de tiempo (años) que ocurre entre dos sucesos que igualan o superan un valor extremo considerado, X, en este caso la precipitación máxima. La intensidad (I), según Chow et al (1994), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h).

Para el cálculo de la descarga máxima extrema del área de estudio, se utilizaron dos métodos de dispersión, el Método de Gumbel (Pauet, 1964) y Distribución Log Pearson III (Foster, 1924). Los cuales se describen a continuación:

- MÉTODO DE GUMBEL

El "valor máximo" que se quiere determinar para un determinado período de retorno se determina por medio de la expresión:

$$x = x_m + D x = x_m + k.s_{n-1}$$

X: valor máximo (caudal o precipitación) para un período de retorno T.

x_m : media de la serie dada de valores máximos

D x: desviación respecto a la media, que se estima mediante el producto de: $k.s_{n-1}$

Donde:

k: factor de frecuencia, que indica el número de veces de desviación típica en que el valor extremo considerado excede a la media de la serie.

s_{n-1} : desviación estándar, desviación típica de los valores extremos.

El valor de la variable "k" se estima a partir del conocimiento del período de retorno en años y del número de años disponibles en la serie.

Así: $k = (y_T - y_n)/S_n$

y_T : variable de Gumbel para el período de retorno T. Se determina a partir del valor del período de retorno. El valor se puede obtener de la tabla adjunta. $y_T = -\ln(\ln(T/T-1))$.

y_n : valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas.

S_n : valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas.

En el **Cuadro 1.6-6** se presentan los valores de " y_T " para distintos periodos de retorno y en el **Cuadro 1.6-7** se tienen los valores de y_N y S_N para distintos periodos de retorno.

Cuadro 1.6-6 Valores de " y_T " para distintos periodos de retorno T.

T	2	5	10	25	30	50	75	100	250	500
y_T	0.366651	1.49994	2.25037	3.19853	3.38429	3.90194	4.31078	4.60015	5.5194	6.2136

Fuente: Pauiet, 1964.

Cuadro 1.6-7 Valores de " y_N " y " S_N " para distintos periodos de retorno T.

Nº Datos	y_N	S_N	Nº Datos	y_N	S_N	Nº Datos	y_N	S_N
1	0.36651	0.0000	35	0.54034	1.12847	69	0.55453	1.18440
2	0.40434	0.49838	36	0.54105	1.13126	70	0.55477	1.18535
3	0.42859	0.64348	37	0.54174	1.13394	71	0.55500	1.18629
4	0.44580	0.73147	38	0.54239	1.13650	72	0.55523	1.18720
5	0.45879	0.79278	39	0.54302	1.13896	73	0.55546	1.18809
6	0.46903	0.83877	40	0.54362	1.14131	74	0.55567	1.18896
7	0.47735	0.87493	41	0.54420	1.14358	75	0.55589	1.18982
8	0.48428	0.90432	42	0.54475	1.14576	76	0.55610	1.19065
9	0.49015	0.92882	43	0.54529	1.14787	77	0.55630	1.19147
10	0.49521	0.94963	44	0.54580	1.14989	78	0.55650	1.19227
11	0.49961	0.96758	45	0.54630	1.15184	79	0.55669	1.19306
12	0.50350	0.98327	46	0.54678	1.15373	80	0.55689	1.19382
13	0.50695	0.99713	47	0.54724	1.15555	81	0.55707	1.19458
14	0.51004	1.00948	48	0.54769	1.15731	82	0.55726	1.19531
15	0.51284	1.02057	49	0.54812	1.15901	83	0.55744	1.19604
16	0.51537	1.03060	50	0.54854	1.16066	84	0.55761	1.19675
17	0.51768	1.03973	51	0.54895	1.16226	85	0.55779	1.19744
18	0.51980	1.04808	52	0.54934	1.16380	86	0.55796	1.19813
19	0.52175	1.05575	53	0.54972	1.16530	87	0.55812	1.19880
20	0.52355	1.06282	54	0.55009	1.16676	88	0.55828	1.19945
21	0.52522	1.06938	55	0.55044	1.16817	89	0.55844	1.20010
22	0.52678	1.07547	56	0.55079	1.16955	90	0.55860	1.20073
23	0.52823	1.08115	57	0.55113	1.17088	91	0.55876	1.20135
24	0.52959	1.08646	58	0.55146	1.17218	92	0.55891	1.20196
25	0.53086	1.09145	59	0.55177	1.17344	93	0.55905	1.20256
26	0.53206	1.09613	60	0.55208	1.17467	94	0.55920	1.20315
27	0.53319	1.10054	61	0.55238	1.17586	95	0.55934	1.20373

Nº Datos	Y _n	S _n	Nº Datos	Y _n	S _n	Nº Datos	Y _n	S _n
28	0.53426	1.10470	62	0.55268	1.17702	96	0.55948	1.20430
29	0.53527	1.10864	63	0.55296	1.17816	97	0.55962	1.20486
30	0.53622	1.11237	64	0.55324	1.17926	98	0.55976	1.20541
31	0.53713	1.11592	65	0.55351	1.18034	99	0.55989	1.20596
32	0.53799	1.11929	66	0.55378	1.18139	100	0.56002	1.20649
33	0.53881	1.12249	67	0.55403	1.18242	101	0.56015	1.20701
34	0.53959	1.12555	68	0.55429	1.18342	---	---	---

Fuente: Pauiet, 1964.

- MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON III

La distribución Pearson III, o distribución Gama describe la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento dado en un proceso de Poisson. Cuando la población de acontecimientos es muy positivamente sesgada, los datos por lo general son transformados a Logaritmo y la distribución se llamó Distribución Log Pearson tipo III.

La fórmula de la Distribución Pearson tipo III es:

$$p(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(a)} (x - \gamma)^{a-1} e^{-(x-\gamma)/\beta}$$

Donde γ es la cota inferior de la β es un parámetro de escala, a un parámetro de forma, y $\Gamma()$ la función distribución, gama. Estos tres parámetros están relacionadas con la media μ , varianza σ^2 , y la oblicuidad g_x de la distribución como:

$$\mu = \gamma + a\beta, \sigma^2 = a\beta^2, g_x = 2/\sqrt{a}$$

La Distribución Log Pearson tipo III primero fue aplicada en la hidrología para describir la distribución de descargas anuales máximas (Foster, 1924). Log Pearson tipo III es extensamente utilizado en EE.UU para calcular repeticiones de inundación.

En el **Cuadro 1.6-8** se muestran los resultados obtenidos por el método de Gumbel para hallar tormentas en un número determinado de años con el registro de 10 años de información.

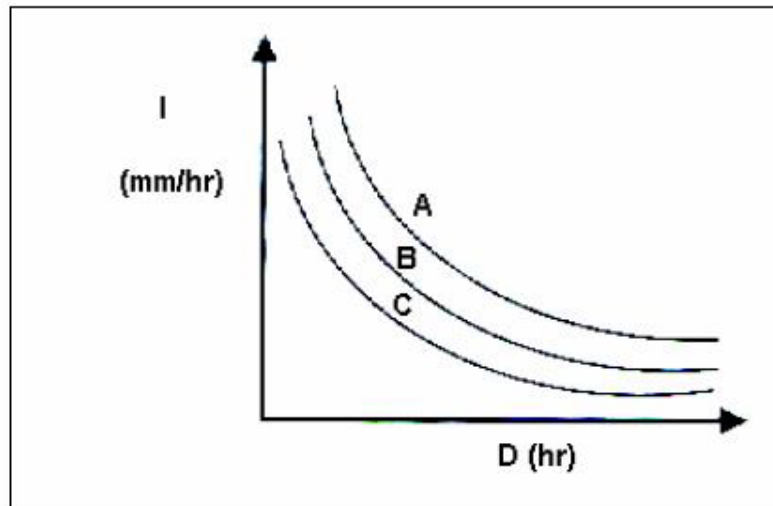
En el **Cuadro 1.6-9** se aprecian los resultados obtenidos mediante el método de Log-Pearson-III. Las figuras que representan los resultados obtenidos por medio del método de Gumbel y de Pearson, se muestran en las **Figuras 1.6-5 y 1.6-6**, respectivamente.

En las **Figuras 1.6-8 y 1.6-9**, se muestran las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F) para cada uno de los métodos empleados; el objetivo de éste gráfico es proporcionar patrones de conductas de las lluvias. Su uso se enmarca en la estimación de crecidas de cuencas hidrográficas.

Éstas curvas resultan de unir los puntos representativos de la Intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Témez, 1978).

El método utilizado en este estudio para determinar las curvas IDF es el que plantea Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad – Duración – Frecuencia) y cuyo esquema se muestra en la **Figura 1.6-5**.

Figura 1.6-5 Esquema de la Curva de Intensidad – Duración - Frecuencia



Fuente: Témez (1978)

Donde de acuerdo a la figura se tiene: D= Duración en horas; I= Intensidad de precipitación en mm/hr; A, B y C = representan curvas $I = f(t)$ de diferente periodo de retorno en años. En este sentido, la intensidad de precipitación está dado, por:

$$I = P / D$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y D es la duración dada usualmente en horas.

**Cuadro 1.6-8 Cálculo de Máximas Avenidas para 1000 años de retorno.
Método de Gumbel – Estación BARTRA**

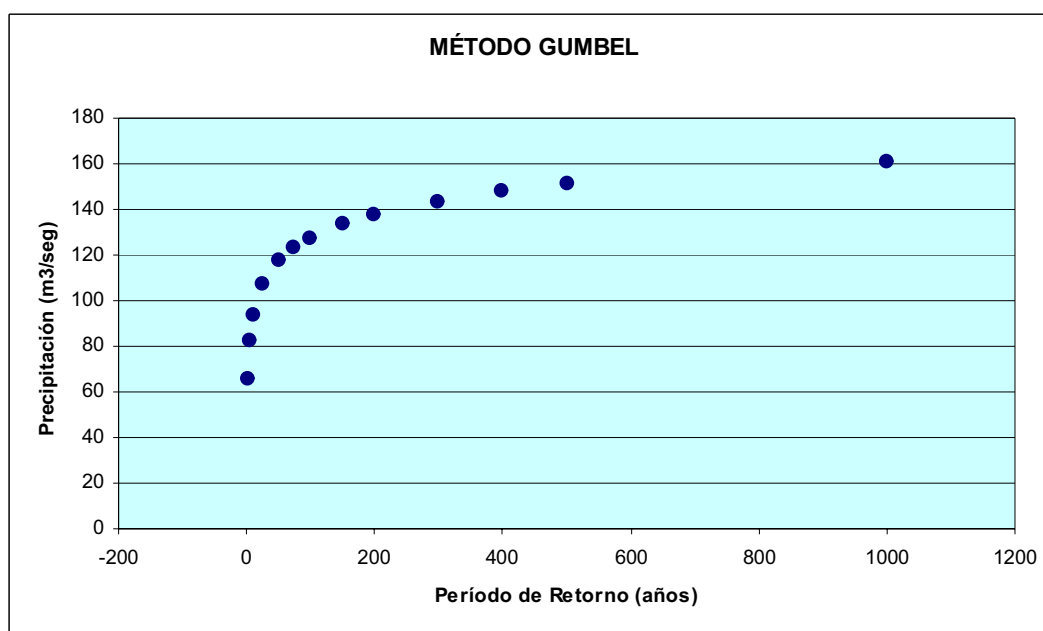
Orden	Año	PP (QX)	PP (orden)
1	1971	77.00	42.00
2	1972	76.00	65.00
3	1973	66.00	66.00
4	1974	115.00	73.00
5	1975	80.00	76.00
6	1976	42.00	77.00
7	1977	79.00	79.00
8	1978	85.00	80.00
9	1979	73.00	85.00
10	1980	65.00	115.00

T_R (Años)	Probabilidad	$\ln (\ln T_R / (T_R - 1))$	K_T	$P_{ESP} (m^3/s)$	$I (mm/h)$
2	0.5000	-0.3665	-0.16	65.84	2.74
5	0.2000	-1.4999	0.72	82.35	3.43
10	0.1000	-2.2504	1.30	93.27	3.89
25	0.0400	-3.1985	2.04	107.08	4.46
50	0.0200	-3.9019	2.59	117.33	4.89
75	0.0133	-4.3108	2.91	123.28	5.14
100	0.0100	-4.6001	3.14	127.49	5.31
150	0.0067	-5.0073	3.45	133.42	5.56
200	0.0050	-5.2958	3.68	137.62	5.73
300	0.0033	-5.7021	4.00	143.54	5.98
400	0.0025	-5.9902	4.22	147.74	6.16
500	0.0020	-6.2136	4.39	150.99	6.29
1000	0.0010	-6.9073	4.94	161.09	6.71

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS			
Media (QX)	Desv. Estándar	Coef. Asimetría	Coef. Variación
QX	SX	CS	Cv
68.909	18.677	1.611	0,271
QY	SY	CSY	CvY
3.910	0.459	1.498	0.117

Fuente: DOMUS Consultoría Ambiental SAC

Figura 1.6-6 Valores de Retorno de Tormenta Estación Bartra en el Periodo 1971-1980



Fuente: Domus Consultoría Ambiental S.A.C.

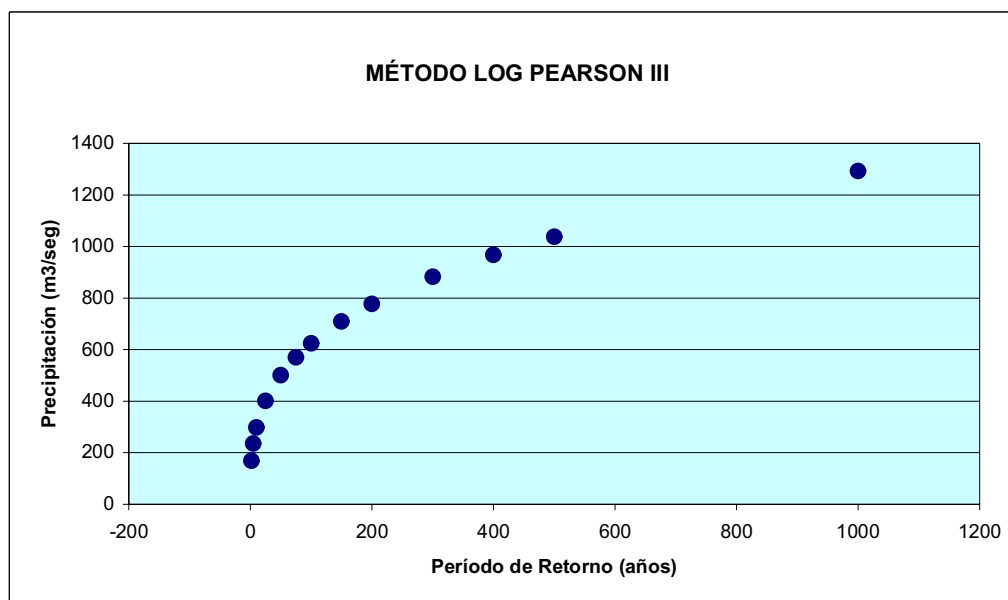
**Cuadro 1.6-9 Cálculo de Máximas Avenidas para 1000 años de retorno
Método Log Pearson III – Estación BARTRA**

Orden	Año	PP (QX)	PP (orden)
1	1971	77.00	42.00
2	1972	76.00	65.00
3	1973	66.00	66.00
4	1974	115.00	73.00
5	1975	80.00	76.00
6	1976	42.00	77.00
7	1977	79.00	79.00
8	1978	85.00	80.00
9	1979	73.00	85.00
10	1980	65.00	115.00

TR (Años)	Z	KT	P.ESP (m³/s)	I (mm/h)
2	0.0000	-0.2338	71.28	2.97
5	0.8416	0.6844	89.15	3.71
10	1.2816	1.3212	102.29	4.26
25	1.7507	2.1345	120.40	5.02
50	2.0537	2.7393	134.99	5.62
75	2.2164	3.0911	143.96	6.00
100	2.3263	3.3402	150.54	6.27
150	2.4747	3.6908	160.13	6.67
200	2.5758	3.9394	167.14	6.96
300	2.7131	4.2898	177.39	7.39
400	2.8070	4.5385	184.90	7.70
500	2.8782	4.7315	190.86	7.95
1000	3.0903	5.3321	210.06	8.75

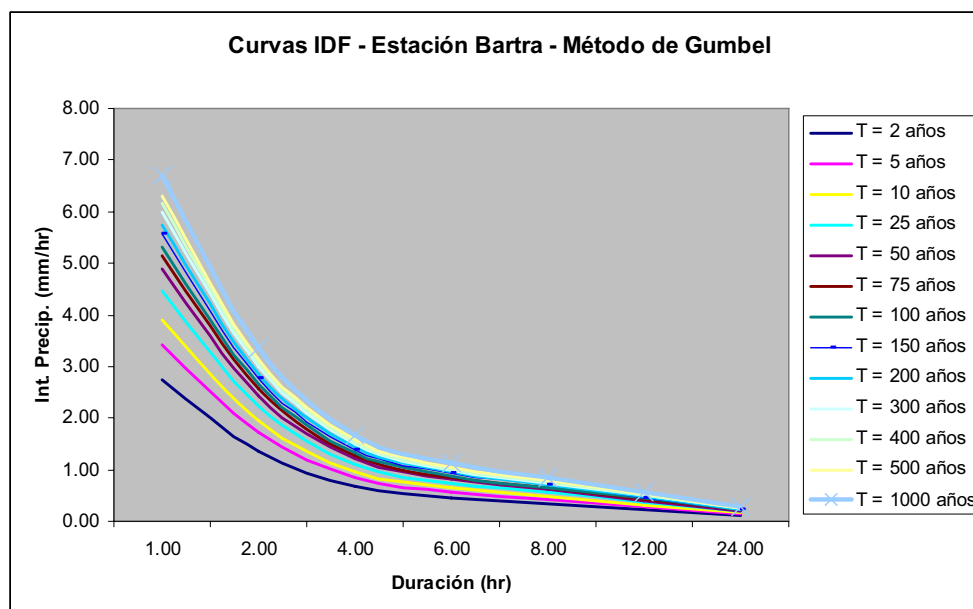
Fuente: Domus Consultora Ambiental

Figura 1.6-7 Valores de Retorno de Tormenta Estación Bartra en el Periodo 1971-1980



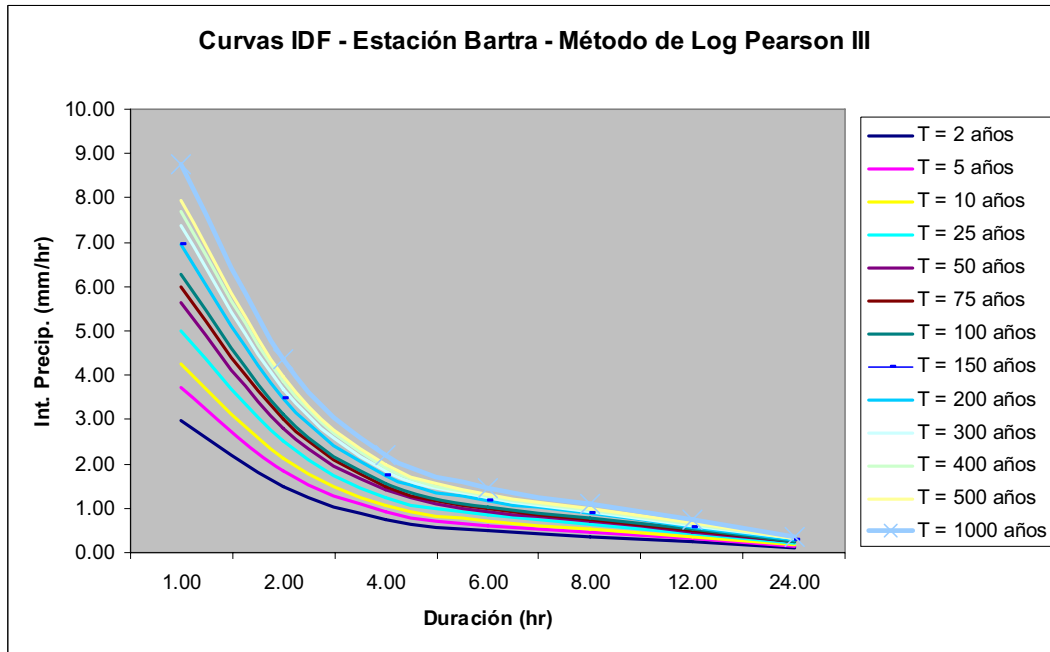
Fuente: Domus Consultoría Ambiental S.A.C.

Figura 1.6-8 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia, Método de Gumbel



Fuente: Domus Consultoría Ambiental S.A.C.

Figura 1.6-9 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia, Método de Log Pearson III



Fuente: Domus Consultora Ambiental S.A.C.

El método de Gumbel nos arrojó intensidades de 2.74 m/hr y por día 65.84 m³/s en dos años y para un periodo de 1,000 años se tiene intensidades de lluvias de 6.71 mm/h y promedio por día de 161.09 m³/s.

El método de Log Pearson III nos arrojó intensidades de 2.97 m/hr y por día 71.28 m³/s en dos años ya para un periodo de 1,000 años se tiene intensidades de lluvias de 8.75 mm/h y promedio por día de 210.06 m³/s.

De los resultados de Precipitaciones Máximas obtenidos con ambos métodos, podemos señalar que ambos procedimientos dan resultados muy similares, lo cual nos muestra la tendencia de las precipitaciones en dicha zona.

Con el análisis de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia podemos conocer los patrones de conductas de las lluvias, ya que se tiene una curva para cada periodo de retorno (hasta 1,000 años).

1.6.5 CONCLUSIONES

- El área del Proyecto de Prospección Sísmica 2D y 3D, está ubicado en la margen derecha de la cuenca del río Tigre; abarcando parte de la subcuenca del río Corrientes.
- Dentro del ámbito de estudio no existen estaciones hidrométricas que registren los caudales de los ríos y por ende no se dispone de registros de caudales, siendo ésta una característica de la mayoría de los ríos ubicados en la vertiente del Atlántico.
- Con el propósito de cuantificar los caudales de los ríos durante la etapa de campo, se han realizado aforos en diversos puntos de la red hidrográfica (12 puntos) cuya información servirá de base para futuros estudios en el área.
- Los caudales del río Corrientes y las quebradas tienen como fuente principal a las precipitaciones que ocurren durante todo el año, siendo mayores en los meses de verano
- La ausencia de estaciones de medición de caudales en ríos y quebradas, cercanas a la ubicación del Proyecto de Prospección Sísmica 2D y 3D, obliga a utilizar modelos de generación de descargas medias anuales en los diversos puntos de interés.
- Se ha utilizado el modelo de las Zonas de Escurrimiento Superficial (Zonas de Vida) y sus respectivos coeficientes de escurrimiento, para generar los caudales medios anuales en diversos puntos de Interés.
- Para la estimación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, no habiendo registros históricos, igualmente se ha calculado con métodos indirectos. Para ello se ha utilizado el Método de Distribución Gumbel y el Método Log Pearson III, para luego proceder a hallar la curva Intensidad – Duración - Frecuencia.
- Los usos consuntivos del agua no son significativos, frente a la oferta que es sumamente grande.