

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE
BILLINGHURST
ESTUDIOS GEOLÓGICOS
INFORME DE SUFICIENCIA**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CELIA LIDIA COLMENARES MANRIQUE

Lima- Perú

2007

INDICE

	Pág.
RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCION	6
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	9
1.1 Descripción del Proyecto	9
1.2 Ubicación	13
1.3 Accesibilidad	14
1.4 Condiciones Locales del sitio de la obra	14
1.5 Climatología	16
1.5.1 Temperatura	16
1.5.2 Precipitación	16
CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA	18
2.1. Geomorfología Regional	18
2.1.1 Unidades geomorfológicas regionales	18
2.1.1.1 Cordillera oriental	18
2.1.1.2 Faja subandina	19
2.1.1.3 La llanura amazónica	19
2.2. Geomorfología Local	22
2.2.1 Unidades geomorfológicas locales	22
2.2.1.1 Terrazas	22
2.2.1.2 Playas, barras, islas, orillares y meandros abandonados	25
2.2.2 Tipos de Suelos	28
2.3. Geología Regional	29
2.4. Geología Local	32
2.4.1 Sector margen derecha	32
2.4.1.1 Formación Madre de Dios (Qp_md)	32

2.4.1.2 Depósitos Aluviales (Q _a)	34
2.4.2 Sector Margen Izquierda	34
2.4.2.1 Depósitos Aluviales Recientes (Q _{h_a})	34
2.5. Rasgos Estructurales	37
2.5.1. Rasgos Estructurales Regionales	37
2.5.1.1 Cordillera Oriental	37
2.5.1.2 Faja Subandina	37
2.5.1.3 Depresión Amazónica	38
2.5.2. Rasgos Estructurales Locales	41
CAPITULO III: GEODINÁMICA	42
3.1. Geodinámica Externa	44
3.2. Geodinámica Interna	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	55

RESUMEN

Desde 1980 se planificó la construcción del puente que cruce el Río Madre de Dios, a fin de que se mejoren las condiciones del transporte, seguridad y las actividades socioeconómicas del área de influencia. Después de 27 años de presentado el proyecto se ha dado inicio a la construcción del denominado Puente Presidente Guillermo Billinghurst.

El Puente Billinghurst cruza el río Madre de Dios, en la ciudad de Puerto Maldonado, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios y es paso obligado de la carretera interoceánica. Por sus características funcionará como un puente colgante, el más grande del Perú, alcanzando una longitud de 722.95m, con una inversión de 82 millones de soles aproximadamente.

La especialidad correspondiente al estudio geológico de la zona del proyecto, considera que la región geomorfológicamente, corresponde a la llanura amazónica o llano de Madre de Dios, por donde discurren caudalosos ríos que arrastran buen volumen de sedimentos y tienden a formar meandros. Como en las épocas de avenidas la erosión se incrementa notoriamente, se considera necesario efectuar una evaluación integral, donde los estudios geológicos ayuden a determinar la estabilidad y el buen funcionamiento de la obra a construirse.

En el área de interés y en las áreas circundantes donde se emplazará la estructura del puente, se han diferenciado las siguientes unidades litoestratigráficas: depósitos aluviales recientes en la margen izquierda, conformados por material arcillo - limoso variando en profundidad a materiales arenosos y presencia de gravas arcillosas. Hacia la margen derecha está la formación Madre de Dios de edad Pleistoceno (Cuaternario), que consiste de argilitas rojas, areniscas con gravas y margas.

Asimismo para lograr cumplir con los objetivos trazados del proyecto, se ejecutó la recopilación y se llevó a cabo el análisis de la información asequible existente relacionada con el asunto del puente.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1-1. Dimensiones del Puente Billinghamurst

Cuadro 1-2. Datos del proyecto Construcción del Puente Guillermo Billinghamurst

Cuadro 1-3. Datos de temperatura y precipitación de la Estación Puerto Maldonado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Perfil Longitudinal del Puente Billinghamurst.

Figura 1-2. Ubicación del Puente Billinghamurst

Figura 2-1. Mapa Geomorfológico Regional del Puente Presidente Billinghamurst

Figura 2-2. Mapa Geomorfológico Local del Puente Presidente Billinghamurst

Figura 2-3. Detalle del contraste entre el material del escarpe de la terraza alta de la margen derecha (tonalidad rojiza) y los sedimentos aluviales recientes en la parte inferior (color gris).

Figura 2-4. Columna estratigráfica de la región Pillcopata – Madre de Dios

Figura 2-5. Columna estratigráfica de la localidad de Puerto Maldonado

Figura 2-6. Mapa Geológico Local del Puente Presidente Billinghamurst

Figura 2-7. Mapa Estructural Regional del Puente Presidente Billinghamurst

Figura 3-1. Plano de la erosión fluvial aguas arriba del Puente Billinghamurst

Figura 3-2. Planta y Perfil Estratigráfico a lo largo del Puente Billinghamurst

Figura 3-3. Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas

Figura 3-4. Mapa de Zonificación Sísmica del Perú

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia es el resultado de la evaluación realizada en el área donde se construirá el Puente Billinghamst, ubicado en la ciudad de Puerto Maldonado, capital del Departamento de Madre de Dios, Provincia de Tambopata.

En la especialidad de geología los estudios estarán orientados a la cimentación de la estructura del puente. La información geológica permite la predicción del asentamiento de los pilotes cuando se encuentren bajo carga, de igual manera nos brinda alternativas económicas de acuerdo al suelo de fundación.

El conocimiento general de la geología del área en la cual se va a realizar el proyecto de ingeniería, es de gran ayuda a la investigación del sitio. Las formaciones geológicas encontradas como capas de roca pueden ser una característica central para la ubicación del puente.

La construcción de un puente a través de una corriente de agua produce tres efectos principales que pueden ser generalmente previstos:

La construcción de los pilotes y estribos disminuirá la sección de la corriente, lo que motiva el aumento de la velocidad del agua y la elevación de su nivel aguas arriba del puente.

Los pilotes, por ser obstáculos a la corriente, darán lugar a la aparición de remolinos y probablemente de corrientes transversales, que tienden a cambiar el curso normal aguas abajo.

El efecto combinado del aumento de la velocidad media y de la formación de remolinos puede romper el equilibrio de los materiales del lecho entre los pilotes, produciéndose así socavaciones.

Todos estos fenómenos alteran las condiciones naturales y exigen, el uso de la información geológica a la solución de muchos problemas ingenieriles.

Los factores geológicos pueden influir apreciablemente en los cálculos de las escorrentías, y en esos cálculos se basa el de las condiciones hidráulicas en que ha de encontrarse el puente.

El objetivo general del proyecto es revisar aspectos de diseño del puente Billinghamurst, el cual comprende cimentaciones sobre pilotes, sustentado en la baja capacidad de soporte de los suelos y que por avenidas extraordinarias puede generarse también problemas de socavación.

En cuanto a los objetivos específicos se puede citar los siguientes:

- Definir las unidades geomorfológicas del área y su comportamiento e influencia respecto al tramo en estudio.
- Determinar las características geológicas de las unidades estratigráficas existentes.
- Analizar los fenómenos de geodinámica externa e interna que puedan afectar al área del proyecto, planteando su respectivo tratamiento.
- Establecer las características estructurales del área de emplazamiento de la obra.

El Capítulo 1, Aspectos Generales, incluye información general del área de estudio como ubicación, temperatura, precipitación y suelo. Además de incluirse también la descripción del proyecto a realizar en la zona de estudio y sus condiciones locales.

El Capítulo 2, Geomorfología y Geología, da a conocer la recopilación de información referente a la zona de estudio en cuanto a sus características geomorfológicas, geológicas y rasgos estructurales, tanto en el ámbito regional como local.

El Capítulo 3, Geodinámica, realiza la descripción de los fenómenos geodinámicos externos e internos que ocurren en ambas márgenes del río Madre de Dios y que pudieran afectar a la estabilidad de la estructura del puente.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones, consideran todos aquellos comentarios que integran la condición actual de la especialidad y de las actividades a tener en cuenta en lo sucesivo.

Capítulo

1

ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Desde hace aproximadamente 27 años las estructuras del puente Billinghamurst se encontraban almacenadas y por lo tanto postergado el proyecto. Hoy, las estructuras metálicas colgantes Wagner Biro existentes, con longitud de 528 metros (la longitud total del puente es 722.95m), se encuentran en perfecto estado y serán utilizadas en el puente. El tramo restante será completado en varios tramos, sin variar la longitud total. El inicio del puente se ubicará al término de la Av. León Velarde, y el final en la zona denominada El Triunfo.

El Puente Billinghamurst es cruce obligado de la carretera interoceánica, y por sus características se convertirá en “El Puente Colgante más grande del Perú”. Esta obra demandará una inversión de aproximadamente 82 millones de soles.

La longitud total del puente es de 722.95 m, dividida en la siguiente forma, de izquierda a derecha:

Descripción	Long. (m)
Losa de aproximación (hasta el Estribo, eje 1)	13.50
Puente de Concreto Pretensado (ejes 1 a 4)	130.00
Cámara de anclaje izquierdo (ejes 4 a 6)	25.45
Tramo lateral izq. puente colgante (ejes 6 a 7)	104.00
Tramo central puente colgante (ejes 7 a 8)	320.00
Tramo lateral derecho puente colgante (ejes 8 a 9)	104.00
Cámara de anclaje derecha (ejes 9 a 10)	26.00
Total (m) :	722.95

Cuadro 1-1. Dimensiones del Puente Billinghamurst. Fuente: Lainez Lozada

El puente está formado por los siguientes elementos:

Estructura colgante de acero en tres tramos: dos laterales de 104.00 m un tramo central de 320.00 m. que incluye torres de acero en los ejes 7 y 8, cables de acero, vigas de rigidez, anclajes terminales de los cables, sillas de volteo de los cables, péndolas de suspensión del tablero y vigas transversales de soporte de la losa de concreto que constituye el tablero del puente.

La estructura colgante de acero WAAGNER-BIRO, de procedencia austriaca, fue adquirida a principios de los años ochenta. Actualmente se encuentra depositada en Puerto Maldonado.

Las dimensiones de la estructura de acero son base para el proyecto de las estructuras de concreto que la complementan para lograr la construcción terminada y en servicio.

Pilares de concreto en los ejes 7 y 8, donde se apoyan las torres y las vigas de rigidez de la estructura de acero. Cada pilar está formado por una viga de 4.50 m de base por 3.00 m de alto que se apoya en forma integral, formando pórtico, en dos columnas cilíndricas de 3.00 m de diámetro empotradas en una zapata octogonal alargada de 24.00 m de largo, por 15.00 m de ancho y 3.00 m de alto.

El fondo de la zapata está en la cota 167.366 msnm por encima del nivel de estiaje, lo cual permite su encofrado y cumple el objetivo de transmitir las fuerzas de la zapata al conjunto de doce columnas de cimentación de 1.85 m de diámetro y 50.00 m de profundidad en promedio.

Dado que el nivel de rasante en los ejes (7) y (8) difiere en 6.40 m, la altura de las columnas difiere en esta misma cantidad, siendo la más alta la de la margen derecha (eje 8).

Cámaras de anclaje en ambas márgenes, eje (5) en la izquierda y eje (10) en la derecha. La cámara de anclaje izquierda es más profunda que la derecha, debido a la socavación a la que está expuesta. Cada cámara de anclaje ha sido dimensionada en base a las fuerzas originadas por las cargas de peso propio y

cargas vivas actuando sobre la estructura de acero. La estabilidad de las cámaras de anclaje se logra en base a las 24 columnas de cimentación sometidas a fuerza axial y a momentos flectores.

Losa del tablero de concreto armado, en los 528.00 m de longitud de la estructura de acero. La losa ha sido diseñada con armaduras longitudinales; se apoya sobre las viguetas transversales de acero, considerando estas como apoyos elásticos y manteniendo el espesor de losa de concreto en 200 mm y la carpeta asfáltica en 50 mm, tal como indican los planos de WAAGNER-BIRO. Cualquier aumento de dimensiones, implicaría mayor peso y en consecuencia mayores esfuerzos en la estructura de acero.

Tramo de acceso entre los ejes 1 y 4. Está constituido por tres tramos continuos de concreto pre esforzado, longitudinal y transversalmente, de luces 39.00 m, 52.00 m, y 39.00 m respectivamente. La sección transversal de la losa del tablero en este tramo es la misma que en la estructura de acero: 7.20 m de calzada y 1.60 m de veredas a cada lado. Los apoyos del tramo son en el eje 1, el estribo izquierdo, cimentado en 4 columnas de cimentación de 1.50 m de diámetro, dos de 16.00 m y dos de 24.00 m de profundidad bajo el nivel de la zapata; en el eje 2, un pilar que se apoya en 4 columnas de cimentación de 1.50 m de diámetro y 31 m de profundidad; y en el eje 3, un pilar se apoya en cuatro columnas de cimentación de 1.50 m de diámetro y 35.00 m de profundidad; y en el eje 4 directamente sobre la cámara de anclaje izquierda.

La configuración general del puente se ilustra en la figura 1-1 que a continuación se presenta.

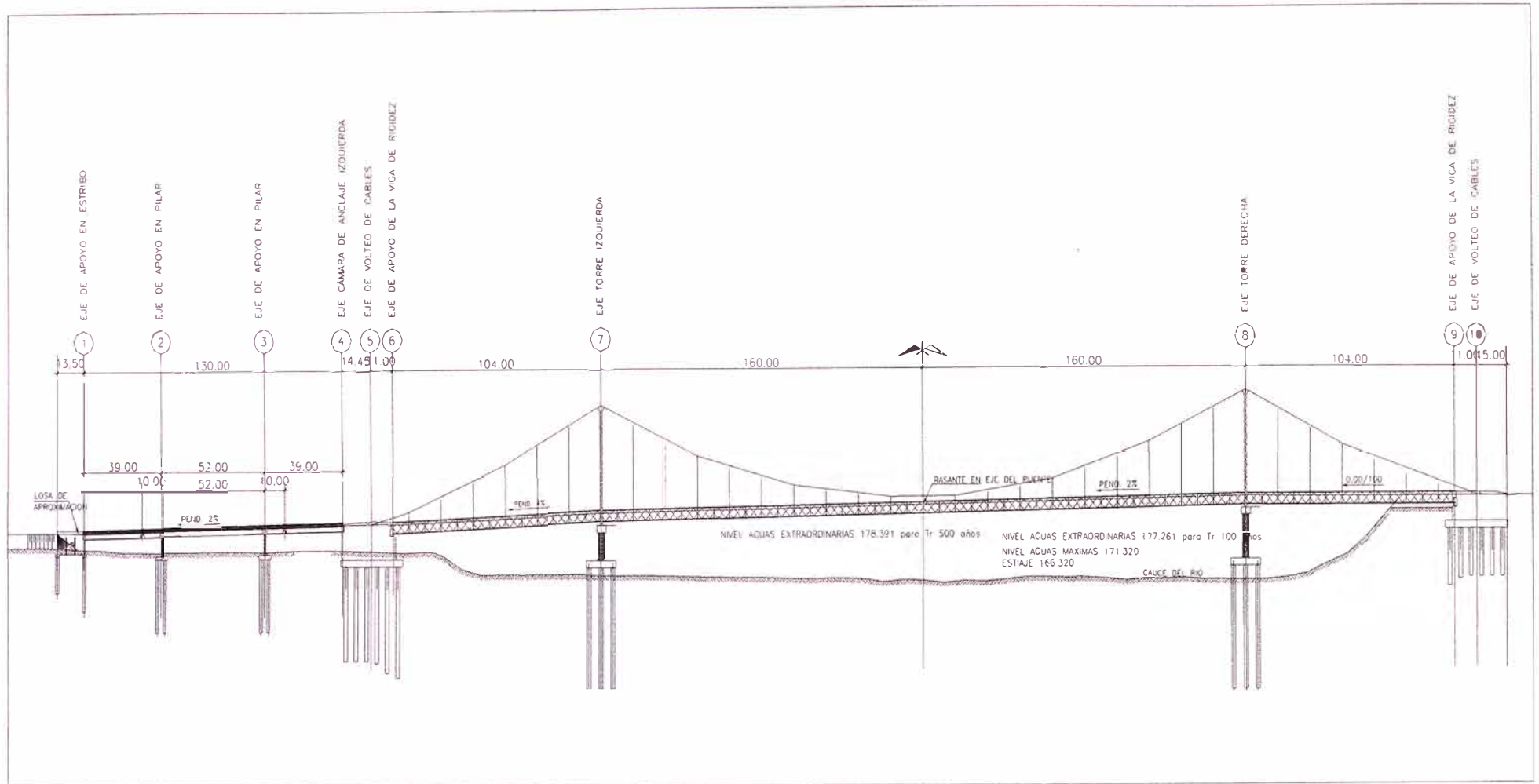


Figura 1-1. Perfil Longitudinal del Puente Billingshurst. Fuente: Lainez Lozada

El siguiente cuadro muestra los datos generales acerca del proyecto de construcción del Puente Billinghamurst:

OBRA	CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE GUILLERMO BILLINGHURST
UBICACIÓN	REGIÓN MADRE DE DIOS, DPTO DE MADRE DE DIOS, PROV. TAMBOPATA
PROGRESIVA	INICIO : Km. 0+244 FINAL : Km. 0+966.95
CONTRATISTA	CONSORCIO MADRE DE DIOS
SUPERVISOR	CONSORCIO INTEROCEÁNICO DE PUENTES
MONTOS DE CONTRATO	Aproximadamente S/. 82,000,000 (inc. IGV)
PLAZO DE OBRA	780 días calendarios
FECHA DE INICIO	20 DE JULIO DEL 2006
FECHA DE TERMINO	06 DE SETIEMBRE DEL 2008

Cuadro 1-2. Datos del proyecto Construcción del Puente Guillermo Billinghamurst.

Fuente: Lainez Lozada

1.2 UBICACIÓN

El departamento de Madre de Dios se encuentra ubicado al sudeste del Perú, su capital es la ciudad de Puerto Maldonado con una altitud de 183 m.s.n.m. Tiene un área o superficie de 85,301 km² y está dividido en 3 provincias y 11 distritos.

El puente Billinghamurst se encuentra ubicado sobre el río Madre de Dios, aguas arriba de la confluencia de este con el río Tambopata, en la provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios, además el puente se encuentra en la Ruta Nacional 026, tramo Puente Inambari – Mazuko – Puerto Maldonado – Iñapari, que a su vez forma parte de la Carretera Interoceánica, que une al Perú con Brasil.

Geográficamente se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas:

Latitud: 12° 35' a 13° 20' S

Longitud: 69° 10' a 70° 39' O

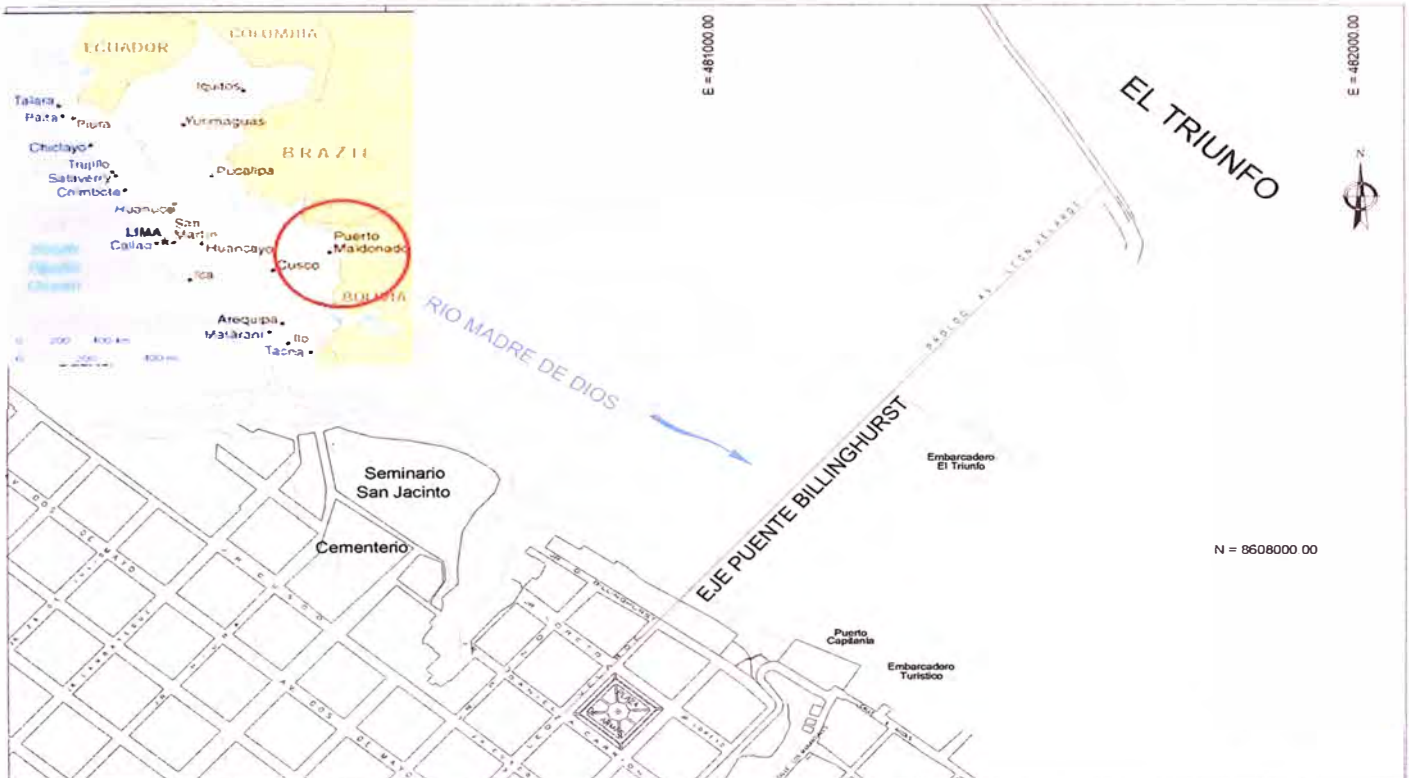


Figura 1-2. Ubicación del Puente Billinghurst. Fuente: Municipalidad Prov. De Tambopata.

1.3 ACCESIBILIDAD

El acceso a la zona puede hacerse por vía aérea o terrestre. En el primer caso existen servicios aéreos desde la ciudad de Lima hasta Puerto Maldonado con escala en la ciudad de Cusco. Así mismo, existen servicios de avionetas desde la ciudad del Cusco hacia los poblados de Huetupe, Colorado y Mazuko.

El principal acceso por vía terrestre está dado por la carretera de penetración Urcos – Quincemil – Puerto Maldonado. También existe una carretera de penetración desde Cusco hasta la localidad de Shintuya en el Alto Madre de Dios.

1.4 CONDICIONES LOCALES DEL SITIO DE LA OBRA

El curso del río Madre de Dios en la zona del eje proyectado es sensiblemente recto, en 1,600m aguas arriba y 800m aguas abajo hasta la confluencia con el río Tambopata en la margen derecha.

El alineamiento del puente es una línea recta, prolongación del eje de la Av. León Velarde en la margen derecha. Este alineamiento coincide con el eje previsto para la Carretera Interoceánica del cual forma parte, donde el eje de dicha carretera tiene un ángulo de esviamiento izquierdo de 7°. En esta ubicación el espejo de aguas tiene un ancho de 425.00 m en época de estiaje, 445.00 m en aguas máximas ordinarias anuales y 650.00 m en aguas máximas extraordinarias, en un periodo de retorno de 500 años.

La forma del cauce en el eje del puente proyectado es mixto encajonado en la margen derecha y abierto en la izquierda.

La ribera en la margen izquierda, en su parte inundable en aguas máximas extraordinarias, es una plataforma de 180.00 m con una pendiente hacia el río de 1.6%. En la parte alcanzada por las aguas máximas ordinarias la margen derecha está formada por un talud de 3 vertical por 5 horizontal.

La margen derecha que limita a las aguas en estiaje hasta las aguas máximas extraordinarias, está formada por un talud de 10 vertical por 12 horizontal.

El nivel superior de la margen izquierda es de 174.685 m y en la margen derecha 195.500 m.

El nivel del fondo del río está en la cota 1610.15 m.s.n.m., en consecuencia los tirantes de agua son:

Aguas máx. Periodo de 500 años	17.376 m
Aguas máximas extraordinarias	16.246 m
Aguas máximas ordinarias	10.305 m
En estiaje	5.305 m

La erosión, tanto lateral como de fondo, es moderada en época de estiaje, incrementándose ligeramente en épocas de avenidas. Según el estudio Hidrológico e Hidráulico de Pedro Lainez Lozada Ingenieros S.A., las socavaciones totales recomendadas son de 6.0 y 12.0 m para los apoyos de la margen izquierda (estribos, pilares de acceso y cámara izquierda) y torres principales respectivamente. En la cámara de la margen derecha no se prevé socavación.

1.5 CLIMATOLOGIA

1.5.1 TEMPERATURA

El clima de Puerto Maldonado es del tipo tropical: calido y húmedo. La temperatura promedio anual del Departamento de Madre de Dios es de 26 °C, con una máxima de 34 °C en los meses de Agosto y Septiembre, mientras que la mínima desciende a 21 °C.

La temperatura se incrementa en el sentido geográfico SO a NE. Así, se observa que en el sector sur – occidental, correspondiente a las estribaciones de la Sierra de Carabaya, la temperatura promedio anual es de alrededor de 23°C (promedio deducido de los datos registrados en Quincemil) y, en el sector nor oriental, la temperatura se eleva a alrededor de 26° C (como promedio anual de datos de Puerto Maldonado y Fundo Iberia).

El clima de Madre de Dios sufre a veces influencias de masas de aire frías que llegan desde el sureste del continente americano, ocasionando sensibles bajas de temperatura, que son conocidas localmente con los nombres de "surazo" o "friaje".

1.5.2 PRECIPITACIÓN

Las lluvias en el área del estudio se incrementan en dirección NE a SO, guardando relación con el alineamiento de la Cordillera de los Andes. Así, se tiene que, mientras en el sector nororiental del área del estudio, limitado por los ríos Tacuatimanu o de Las Piedras y Madre de Dios, aguas abajo de la

desembocadura de dicho río, la precipitación pluvial promedio anual es de alrededor de 1,700 mm (Estaciones de Puerto Maldonado, Fundo Iberia y Tambopata), en el sector sur-occidental, correspondiente a las estribaciones de la Cordillera de Carabaya, la precipitación pluvial se incrementa bruscamente a alrededor de 4,000 mm promedio anual (cifra deducida de los datos registrados en las estaciones de Quincemil y San Gabán).

La época de lluvias es notable de Diciembre a Marzo, sin embargo, en algunos años se inicia en Octubre o Noviembre.

La temperatura y precipitación de los tres últimos años tomadas de la Estación de Puerto Maldonado se presenta en el siguiente cuadro:

Madre de Dios - Estación Puerto Maldonado

	Temperatura Máxima °C			Temp. Mínima °C			Precipitación (mm)		
	2007	2006	2005	2007	2006	2005	2007	2006	2005
Enero	31.1	31.1	31.1	21.3	21.3	21.3	286.3	286.3	286.3
Febrero	30.8	30.8	30.8	21.1	21.1	21.1	299.3	299.3	299.3
Marzo	31.0	31.0	31.0	20.7	20.7	20.7	282.8	282.8	282.8
Abril	30.7	30.7	30.7	20.0	20.0	19.9	137.0	137.0	137.0
Mayo	30.0	30.0	30.0	18.7	18.7	18.7	104.8	104.8	104.8
Junio	29.1	29.1	29.1	17.3	17.3	17.3	58.1	58.1	58.1
Julio	29.5	29.5	29.5	16.6	16.6	16.6	61.8	61.8	61.8
Agosto		31.3	29.5		17.7	16.6		77.3	61.8
Septiembre		32.2	32.2		18.9	18.9		100.4	100.4
Octubre		31.9	31.9		20.3	20.3		152.9	152.9
Noviembre		31.8	31.8		20.9	20.9		206.7	206.7
Diciembre		31.1	31.1		21.1	21.1		295.2	295.2

Cuadro 1-3. Estación Puerto Maldonado. Fuente: "Boletín Estadístico Mensual del Sector Agrario", Ministerio de Agricultura. Julio 2007

Capítulo

2

GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

2.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Geomorfológicamente la región corresponde a la llanura amazónica o Llano de Madre de Dios, que es una peneplanicie, por donde discurren ríos de gran caudal y buen volumen de sedimentos, pero de curso lento y formando meandros.

Los rasgos geomorfológicos están relacionados a su vez con los patrones estructurales, revistiendo gran importancia para la concentración de oro detrítico.

Regionalmente se puede diferenciar: la Cordillera Oriental, el Flanco Subandino y la Llanura de Madre de Dios.

2.1.1 Unidades geomorfológicas regionales

2.1.1.1 Cordillera Oriental

La Cordillera Oriental constituye la unidad más relevante por su topografía abrupta y su extensión. Se tiene en la parte Suroeste una porción de esta cordillera, conformando el flanco Este de la misma, donde discurren los ríos cuyas nacientes están en las altas cumbres, haciéndolo en forma torrentosa, conformando valles altos abiertos pero que se van estrechando aguas abajo a medida que la erosión se va profundizando.

La dirección de estas corrientes fluviales es primero Sur – Norte para luego girar al Noreste, teniendo como probables controles el fracturamiento transversal, el mismo que en la región puede variar de NE-SO a Este – Oeste.

El relieve es de fuerte pendiente hacia el Este con laderas escarpadas, ocupadas por una vegetación de bosques y plantas, característico de zonas agrestes cuyas altitudes varían entre 1,000 y 4,000 msnm.

2.1.1.2 Faja Subandina

El flanco subandino constituye el pie de monte, es decir, la parte intermedia entre la cordillera y la llanura; topográficamente esta unidad viene a constituir las estribaciones más orientales de la cordillera y la conforman una estrecha faja de colinas de relieve moderado de formas redondeadas, a cuyo pie los ríos acumulan los materiales aluvionales cuyos elementos todavía son grandes (30 cm de diámetro) manteniendo cierta angularidad. Ellos conforman abanicos y terrazas altas donde la selección del material es escasa, siendo a partir de allí nuevamente removidas por la acción de las lluvias y remoción de los ríos, ocasionando nuevos ciclos de transporte, siendo su próximo destino la llanura del río Madre de Dios.

El flanco subandino también es conocido como la Pre Cordillera teniendo en su basamento rocas mesozoicas, cubiertas por el Cuaternario aluvial y coluvial; la vegetación es más espesa que en la cordillera, siendo propia ya de selva alta.

2.1.1.3 La Llanura Amazónica

Esta unidad conforma una extensa llanura de amplio desarrollo en el Sureste peruano cuya parte central corresponde al cauce donde discurre el río Madre de Dios.

Esta llanura se extiende por las áreas donde discurren, en terrenos bajos, los ríos Inambari, Colorado y Tambopata. En su recorrido todos estos ríos forman en ambos márgenes terrazas a diferentes niveles y playas (point bar), así como áreas inundables y aguajales debido a inundaciones periódicas o excepcionales

de los ríos. Se forman también cochas o lagunas en meandros abandonados cuando el río tiende a enderezar su cauce.

Los ríos Colorado e Inambari forman cursos anastomosados con canales entrelazados, mientras que los ríos Madre de Dios y Tambopata forman cursos meandriformes, donde su flujo es lento debido a la gradiente suave de 2%.

La llanura de Madre de Dios geológicamente está conformada por una extensa cobertura de sedimentos fluviales del Terciario superior y Cuaternario, los mismos que se han extendido a manera de una gruesa capa que cubre a las rocas más antiguas. En esta llanura, los depósitos aluviales auríferos conocidos como placeres, están ampliamente esparcidos, conformando estos depósitos alrededor del 20% del área superficial, se localizan en las llanuras de inundación y en las terrazas.

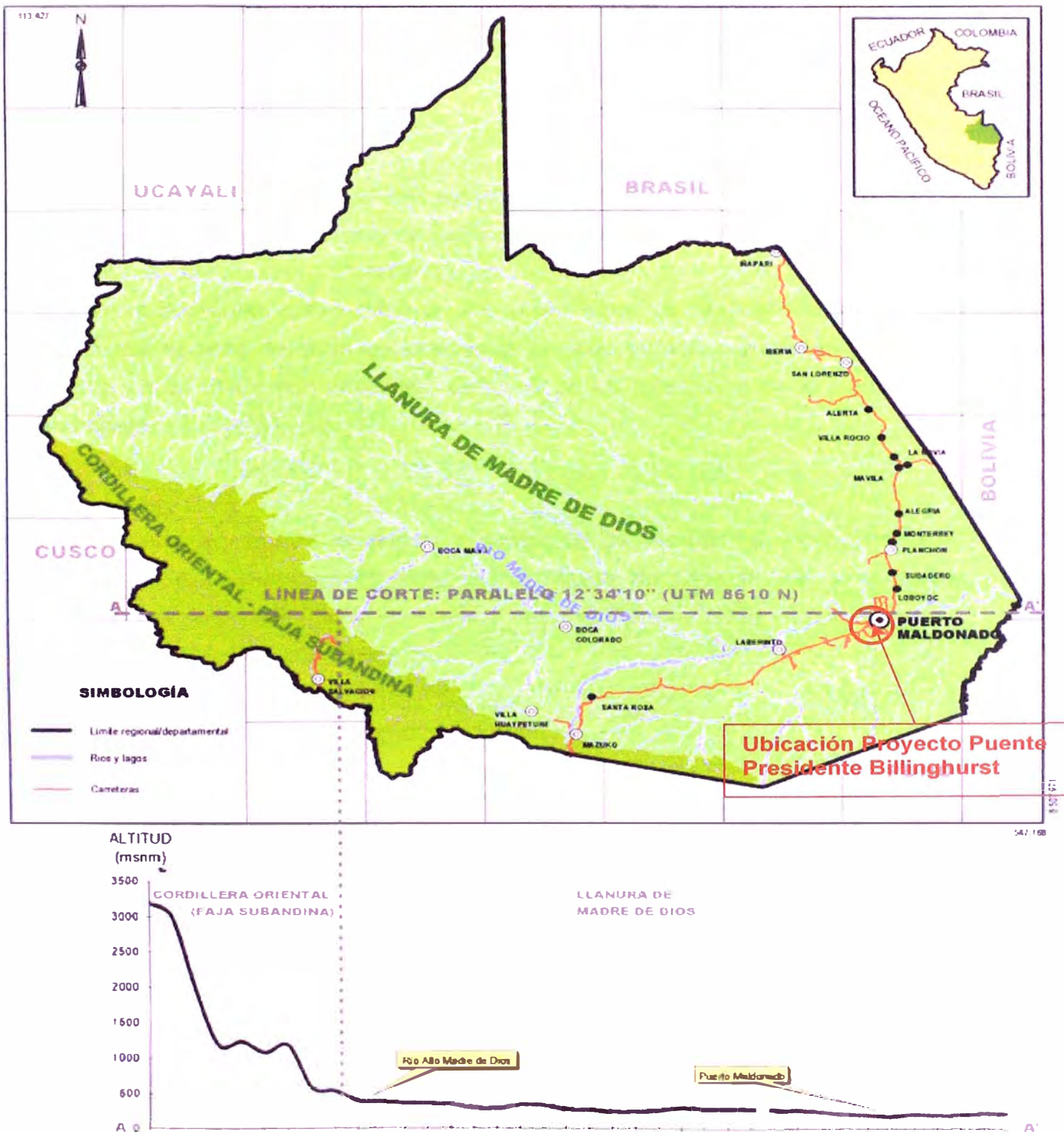


Figura 2-1. Mapa Geomorfológico Regional del Puente Presidente Billinghurst.
 Fuente: Lainez Lozada

2.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El patrón geomorfológico está condicionado por los siguientes factores:

Drenaje

El patrón general de drenaje es tipo pinado, limitado por los ríos más importantes que fluyen y discurren de Oeste a Este, con cauces meandriformes como en el río Madre de dios, que incrementan su caudal a través de una serie de tributarios menores que circulan sobre material areno arcilloso. La cuenca principal recibe importantes aportes de otras quebradas de período estacional, que en época de lluvia arrastran diferentes caudales, destacando los tributarios de la cuenca del Tambopata.

Morfogénesis

En esta parte se analiza el origen y evolución de las formas de relieve que actualmente predomina en el área. El río Madre de Dios forma parte de la principal cuenca sedimentaria, con rumbo regional Este – Oeste, donde terminan las aguas de todos los tributarios.

2.2.1 Unidades Geomorfológicas Locales

Dentro del ámbito de estudio se han identificado geoformas, considerando características tales como origen, forma, pendiente, litología, rasgos estructurales y geodinámica externa.

Estas geoformas corresponden a unidades que sin tener una extensión regional son de gran importancia en el desarrollo del relieve del área en estudio, así como en la concentración y distribución de los sedimentos, dentro de los cuales se encuentran las gravas y arenas auríferas.

Se pueden diferenciar las siguientes unidades geomorfológicas:

2.2.1.1 Terrazas

Estas unidades han sido formadas en la llanura por socavamiento y erosión del propio cauce por parte de los ríos. Este socavamiento se debe a periodos de

rejuvenecimiento que modifican su nivel de base. Las terrazas a su vez están vinculadas a los movimientos de levantamiento de la faja cordillerana, los mismos que han estado activos aún en el Cuaternario.

Se tienen terrazas a diferentes niveles, siendo las más altas y alejadas de los actuales cauces las más antiguas y las más bajas cerca al cauce, las más jóvenes.

a. Terrazas altas

Las terrazas altas corresponden a la margen derecha, donde se asienta la mayor parte de la ciudad de Puerto Maldonado. Constituyen los rasgos morfológicos resaltantes que corresponden a episodios de levantamiento del Cuaternario Pleistocénico (Cuaternario antiguo), alcanzando alturas que varían de 10 a 30 m y eventualmente hasta 50 m sobre el nivel del río Madre de Dios, estando formadas litológicamente por sedimentos aluviales antiguos tales como Limolitas, Argilitas, Areniscas y Margas interestratificadas y superficialmente alteradas.

Por la configuración del terreno, en ellas se puede distinguir formas ondulares y planas. Las formas onduladas se deben a procesos erosivos de las aguas de lluvia, generando en partes suaves ondulaciones y en otras grandes cárcavas. Las formas planas corresponden a una superficie inclinada hacia el eje del río con pendientes de 0 a 10%.

Debido a la erosión de estas terrazas altas se pueden formar barrancos de relieve abrupto, cuando por erosión diferencial se tiene algunos niveles de sedimentos más resistentes.

Estas terrazas se caracterizan además por presentar un drenaje imperfecto y pobre por la presencia de materiales finos en su composición litológica y superficialmente suelta.

b. Terrazas medias

Consisten de terrazas que alcanzan una gran extensión, con una configuración de planicie relativamente uniforme de suave inclinación hacia la dirección de los cursos de los ríos. En el caso de los ríos Inambari y Madre de Dios esta inclinación es hacia el Norte y Noreste.

Estas terrazas pueden alcanzar alturas de 5 a 10 m, están conformadas por depósitos aluviales antiguos (arenas, limos y arcillas) estando en partes cubiertas por depósitos de llanura de inundación que hacen que el relieve topográficamente se uniformice.

c. Terrazas bajas

Las terrazas bajas corresponden a la margen izquierda del río Madre de Dios y tienen una diferencia de 25 m aproximadamente con relación a la margen derecha, alcanzan alturas hasta de 5 m sobre el nivel del río. Están conformadas preferentemente por materiales finos como son arenas y limos.

Son cubiertas por el agua en épocas de crecidas temporales, conformando parte de las llanuras de inundación, a las que localmente se les llama aguajales o bajiales, quedando a veces ciertas formas a manera de una asociación de aguajales aislados en tierras bajas. Estas terrazas presentan una topografía de hondonadas, recibiendo el drenaje de las tierras circunvecinas ya sea de lluvia o de río, las mismas que al quedar estancadas por su mal drenaje hace que el terreno esté saturado permanentemente, con una napa freática muy alta.

Esta unidad geomorfológica a la vez se puede dividir en dos subunidades:

Terrazas bajas con drenaje imperfecto a pobre, ubicado particularmente en la quebrada Piedras.

Terrazas bajas con drenaje muy pobre, se encuentra en la cantera Playa Diego II.

2.2.1.2 Playas, barras, islas, orillares y meandros abandonados

Las playas son superficies cortas y planas ubicadas a orillas del río Madre de Dios principalmente, inmediatamente encima del estiaje, notándose algunos surcos tenues algo curvados originados por migraciones temporarias de los sedimentos en épocas de crecientes donde la pérdida de velocidad de flujo deja niveles progresivos de sedimentación en forma de camellones.

Estas playas formadas en los bordes del cauce pueden formar barras o islas alargadas en el sentido del cauce.

Las barras son depósitos de arenas y limos de forma semilunar conocidas por los mineros como Point bar, las mismas que se forman por migraciones temporales de los sedimentos transportados por los ríos en épocas de creciente, cuando éstos pierden su velocidad de flujo para dejar una sedimentación progresiva en forma de barras en punta; siendo estas formas apreciadas por su contenido de oro aluvial, diferenciando en ellas partes tales como cabeza, cuerpo y cola. Las barras que se forman en los meandros ocupan las márgenes cóncavas del río, tomando forma de media luna.

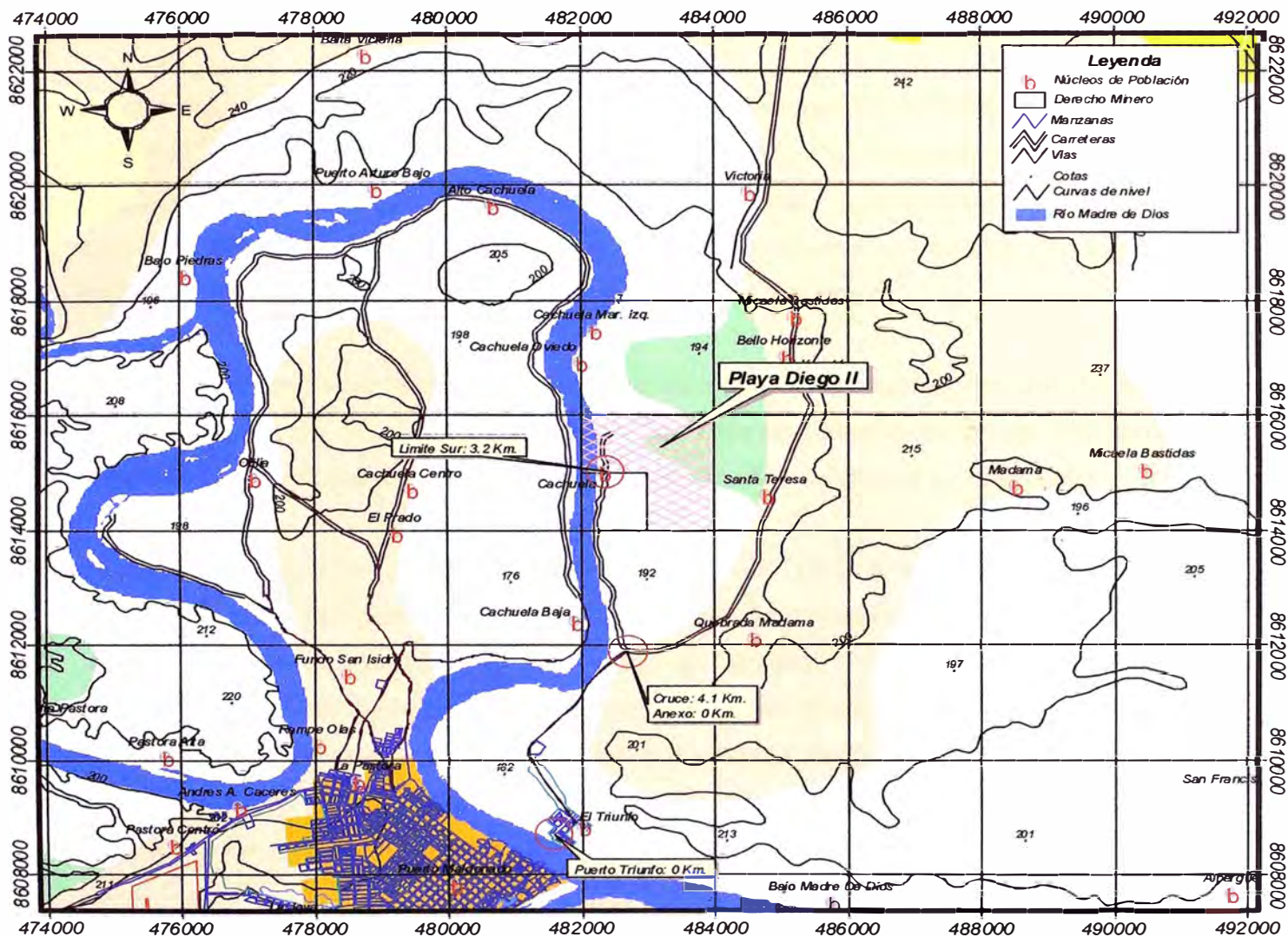
Las islas son depósitos de arena y limos que se ubican en medio de los cauces, especialmente en los ríos entrelazados como el Inambari, donde alcanzan gran extensión tomando formas alargadas en el sentido del cauce.

A continuación de las playas y conformado por sedimentos relativamente más estables con formas semi-lunares, se localizan superficies conocidas como Complejo de orillares.

Esta unidad geomorfológica se encuentra cercana al río Madre de Dios, soporta fuertes efectos de las corrientes y se utiliza para la siembra de algunas especies rastreras en época de estiaje. Su característica principal es la presencia de materiales recientes, los cuales son depositados por el río Madre de Dios, formando meandros y playas de arena y gravas, que son utilizados en la actualidad como canteras de agregados para construcción y para la extracción de oro.

Los meandros abandonados son antiguos cauces o brazos de río que han quedado separados del cauce actual debido al estrangulamiento de una de las curvaturas cuando el río tiende a erosionar la parte estrecha de la curva y hace de su cauce una recta.

Al quedar separados de su cauce estos meandros pueden estar permanentemente con agua, formándose las cochas (laguna de agua estancada).



Esc. 1/ 100 000

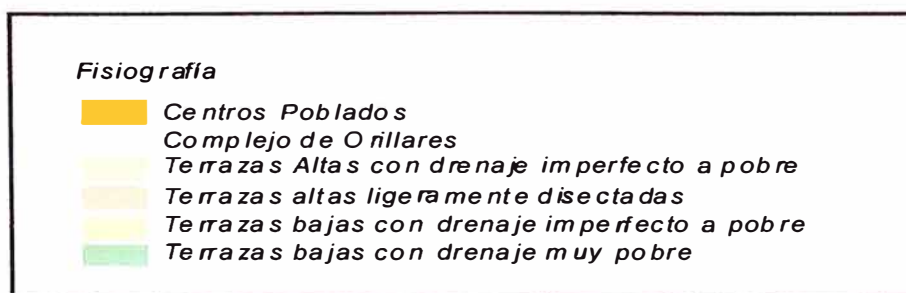


Figura 2-2. Mapa Geomorfológico Local del Puente Presidente Billinghurst.
 Fuente: Lainez Lozada

2.2.2 Tipos De Suelos

En el departamento de Madre de Dios, como se mencionó anteriormente, se exponen principalmente llanuras aluviales compuestas de tres y hasta cuatro niveles de terrazas. Las más bajas están sometidas a inundaciones anuales y son generalmente pantanosas. El Sur del Departamento de Madre de Dios está limitado por los contrafuertes de la Cordillera de Carabaya.

Al Oeste del departamento, en la zona donde están los nacientes del río Manu, existen colinas de poca elevación, entre las que se ubica el istmo de Fitzcarrald, formando la divisoria de aguas entre los ríos Madre de dios y Urubamba.

El área corresponde a una planicie aluvial, con una terraza inferior reciente localizada en la margen izquierda asociada a la serie del Holoceno, y una terraza alta localizada en la margen derecha, de origen más antiguo, que por la presencia de una secuencia de arenas limosas y arcillas duras con pseudo-estratificación, se puede asociar a niveles alterados de suelos residuales; esto se puede explicar además por la diferencia de nivel entre las terrazas derecha e izquierda, de aproximadamente 25 m, producto de procesos orogénicos.

La zona en la que se ubica el puente presenta una geografía de zona de transición entre Selva Alta y Selva Baja, cubierta con densa vegetación de arboleda, del tipo Bosque Tropical, presenta una morfología ondulada, de pendientes de 0 - 10% y suelos con matriz arcillo-areno-limosa.

En la actualidad el río Madre de Dios, tiene una planicie de desborde en la terraza inferior de la margen izquierda donde acumula suelos finos predominantemente compuestos de limos y arcillas en los horizontes superficiales.



Figura 2-3. Detalle del contraste entre el material del escarpe de la terraza alta de la margen derecha (tonalidad rojiza) y los sedimentos aluviales recientes en la parte inferior (color gris), fotografía tomada en la orilla derecha y ligeramente aguas abajo del eje del puente. Fuente: Iainez Lozada.

2.3 GEOLOGÍA REGIONAL

La secuencia estratigráfica regional presenta unidades que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. (Ver Figura 2-4).

Las unidades paleozoicas corresponden a rocas del Ordovícico, Silúrico y Devónico de origen marino, conformando el basamento que aflora con gran espesor en la Cordillera Oriental y Faja Subandina.

Las unidades mesozoicas corresponden al Cretáceo, siendo éstas de origen marino a fluvial, aflorando a lo largo de la Faja Subandina en contacto fallado en el Paleozoico.

Las unidades del Cenozoico corresponden al Paleógeno, Neógeno y Cuaternario, siendo éstas de origen continental en ambientes mayormente fluviales.

Geológicamente, el área forma parte del conjunto estructural del Llano Amazónico, con alineamiento regional Norte – Sur, poco afectado por eventos tectónicos con largos períodos de sedimentación, durante los que se depositó gran cantidad de material, aflorando en la región las formaciones correspondientes al Cenozoico , las cuales están constituidas por arcillitas, limonitas y horizontes de conglomerados de origen continental.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. fluviales	+ 10		Depósitos de grava y arenas.		
			Dep. aluviales	±15		Depósitos de grava con matriz areno-limosa		
			Dep. coluvio-aluviales	+ 100		Depósitos de grava con matriz arenosa, semiconsolidadas		
	NEÓGENO	PLEISTOCENA	Fm. Madre de Dios	+ 40		Disc. erosional	Limolita gris verdosa, moleada, arenisca poco consolidada, conglomerados polimicticos (cuarcitas, granitos, cuarzo lechoso, pizarras)	
						Disc. erosional		
		PLIOCENA	Formación Ipururo	+ 1,100			Conglomerado débilmente consolidado conformado por clastos de cuarzo, rocas intrusivas y pizarras de 3 a 4 cm de diámetro con matriz arenosa y estratificación oblicua	
							Arenisca cuarzosa rojiza, de grano medio y limolitas del mismo color	
		PALEÓGENO	OLIGOCENA	Formación Chambira	± 1,000			Arenisca gns de grano medio-fino, se intercalan con capas delgadas de limolita y arcillas grises. Hacia el techo capas de arenisca conglomerádica
	EOCENA		Formación Yahuarango	± 1,100			Pelita de color rojo, marrón rojiza, moleada de verde	
						Arenisca y microconglomerado rojizos-cuarzosos en capas de hasta 2 m		
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR	Formación Vivian	± 150		Arenisca cuarzosa blanco-amarillenta, estratificación oblicua con intercalaciones de limolita gris.		
			Formación Chonta	± 155		Pelitas gris claras, algunas marrón rojizas, arenisca cuarzosa blanca a gris amarillentas, calizas dolomíticas		
		INFERIOR	Grupo Oriente	± 200		Arenisca cuarzosa de color rojo, maciza hacia la parte superior finalmente conglomerádica, con estratificación oblicua y rellenando canales, arenisca cuarzosa blanca y en la parte media calizas		
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR	Fm Río Tambo	0-236		Disc. paralela	Limolita y arenisca marrón rojizas de grano fino	
		INFERIOR	Grupo Copacabana	± 180		Caliza con nódulos de chert y dolomita intercaladas con lutita gris y limolita roja, presentan rizaduras.		
	CARBONIFERO	SUPERIOR	Grupo Tarma	± 133		Arenisca cuarzosa, blanca amarillenta, de grano medio/matiz arcillosa y rizaduras areniscas verdes cuarzosas y pelitas rojas		
		INFERIOR	Grupo Arbo	± 306		Facies mixta de lutita y arenisca gris, micácea, intercalada con arenisca cuarzosa gris clara, estratificación tabular.		
	DEVONIANO	SUPERIOR	Formación Ananea	± 536				
		MEDIA						
	ORDOVICIANO	SUPERIOR	Formación Sandia	±2000			Disc. ang.	Pizarras gris oscuras, presencia esporádicas de areniscas hacia el tope.
		INFERIOR	Grupo San José					
NEO PROTEROZOICA			Complejo Metamórfico			Disc. ang.	Gneis, anfíbolitas y melavolcánicos	

(Modificado de Ingemmet, 1998)

Figura 2-4. Columna estratigráfica de la región Pillcopata – Madre de Dios.

Fuente: Ingemmet, 1998.

2.4 GEOLOGÍA LOCAL

De acuerdo al Mapa Geológico del Cuadrángulo de Puerto Maldonado, en la zona se encuentran formaciones de origen reciente y subreciente, correspondientes al Cuaternario, habiéndose identificado las siguientes unidades litoestratigráficas de origen continental:

2.4.1 Sector Margen Derecha

2.4.1.1 Formación Madre de Dios (Qp_md)

Esta formación se extiende en la cuenca de Madre de Dios, observándose sus afloramientos desde el territorio boliviano, siguiendo aguas arriba de este río hasta la confluencia con el río Colorado, así como en la parte inferior del río de Las Piedras. Así mismo, en la cuenca del río Tambopata se le ha reconocido desde Puerto Maldonado aguas arriba hasta la confluencia con el río Malinowsky.

Constituye una extensa cobertura encima de las capas rojas neocomianas, siendo en las partes altas un pie de monte de naturaleza conglomerádica en la base, seguida de sedimentos areniscosos, mientras que en las partes bajas está constituida de arenas, limos y arcillas.

En la formación Madre de Dios se reconocen hasta tres niveles, los que alcanzan en total aproximadamente 70 m de espesor, habiéndoles denominado de la base hacia el tope o techo Miembro: A, B y C.

El miembro A, se observa casi en todos los afloramientos, presenta en la base un nivel de conglomerados fluviales de color grisáceo con manchas rojizas por la oxidación de la hematita que sirve de cementante; la matriz es arenosa y los clastos tienen de 8 a 10 cm de diámetro, pudiendo llegar hasta los 15 cm en algunos lugares y están constituidos de cuarcitas, areniscas e incluso de rocas intrusivas y metamórficas. Dentro de estos niveles conglomerádicos se puede observar restos vegetales fósiles (lignito), pudiendo mostrar un delgado nivel

arcilloso rojizo, seguidos hacia la parte superior por arenas, limos y arcillas en capas color ocre que presentan estratificación cruzada.

Hacia la parte superior los miembros B y C son casi limos y arcillas que alcanzan algunos metros de espesor. Dentro de estos niveles se pueden interdigitar arenas bien clasificadas.

Como se mencionó anteriormente la Formación Madre de Dios, descansa sobre las Capas Rojas del Neocomiano (Formación Ipururo), y esto se puede observar cuando el río desciende de nivel en épocas de estiaje, siendo un contacto nítido, mostrando las capas rojas una cierta elevación.

Edad y Correlación.- Los depósitos de la Formación Madre de Dios parecen corresponder a las primeras acumulaciones del Cuaternario, aunque estudios de radiocarbono indican una edad aproximada de 38,500 años, es decir, que sus depósitos se acumularon durante el Cuaternario Tardío – Holoceno en un medio deltáico dentro de un lago, por lo que debiera ser de considerable interés para los buscadores de depósitos de placer aurífero en la región. Sin embargo, estos depósitos cuaternarios de la Formación Madre de Dios cubren los terrenos bajos de la llanura, siendo los ríos más modernos, posteriores a estos depósitos, es decir holocénicos.

La presencia de oro en los depósitos del cuaternario reciente, podría corresponder a un transporte directo desde los Andes o a un retrabajamiento de los depósitos cuaternarios más antiguos, por lo que se hace necesario medir secciones y muestrear la Formación Madre de Dios, a fin de evaluar mejor su capacidad receptora de oro detrítico antes de descartarla, sobre todo si se tiene en cuenta que sus depósitos se originaron en la cordillera (donde está el oro primario), conforme la cordillera se levantaba por efecto de la Tectónica Andina a fines del Plioceno.

La erosión acelerada que señalan los niveles conglomerádicos basales fue favorecida por un clima árido de esa época, donde se formaban sucesivos y colaterales emplazamientos al pie de la cordillera.

2.4.1.2 Depósitos Aluviales (Q_a):

Estos depósitos se encuentran encima de la Formación Madre de Dios y son depósitos recientes conformados por gravas con clastos de diferentes tamaños y formas subredondeadas, así como arenas, limos y arcillas que conforman la sobrecarga. En los niveles de las gravas así como en los conglomerados es donde se concentra el oro.

Esta margen derecha es de un origen más antiguo y se caracteriza por la presencia de una secuencia de Arenisca, Limolitas y Argilitas duras con una pseudo-estratificación, alternando con horizontes de gravas limosas y gravas arcillosas.

Su litología es apreciada tanto aguas arriba como aguas abajo del eje del puente, variando de espesores.

Los depósitos del talud de la margen derecha, son afectados por una erosión laminar del suelo superficial alterado, producida por las aguas de lluvias.

2.4.2 Sector Margen Izquierda

2.4.2.1 Depósitos Aluviales Recientes (Q_h_a)

En esta margen se localizan superficialmente depósitos aluviales finos que tienen un espesor variable entre 2 y 3 m (Ver anexo N° 01).

Estos depósitos pertenecientes al Cuaternario Reciente están constituidos por gravas, arenas y arcillas que conforman la sobrecarga, y es en estos niveles de las gravas donde se encuentra el oro aluvial.

Dentro de estos depósitos se tienen niveles arenosos donde se observan oxidaciones que están vinculadas a los niveles freáticos. En las llanuras donde se forman los meandros, los depósitos están formados por arenas y limos, y en los meandros (o meandros abandonados) se tienen limos, arcillas y arenas con buenos contenidos auríferos.

El oro aluvial que se encuentra en las gravas arenosas ha estado sujeto a diferentes ciclos de concentración y redistribución debido a los cambios que ha sufrido el régimen de sedimentación fluvial. Estos depósitos se encuentran a lo largo del río Madre de Dios, especialmente en las partes bajas, donde la agradación fluvial es activa y donde la carga de los ríos, constituida de arenas, limos y arcillas se asientan especialmente los más finos en las áreas inundables y los menos finos a lo largo del canal.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
I C A	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. fluviales	+ 10		Depósitos de grava y arenas
			Dep. aluviales	±15		Depósitos de grava con matriz arenolimosa
			Dep. coluvio-aluviales	+ 100		Depósitos de grava con matriz arenosa, semiconsolidadas
		PLEISTOCENA	Fm. Madre de Dios	+ 40		Disc. erosional Limolita gris verdosa, moleada, arenisca poco consolidada, conglomerados polimicticos (cuarcitas, granitos, cuarzo lechoso, pizarras). Disc. erosional

Figura 2-5. Columna estratigráfica de la localidad de Puerto Maldonado. Fuente: Ingemmet, 1998.



LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Qh-a Depósito Aluvial
			Qh-t4 Terraza 4 Qh-t Terraza indiferenciada
		PLEISTOCENA	Op-md Formación Madre de Dios

SIMBOLOGÍA

- Contacto Litológico
- Contacto Litológico inferido
- Lineamiento
- Meandro abandonado
- Carretera de dos o más vías de ancho
- Carretera Asfaltada
- Carretera Afirmada

Figura 2-6. Mapa Geológico Local del Puente Presidente Billingham. Fuente: Ingemmet, 1996.

2.5 RASGOS ESTRUCTURALES

2.5.1 Rasgos Estructurales Regionales

Las estructuras que conforman la Cordillera Oriental han sido delineadas por la Tectónica Hercínica, sobre la que se superpone la Tectónica Andina conformando plegamientos y fallamientos longitudinales de rumbo NWW – SEE, en el que resaltan las fallas inversas que ponen en contacto al Paleozoico con el Cretáceo. Otro sistema de fallamientos pero de menor rango lo constituyen las fallas transversales de rumbo NE – SW y E – W.

Los plegamientos y fallamientos bien observados en la faja Subandina se van amenguando hacia la llanura de Madre de Dios, la cual esta conformada por una gran cobertura neocomiano cuaternaria, debajo de la cual las unidades cretáceas tendrían las condiciones favorables para el entrapamiento de hidrocarburos.

Es así como se distinguen tres unidades morfoestructurales de gran magnitud.

2.5.1.1 Cordillera Oriental

Esta provincia estructural está bien individualizada formando un macizo montañoso, cuyo flanco Este se extiende en la parte Sur con estructuras que siguen un rumbo al NNO. Su evolución paleogeográfica corresponde a la cadena Hercínica y Andina.

Durante el Paleozoico formó parte de la cuenca marina, que se extiende por el Este hasta la Faja Subandina. Durante el Mesozoico y Cenozoico ha tenido una tendencia positiva constituyendo un horst que limitaba a la Faja Subandina.

2.5.1.2 Faja Subandina

En general esta faja se halla inmediatamente al este de la Cordillera Oriental, la cual sufrió las deformaciones producidas por la tectónica, es así que durante este lapso, las rocas sedimentarias que cubren a la Cordillera Oriental se pliegan

formando una faja que bordea a la misma, con sus formaciones cretácicas del grupo oriente y Chonta, así como sus formaciones terciarias Huayabamba e Ipururo.

En la zona subandina aflora la cobertura mesozoica cretácica, que en el área de estudio es de facies principalmente arenosas y en menor medida arcillosas, con estructuras plegadas bien definidas que alternan anticlinales y sinclinales. El conjunto de la faja Subandina muestra un claro alineamiento estructural en el que las formaciones tienen un definido rumbo de Este a Oeste, que contrasta con la mayoritaria deformación andina, de rumbo sureste – Noreste. Esta variación en el rumbo formacional andino se debe a la deformación producida por la deflexión de Abancay, bajo la presión de los esfuerzos y subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

Durante el Meso-Cenozoico la faja Subandina mostró una tendencia negativa formando una cuenca longitudinal en la que se depositó una espesa serie marino – continental. El tectonismo causó plegamiento y callamiento inverso subvertical. Formó una apretada secuencia de anticlinales y sinclinales, con fallas de sobreescurreamiento que ponen en contacto las formaciones cretácicas y terciarias, y con fallas perpendiculares al rumbo de los pliegues. El drenaje actual y las propias formas del relieve quedan muy controladas por la geología estructural, ya que las montañas, colinas y valles quedan dispuestos a manera de fajas correlativas al alineamiento que presentan las formaciones sedimentarias.

2.5.1.3 Depresión Amazónica

La depresión amazónica es una estructura subdisiente de carácter continental, ubicada entre la cordillera andina y el escudo guayano brasilero. Esta gigantesca depresión se halla compartimentada en numerosas depresiones menores.

El área de selva baja pertenece a la subcuenca Madre de Dios – Beni, la cual es una cuenca de antearco formada bajo eventos tectónicos contraccionales.

La actividad tectónica de esta cuenca se relaciona a su vez con la evolución orogénica de los Andes, cuando el mecanismo de acortamiento de retroarco que ocasionó el tectonismo en dirección Este, afectó a la amazonía.

La subcuenca Madre de Dios – Beni es una unidad morfoestructural cenozoica situada entre los elementos geotectónicos positivos mayores conocidos como la cordillera oriental, el arco de Fitzcarrald y el cratón brasilero. La subcuenca o depresión actúa como un elemento negativo subsidente, que tiene un área aproximada de 100,000 km².

Las tendencias direccionales dominantes de carácter estructural en el área de estudio, se expresan mediante lineamientos de dirección noreste – sureste, con líneas de longitudes que van desde 2 a 8 km. Algunos alineamientos son fallas, como una que resulta tangencial al río Tahuamanu (cerca de Iberia), que ha fracturado y distorsionado las arcillas Ipururo. Estos alineamientos tienen el rumbo de la deformación andina, pero también existen en menor proporción estructuras de dirección Norte – Sur y Noreste – suroeste. En general los fallamientos son relativamente recientes y más o menos activos, por lo que representan algunos riesgos de carácter geológico para la seguridad de la zona.

Las formaciones sedimentarias Ipururo y Madre de Dios conforman los elementos superficiales geológicos del área de estudio, y su sedimentación tuvo lugar desde el Mioceno, en este periodo se depositaron sedimentos de ambientes continentales creados por sistemas fluviales provenientes de los Andes, que cubrieron la cuenca de retroarco que se formó entre la cordillera oriental y el cratón brasilero. El carácter de la sedimentación fue fluvio lacustre y pantanoso predominantemente.

Movimientos tectónicos correlativos a la fase III de la tectónica andina originaron fallas direccionales y esfuerzos de compresión y distensión en los niveles superiores de la formación Ipururo; estos movimientos habrían reactivado el levantamiento del arco de Fitzcarrald que ya existía, contribuyendo a separar las cuencas de Madre de Dios y Ucayali.

LEYENDA

A7 CUBIERTA DE PLATAFORMA SUDAMERICANA
POST TERCIARIA

CICLO ANDINO

A6 VOLCANICOS PLIOCUATERNARIOS
A5 VOLCANICO CLASTICO REGION CORDILLERANA
A4 DEPOSITOS MARINOS Y CONTINENTALES
MOLASAS DEL CRETACEO SUPERIOR - EOCENO MEDIO
A3 DEPOSITOS MARINOS Y CONTINENTALES
A2 DEPOSITOS VOLCANICOS CLASTICOS DEL CRETACEO
INF. A MEDIO
A1 DEPOSITOS CLASTICOS Y VOLCANICO CLASTICOS

CICLO HERCINIANO

H3 MOLASAS Y VOLCANICOS
H2 DEPOSITOS DEL CARBONIFERO Y PERMIANO INFERIOR
H1 DEPOSITOS DEL PALEOZOICO INF. A MEDIO

CICLO CALEDONIANO

C DEPOSITACION Y DEFORMACION NO RECONOCIDOS

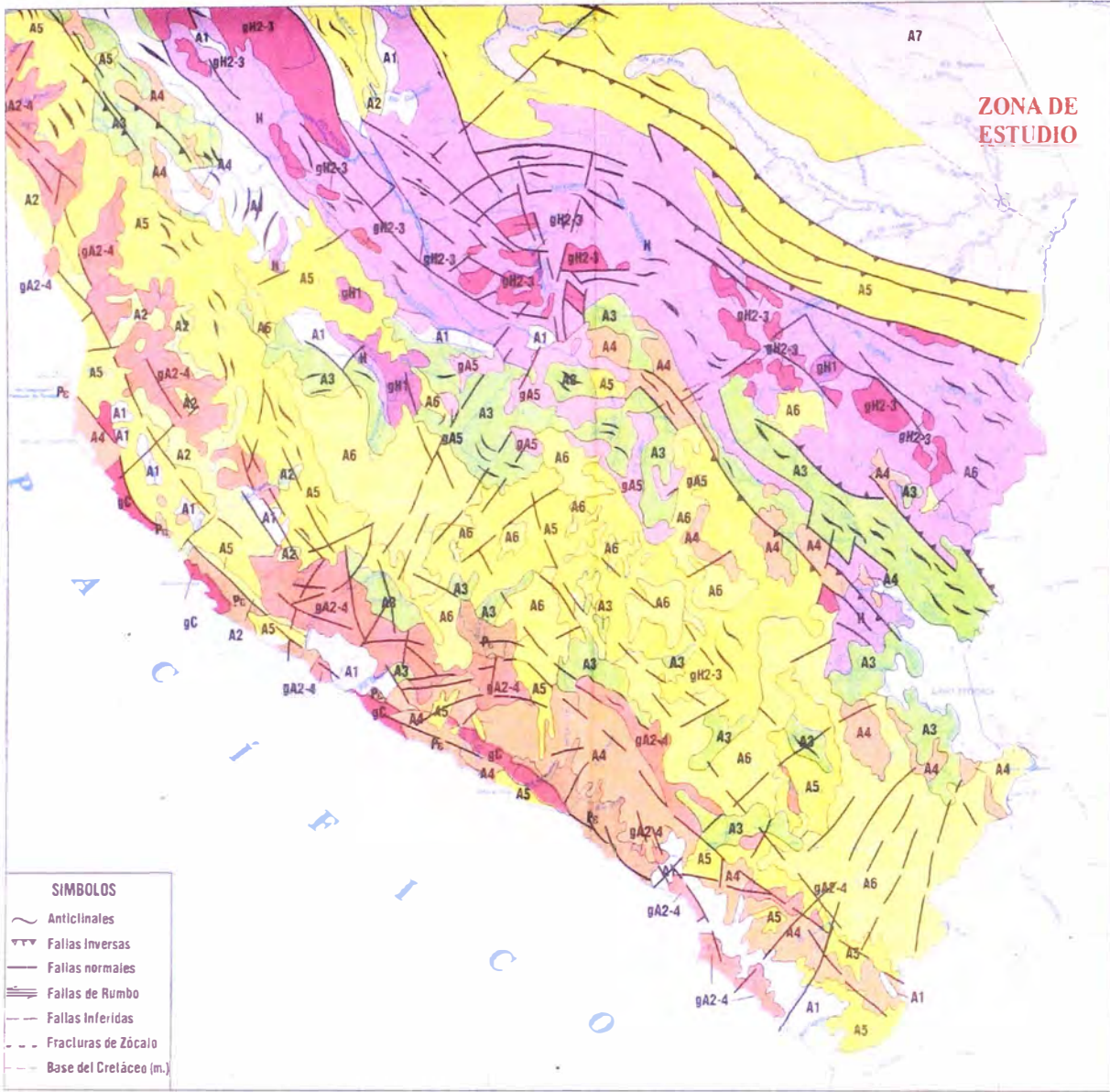
CICLO PRECAMBRIANO

P_s MIGMATITAS, GNEISES Y ESQUISTOS

PLUTONES Y BATOLITOS

gA5 PLUTONES 20-9 MA
gA 2-4 BATOLITO COSTANERO 100-40 MA
gH 2-3 PLUTONES POST. TECT. 260-230 MA
gH1 PLUTONES POST Y SINTEC.
gC PLUTONES 440 MA

ESCALA GRAFICA



SIMBOLOS	
	Anticlinales
	Fallas Inversas
	Fallas normales
	Fallas de Rumbo
	Fallas inferidas
	Fracluras de Zócalo
	Base del Cretáceo (m.)

Figura 2-7. Mapa Estructural Regional del Puente Presidente Billinghamurst. Fuente: Lainez Lozada

2.5.2 Rasgos Estructurales Locales

En el área en estudio no se han encontrado u observado la presencia de estructuras geológicas (fallas, plegamientos, lineamientos, etc.), lo cual indica que esta zona es estable estructuralmente y/o tectónicamente.

Capítulo

3

GEODINÁMICA

La configuración actual del terreno es resultado de los diferentes procesos de geodinámica externa e interna a que ha estado sometida la región.

La evolución de estos procesos ha jugado un papel importante en la configuración de las geoformas y particularmente en el de la llanura aluvial, así como en la distribución de las gravas, arenas y por ende en los placeres auríferos.

La llanura aluvial es el resultado de varias etapas de acumulación, erosión y redepósito por rejuvenecimiento de los principales ríos que drenan desde la cordillera oriental, las que a su vez están ligadas a los movimientos de levantamiento en dicha cordillera, con la consiguiente búsqueda de equilibrio dinámico.

El río Madre de Dios discurre paralelo a las estructuras regionales que conforman las Sierras de Carabaya y Marcapata, originándose aguas arriba de su confluencia con los ríos Inambari y Colorado en las alturas de Manu y Alto Madre de Dios. Este río tiene una dirección predominante de Oeste a Este, desplazándose por la llanura donde forma una sucesión de curvas que conforman los meandros, los mismos que por efecto de la erosión se van estrangulando, dejando una serie de aguajales y meandros abandonados, los que constituyen áreas inundables

El sistema de drenaje que se forma entre el río Madre de Dios y sus tributarios es un patrón rectangular, siendo éstos en su mayoría del tipo consecuente, es decir, Noreste - Sureste. Los tributarios de la margen derecha están próximos a la Faja Subandina de donde se inicia una topografía abrupta, por lo que no se han alcanzado mayor evolución en su desarrollo, descendiendo con velocidad y

fuerte erosión. En cambio los tributarios de la margen izquierda discurren en una topografía de penillanura, constituido de colinas y sobre un terreno arcilloso, siendo su desarrollo amplio, con baja velocidad y escaso poder de erosión, formando meandros.

La confluencia de los ríos Inambari y Madre de Dios han experimentado un desplazamiento hacia el Este, anteriormente esta se situaba aproximadamente a unos 20 Km. al Oeste de su actual posición. Si se observa el rumbo actual del río Inambari, este va de Sur a Norte y luego a la altura de Puerto Carlos gira al Noreste y finalmente al Este, mientras que al parecer antes su rumbo era de Sur a Norte, para luego girar ligeramente al Noreste. Además de haber existido una erosión del Barranco Sur en las terrazas antiguas del río Inambari, allí justo donde hace el giro al Este. Este hecho daría lugar, a que gran parte de los sedimentos antiguos ubicados en la confluencia de estos ríos pertenezcan en realidad al río Inambari.

Los levantamientos regionales en la faja cordillerana han dado lugar también a una ligera inclinación de la antigua superficie terciaria (capas rojas).

Una diferencia de elevación de esta superficie terciaria con respecto a los actuales depósitos se puede observar a ambos lados del río Madre de Dios, específicamente en Laberinto, Vuelta Grande, Los Amigos, etc. Esto sugiere que el río puede estar discurriendo a través de un callamiento regional.

De igual manera el alineamiento de los ríos Huepetuhe, que drena al Puquiri, y el Caychire, que drena al río Inambari, configura un callamiento que levanta la terraza terciaria por la margen Norte de estos ríos.

En la superficie de las terrazas entre los ríos Inambari, Madre de Dios y Tambopata se observan depresiones sinuosas que sugieren divagaciones antiguas sobre estas terrazas hasta alcanzar sus actuales cursos.

3.1 Geodinámica Externa

En esta parte se menciona los procesos de geodinámica externa, que actualmente ocurren en pequeña escala, incidiendo en aquellos que son notables en lugares deforestados.

Los principales procesos están originados directamente por acción hídrica, como la erosión de riberas, desbordes e inundaciones.

a) Socavamiento o erosión de riberas

Se manifiesta como erosión fluvial activa y consiste en el retroceso de riberas que son más vulnerables a la acción de las corrientes sobrecargadas de materiales, las cuales socavan las bases de las orillas, facilitando la caída de zonas ribereñas más altas, presente en algunos sectores de los ríos Madre de Dios y Tambopata.

b) Desbordes e inundaciones

Ocurren en épocas de mayor precipitación, con aumento del caudal del río Madre de Dios, sobrepasando el nivel conocido e inundando sectores normalmente cubiertos por vegetación. Las inundaciones estacionales, entre diciembre y marzo, abarcan la mayor parte de las terrazas bajas inundables, extendiéndose además en zonas conocidas como aguajales que permanecen con agua casi todo el año.

Las inundaciones en el área no revisten riesgos para la actividad humana debido a la baja densidad, salvo algunas obras menores como caminos de herradura.

c) Cárcava menor en quebradas

Proceso de desgaste en los fondos de valles menores, generado por corrientes hídricas que circulan sobre litología fina y blanda, generalmente limo arcillosas, dando origen a pequeños surcos o zanjas abiertas que en conjunto y cuando el proceso es avanzado, se aprecian como pequeños barrancos.

Estas geoformas no son muy importantes en el área, por la baja pendiente de las laderas (2 - 4%), que no permiten que se profundicen, habiéndose observado pequeños procesos de cárcavas cerca de la orilla del río Tambopata.

d) Áreas hidromórficas

Áreas saturadas de agua por las condiciones de mal drenaje, debido a que contienen una capa de arcilla impermeable que no permite el drenaje natural. Su uso está restringido y en ella solamente se desarrollan especies vegetales adaptadas a esta condición, es decir las especies hidrofíticas (aguaje, renaco).

e) Erosión laminar

Proceso visible de la erosión, sus frentes activos se presentan en los taludes de las terrazas cercanas a los cauces por erosión lateral de las riberas, así como en las concavidades de los meandros, formándose barrancos. Estos barrancos al formarse en las curvaturas de los meandros por erosión lateral de las riberas, tienden a colapsar estrangulando el meandro y por ende modificando el curso del río.

A lo largo de la margen derecha del río Madre de Dios, se observan derrumbes superficiales de talud originados principalmente por esta erosión laminar, debida a la escorrentía superficial producida en época de lluvias.

La cobertura de materiales sueltos superficiales, procedente de la alteración de la Formación Madre de Dios es fácilmente erosionada por la acción del agua. Dada su ocurrencia superficial de escaso volumen (1 a 2 m³) es muy eventual, y la cobertura vegetal densa, la hace intrascendente y sin implicancia en la estabilidad del talud.

En la margen izquierda se encuentran pequeños deslizamientos aislados, originados por el cambio de niveles de agua en épocas de lluvias. En temporada de sequías estas riberas se encuentran estables.

Al igual que la otra margen, dada la envergadura de los deslizamientos no tiene trascendencia en la estabilidad de la futura estructura.

El trabajo de la erosión está directamente controlado por la cubierta vegetal que pueda contener el área afectada; a mayor cubierta vegetal es menor la acción erosiva de la lluvia, la presencia de este proceso es mínima en el área de influencia del estudio.

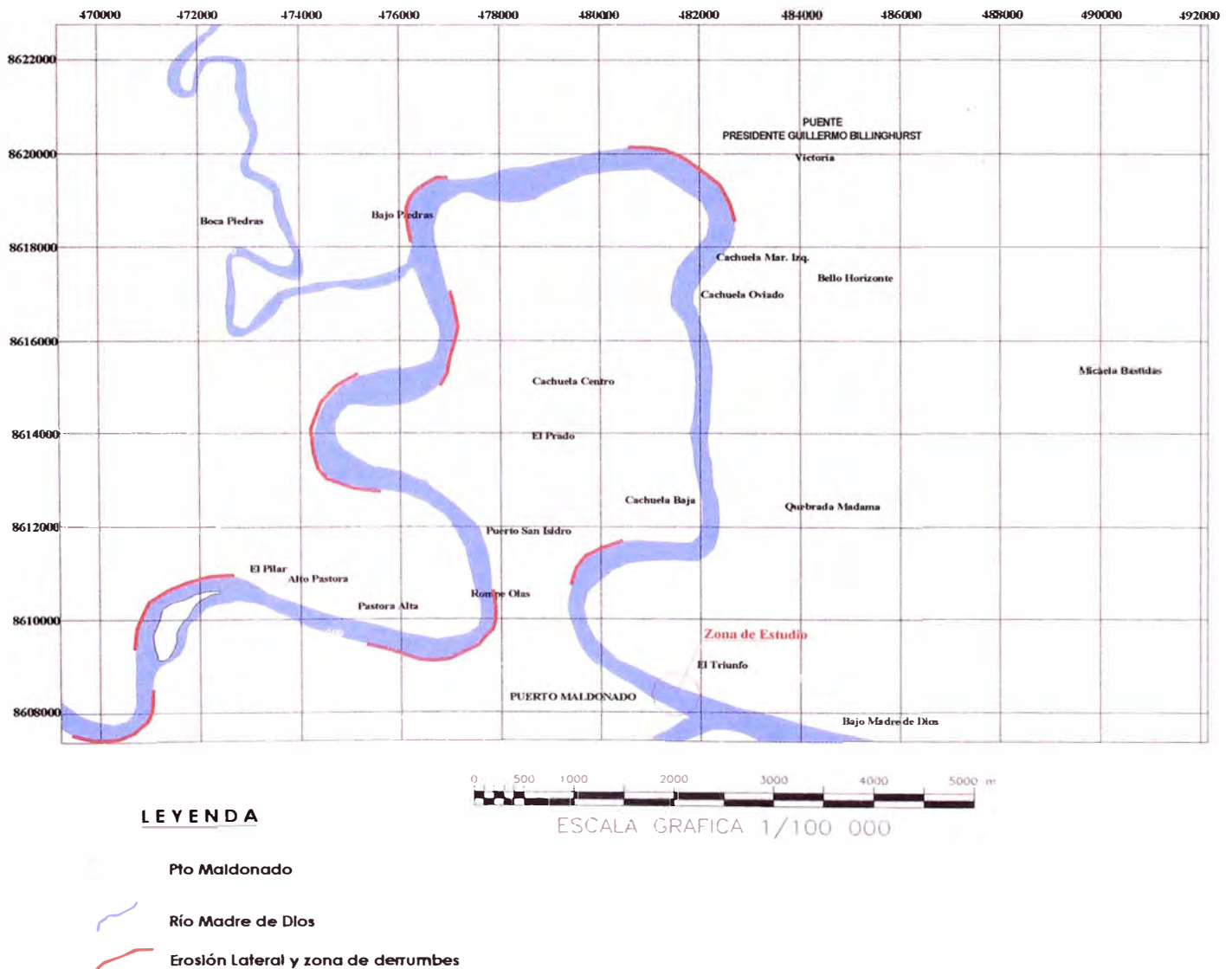


Figura 3-1. Plano de la erosión fluvial aguas arriba del Puente Billinghurst.
Fuente: Lainez Lozada

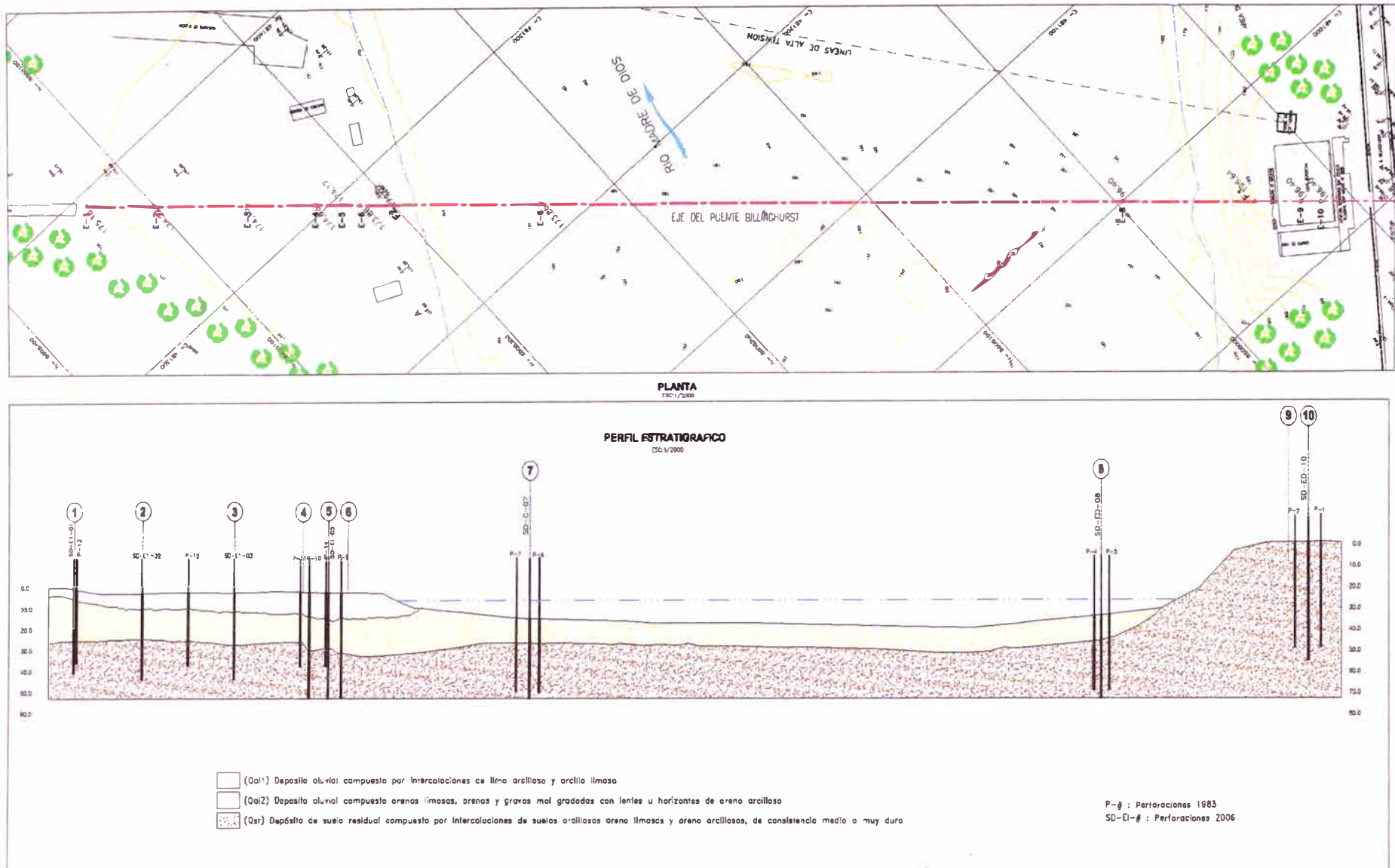


Figura 3-2. Planta y Perfil Estratigráfico a lo largo del Puente Billinghurst, donde se visualiza las formaciones geológicas de ambas márgenes, y la cimentación del puente apoyado sobre el suelo residual firme de la Formación Madre de Dios. Las perforaciones P realizadas llegaron a profundidades de 35-50 m., mientras que los sondajes SD-ED van hasta los 40-68.50 m. Fuente: Lainez Lozada

3.2 Geodinámica Interna

En general, el sector de selva alta se halla en una franja de territorio donde la sensibilidad sísmica es intermedia a baja. Si bien la mayor parte del país es altamente sísmico, en razón que nuestro territorio es parte del llamado Círculo de Fuego del pacífico (el cual es una zona de la corteza terrestre de alto dinamismo, con esfuerzos tectónicos, vulcanismo y movimientos orogénicos prolongados).

El área específica del puente Billinghamurst se ubica se halla en una franja de transición entre los relieves altamente sísmicos de la costa y sierra, y la zona de actividad sísmica reducida o mínima de los llanos depresionados de la amazonía.

Según el mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas (Fig.3-3), el área en estudio se halla en una zona en la que la actividad sísmica es relativamente débil, con movimientos que el mapa estima como máximo de grado V en la escala de Mercalli (sobre un máximo de VI que se estima pueden ocurrir en sectores muy localizados del país). De acuerdo a estas circunstancias se considera que el riesgo sísmico en el área es poco significativo.

Respecto a la selva baja, se halla en el extremo sur oriental del país, alejado de la zona de influencia sísmica de la convergencia de las placas oceánica nazca y continental Sudamericana. Por ello, la ocurrencia de sismos en esta zona es eventual, y en los pocos casos existentes son de intensidad débil. El mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas, indica movimientos sísmicos que como máximo tienen intensidades en la escala de Mercalli de V y IV, siendo esta última el valor más bajo para el territorio nacional (sobre un máximo de XI que se estima pueden ocurrir en sectores muy localizados del país).

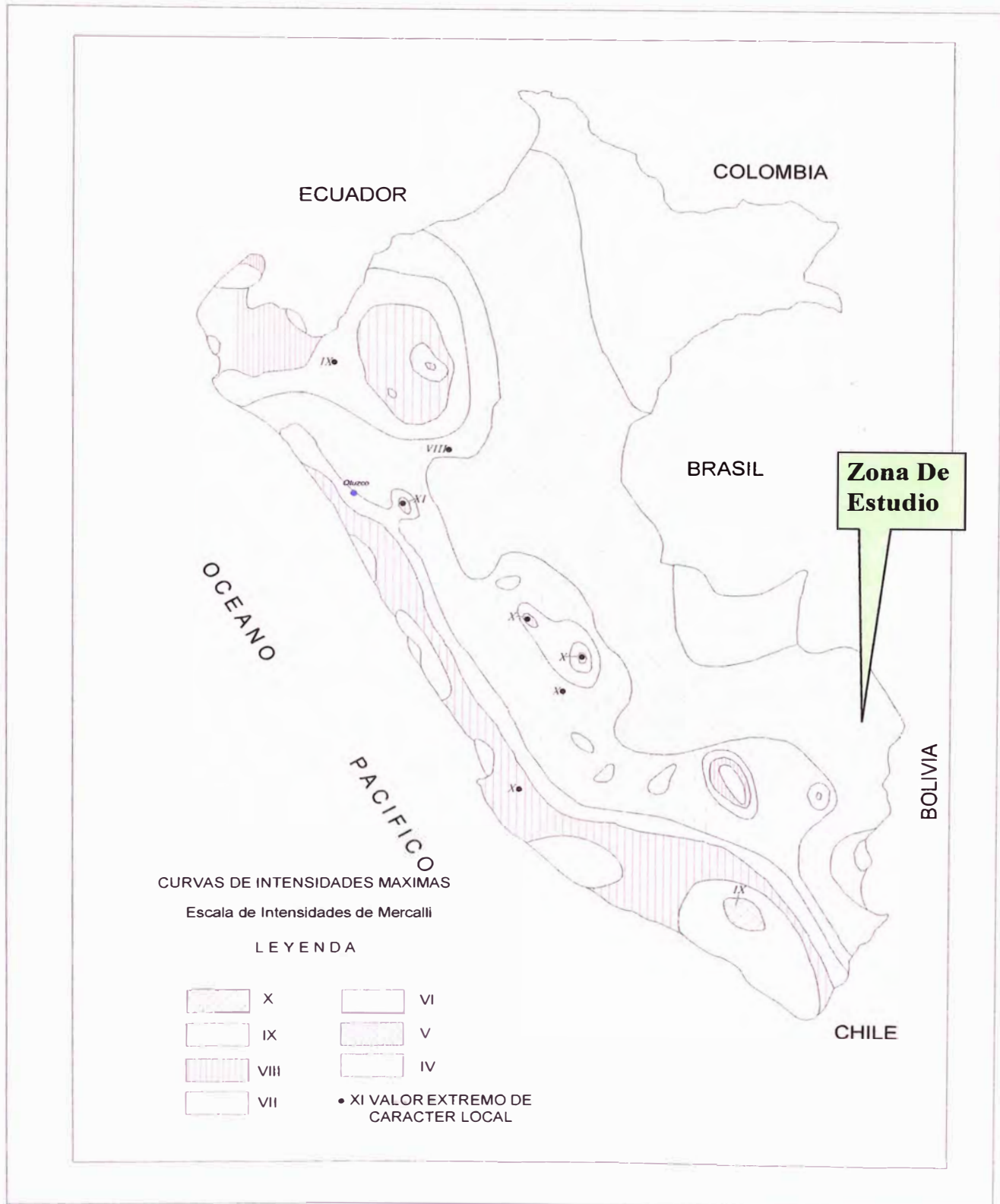


Figura 3-3. Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas. Fuente: Alva et., al, 1984

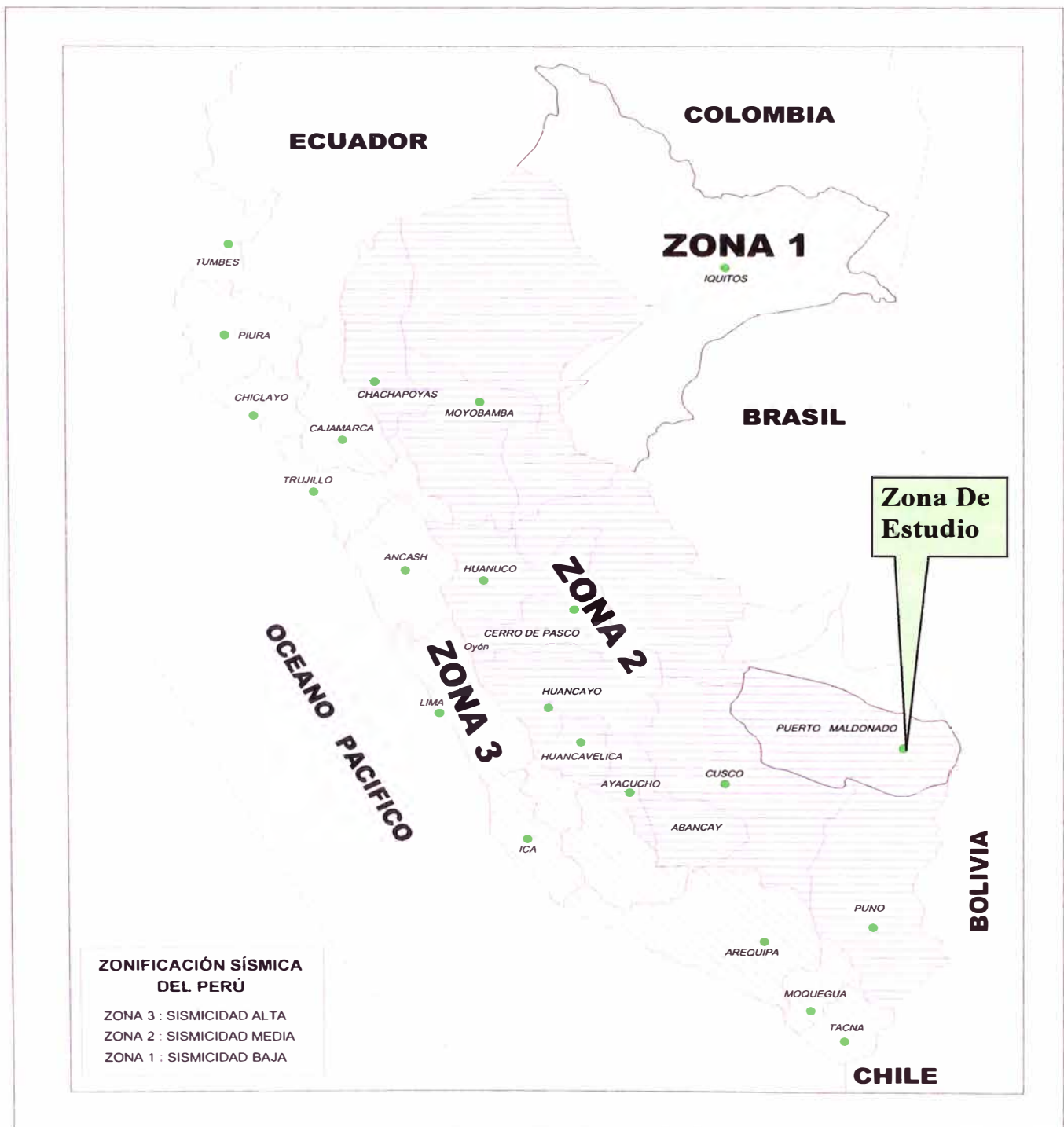


Figura 3-4. Mapa de Zonificación Sísmica del Perú. Fuente: Reglamento Nacional de Construcción (1997).

CONCLUSIONES

- Geomorfológicamente en el área de estudio se observa la presencia de terrazas aluviales, siendo de mayor altura la terraza de la margen derecha del río Madre de Dios, diferenciándose de la terraza izquierda en unos 25 m, esto debido a los procesos orogénicos.
- Las características del área de evaluación, corresponden a superficies planas y onduladas. Fundamentalmente la conformación litoestratigráfica está representada por unidades sedimentarias, así la margen derecha está conformada por la Formación Madre de Dios (del Cuaternario – Pleistocénico) consistente en una intercalación de Argilitas, Limolitas y Areniscas, mientras que la margen izquierda está constituida por depósitos recientes (limos y arenas) en procesos de consolidación y remoción cuyo origen es aluvial y fluvial.
- La cobertura de materiales sueltos superficiales, procedente de la alteración de la Formación Madre de Dios es fácilmente erosionada por la acción del agua de escorrentía superficial.

Fenómenos de geodinámica externa se presentan en ambas márgenes, correspondiendo a deslizamientos pequeños en la margen izquierda y derrumbes de pequeña envergadura en la margen derecha, ambos no comprometen la estabilidad de las márgenes.

La erosión, tanto lateral como de fondo, es mínima en época de estiaje; incrementándose notoriamente en la margen derecha en épocas de grandes avenidas, pero sin incidencias en su estabilidad.

El estrato de suelo correspondiente a la Formación Madre de Dios es más antiguo, resistente y menos socavable que los suelos superficiales consistentes de depósitos aluviales finos, por lo que el estudio geotécnico determinará su capacidad de soporte para poder recibir la cimentación y esta a su vez las cargas de la superestructura del Puente Billinghamst.

RECOMENDACIONES

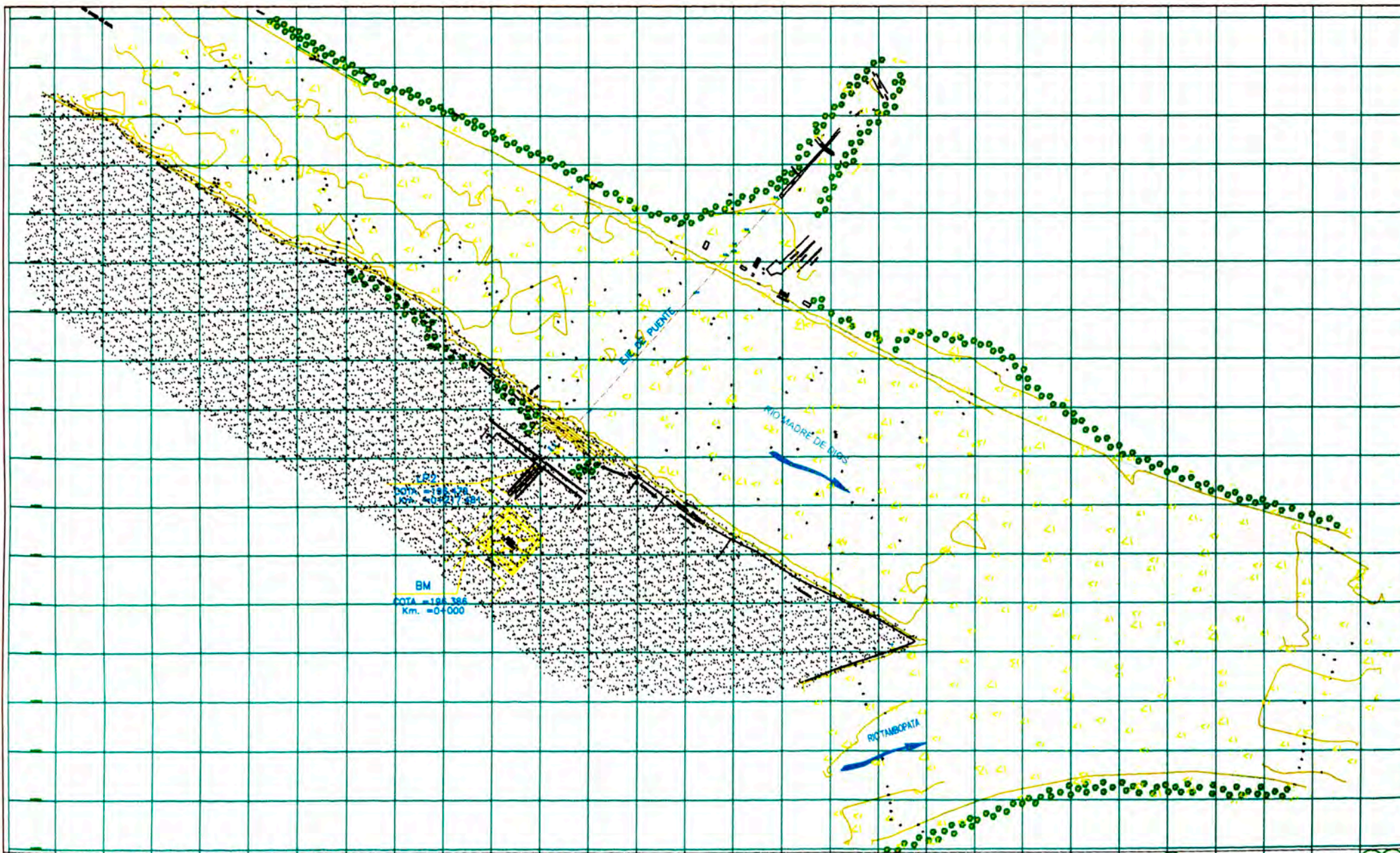
- Evitar el retiro de la cobertura vegetal que cubre el lugar del proyecto, salvo por recomendación del especialista en el ramo.
- Reponer la vegetación en las zonas afectadas por la construcción del puente, de tal manera de evitar futuras erosiones.

BIBLIOGRAFIA

1. Acero Barreat, Maria. **“Estudio geológico – geotécnico y evaluación de las condiciones del terreno que constituye el campus de la ciudad universitaria de Caracas”**. Tesis Especial de Grado de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela, 2005.
2. Alaya Flores, Ernesto César. **“Estudio de Suelos para la Cimentación de Puentes”**. Informe de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú, 1997.
3. Aliaga Chávez, Manuel Jesús. **“Estudio Geológico – Geotécnico para la rehabilitación de la carretera Corral Quemado – Río Nieva Tramo I: Puerto Naranjitos – Pedro Ruiz”**. Tesis de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima - Perú, 2003.
4. Galabru, Paul. **“Cimentaciones y Túneles”**. Edición N° 1. Editorial Reverte. Barcelona - España, 1965.
5. González de Vallejo, L. et al. **“Ingeniería Geológica”**. Edición N° 1. Editorial Prentice Hall. Madrid - España, 2002.
6. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. **“Boletín N° 81, Serie A: Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz (26-u), Laberinto (26-x), Colorado (26-v), Puerto Maldonado (26-y), Quincemil (27-u), Masuco (27-v), Astillero (27-x) y Reserva Tambopata – Candamo (27-y)”**, Lima - Perú, 1996.
7. Krynine, D. P. y Judd, W.R. **“Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros”**. Edición N° 2. Ediciones Omega. Barcelona - España, 1965.

8. Legget, R. F. y Karrow, P.F. **“Geología Aplicada a la Ingeniería Civil”**. Edición Nº 1. Editorial Mc Graw – Hill de México S.A. de C.V. México, 1986.
9. Leliavsky, Serge. **“Introducción a la Hidráulica Fluvial”**. Edición Nº 1. Editorial Omega. Barcelona - España, 1964.
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. **“Manual de Diseño de Puentes”**. Lima - Perú, 2003.
11. Pedro Lainez – Lozada Ingenieros S.A. **“Expediente Técnico: Construcción del Puente Presidente Guillermo Billinghurst”**. Lima – Perú, 2006.

ANEXOS

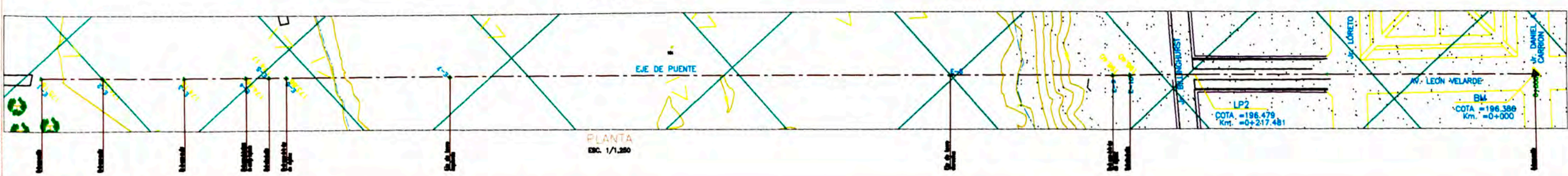
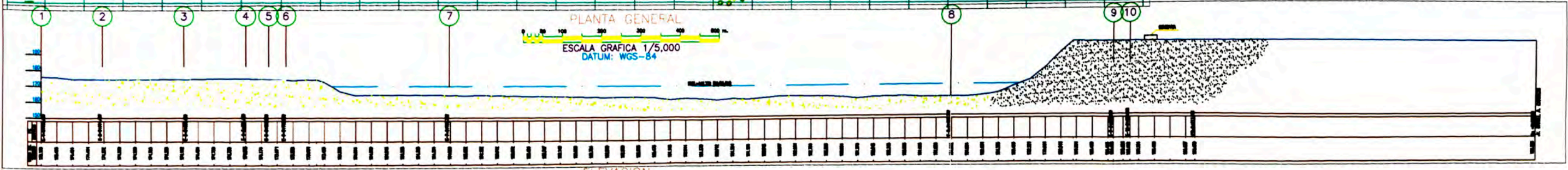


LEYENDA

	DEPOSITOS FLUVIALES, ALUVIALES	Gravas y arena, gravas con matriz arena limosa
	FORMACION MADRE DE DIOS	Limoltas, areniscas poco consolidadas, conglomerados polimicticos (cuarcitas, granitos, cuarzo lechoso, pizarras)

SIMBOLOGIA

	Río
	Vegetación
	Eje del puente



Anexo N° 02: FOTOGRAFÍAS

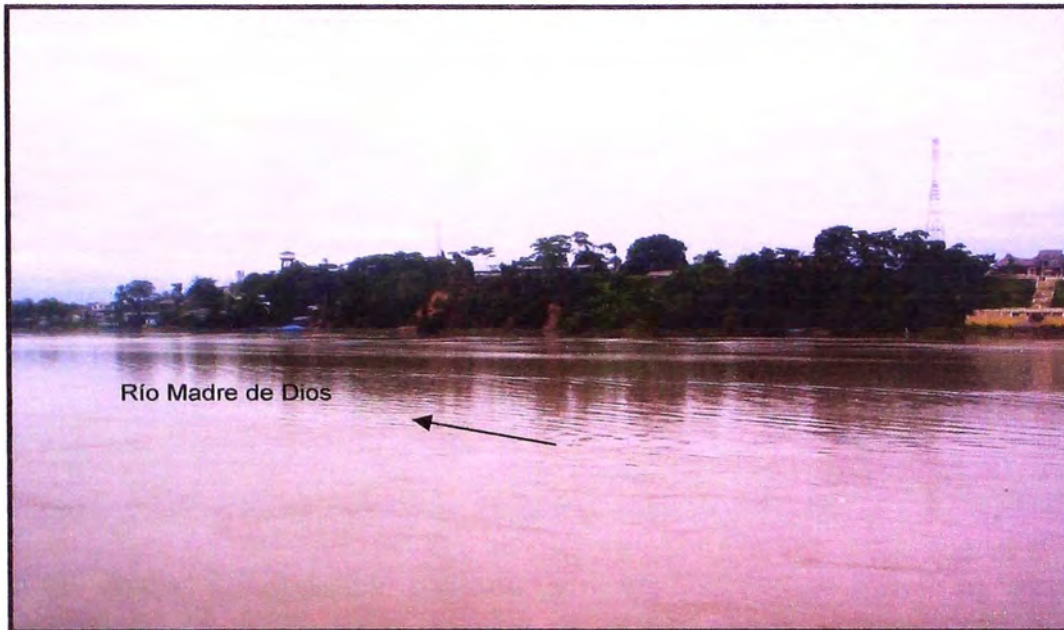


FOTO 1: Vista panorámica tomada en dirección SE, donde se aprecia la margen derecha del río Madre de Dios donde se aprecian pequeños derrumbes antiguos situados a la altura del campo deportivo de Seguridad de Estado.

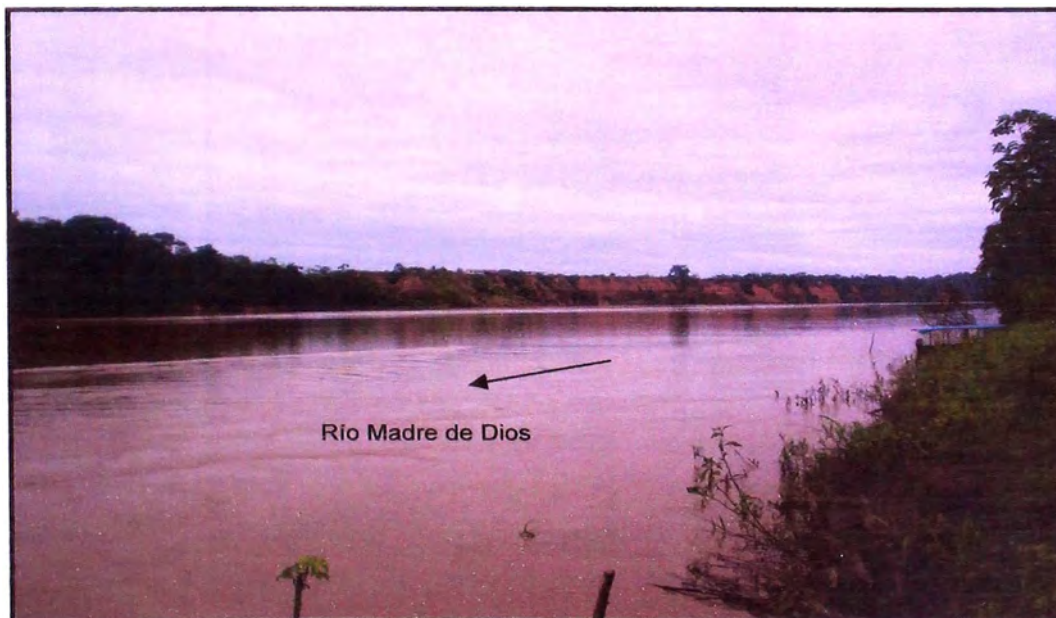


FOTO 2: Vista panorámica tomada en dirección Nor Oeste margen derecha, se aprecia materiales de la formación Madre de Dios, pequeñas cárcavas producto de la erosión laminar.



FOTO 3: Vista panorámica tomada en dirección Sur Este, se aprecia los materiales de la Formación Madre de Dios donde se aprecia pequeñas cárcavas.



FOTO 4: Vista panorámica tomada en dirección Sur Este, se aprecia material aluvial que es erosionado por el río Madre de Dios, los materiales son arenas de grano fino a grueso y limos presentes en la zona.



FOTO 5: Otra vista panorámica tomada en dirección SE, se aprecia la erosión laminar y lateral en la margen derecha producida por el río Madre de Dios.