

8.2.4 Resultados de la Investigación (Análisis hidrológico)

1) Reconocimiento de característica regional

Hidrológicamente el territorio nicaraguense está dividido en dos grandes regiones, el Pacífico y el Atlántico. Estas están divididas en 21 cuencas de las cuales 8 están en la región del Pacífico y las 13 restantes en la región del Atlántico, (Véase el Capítulo 2). Desde el punto de meteorológica, el País está dividido en cuatro regiones; la región del Pacífico, la Región del Norte, región Central y la región Atlántica. Los dos puentes pequeños, Papalón y Solís, pertenecen a la región del Pacífico y otros 9 restantes a la región del Norte.

2) Parámetros morfométricas

Se indica abajo los parámetros morfométricas que se aplican para cada sitio de estudio.

Tabla 8.2.3 Parámetros morfométricas

Punto de control/ Cuenca	ID Codigo	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Longitud Canal principal (Km)	Tiempo de concentración (Horas)	Pendiente Promedio Cuenca (%)	Factor de Forma
Tapacalí	45-1	147.1	55.00	24.00	3.00	21	0.26
Inalí	45-2	84.80	47.00	17.00	2.00	21	0.29
San Ramón	45-3	2.70	7.00	3.00	0.50	28	0.30
Las Chanillas	45-4	114.6	59.53	20.52	3.00	16	0.27
San Nicolás	45-5	6.10	10.00	3.00	0.50	31	0.68
El Guayacán	55-6	28.3	18.00	12.5	2.00	19	0.18
El Junquillal	69-7	49.80	34.00	11.00	2.00	18	0.50
Las Banderitas	69-8	7.70	12.50	5.00	1.00	30	0.31
San Juan Dios	69-9	9.00	14.25	7.00	1.00	29	0.78
Solís	64-10	0.80	5.01	1.80	0.29	19	0.24
Papalón	64-11	0.60	3.41	1.48	0.23	16	0.27
Punto de control/ Cuenca	ID Codigo	Coefficiente de Torrencialidad (Rf0/km2)	Pendiente del Canal principal (%)	Elevación de la Cuenca Principal (m.a.s.l)	Extensión del flujo (Km ² /km)	Elevación máxima (m.a.s.l)	Elevación mínima (m.a.s.l)
Tapacalí	45-1	0.29	4.1	1121.61	0.19	1665	680
Inalí	45-2	0.28	3.9	961.69	0.28	1736	640
San Ramón	45-3	0.37	6.7	897.96	0.22	1005	813
Las Chanillas	45-4	0.27	2.7	1068.5	0.30	1380	819
San Nicolás	45-5	0.66	8.7	1070.0	0.22	1300	920
El Guayacán	55-6	0.35	4.8	866.63	0.43	1220	620
El Junquillal	69-7	0.18	3.3	608.4	0.30	1000	457
Las Banderitas	69-8	0.26	8.4	445.09	0.28	660	240
San Juan Dios	69-9	0.44	7.1	267.44	0.20	660	100
Solís	64-10	3.85	4.4	225	0.07	250	170
Papalón	64-11	1.69	4.1	238.98	0.10	230	170

Para analizar el régimen de precipitación, temperatura y humedad relativa de los 11 puntos de control conocido como cuenca, se usaron datos meteorológicos de 4 estaciones con 20 años de registro comprendida entre los años (1980-2000). Estas estaciones fueron seleccionadas a

partir de la relación existente entre la localización de los sitios de estudio y el mapa de isoyetas medias anuales publicado por INETER. Los nombres de las estaciones utilizadas están dados en la tabla 8.2.4.

Tabla 8.2.4 Estaciones meteorológicas

Nombre de la estación	ID Código	Periodo	No. de Cuenca
Condega	45003	1958-2001	45
Ocotal	45017	1985-2000	45
Leon	64043	1974-2002	64
San Isidro de Barbacoa	69029	1958-2000	69

Fuente: INETER

A continuación, se describe la relación entre los sitio de estudio y las estaciones.

a) Sitios Tapacalí e Inalí

Los sitios Tapacalí e Inalí se localiza dentro de las isoyetas de 800 mm. y 1000 mm. de precipitación, para una precipitación regional promedio de 900 mm. Partiendo de este análisis se seleccionó la sección meteorológica de Ocotal por ser la estación pluviográfica más cercana a los sitios estudiados. Para dicha estación, la precipitación presenta un promedio anual de 870.2 mm. Si consideramos únicamente los 6 meses del período lluvioso (mayo a octubre), el promedio máximo mensual ocurre en septiembre con 158.6 mm. y promedio mínimo de 74.4 mm. durante el mes de julio. La precipitación máxima es de 1717.1 mm. (1998) y la mínima es de 439.5 mm.

b) Sitios San Ramón, Las Chanillas y San Nicolás

Los sitios de San Ramón, Las Chanillas y San Nicolás tienen una condición similar a los sitios Tapacalí e Inalí. Están localizados dentro de la misma cuenca que los anteriores (No. 45) y tiene una precipitación regional promedio de 900 mm. Sin embargo, se seleccionó la estación meteorológica de Condega por encontrarse más cerca de los sitios de interés que la estación Ocotal. La estación de Estelí fue rechazada en el proceso de estudio, porque, aunque más cerca, no tiene una buena serie de datos. Para dicha estación, la precipitación promedio anual presenta 840.7 mm. Si consideramos únicamente los seis meses del período lluvioso, el promedio máximo mensual ocurre en septiembre con 146.1 mm. y el promedio mínimo mensual 72.6 mm. durante el mes de julio. La precipitación máxima es de 1360.8 mm. (1998) y la mínima es de 490.5 mm. (1985).

c) Sitio de Guayacán

El sitio de Guayacán está en la cuenca No. 55 ó Río Grande de Matagalpa, se localizan dentro de las isoyetas de 800 y 1000 mm de precipitación, para una precipitación regional promedio

de 900 mm. La estación meteorológica de San Isidro de Barbacoa, aunque no está dentro de la cuenca No.55 ó Río Grande de Matagalpa, sí está dentro del Valle de Sébaco, cerca del sitio El Guayacán, así que se adoptaron los datos de la misma. El promedio anual de precipitación de la estación meteorológica de San Isidro de Barbacoa es de 923.7 mm. Si consideramos únicamente los seis meses del período lluvioso, el promedio máximo mensual ocurre en septiembre con 177.1 mm. y el promedio mínimo mensual 80.3 mm. durante el mes de julio. Los mayores acumulados de lluvia anual son 1567.4 mm (1995), mientras que las menores precipitaciones se registran en los 521.2 mm (1986).

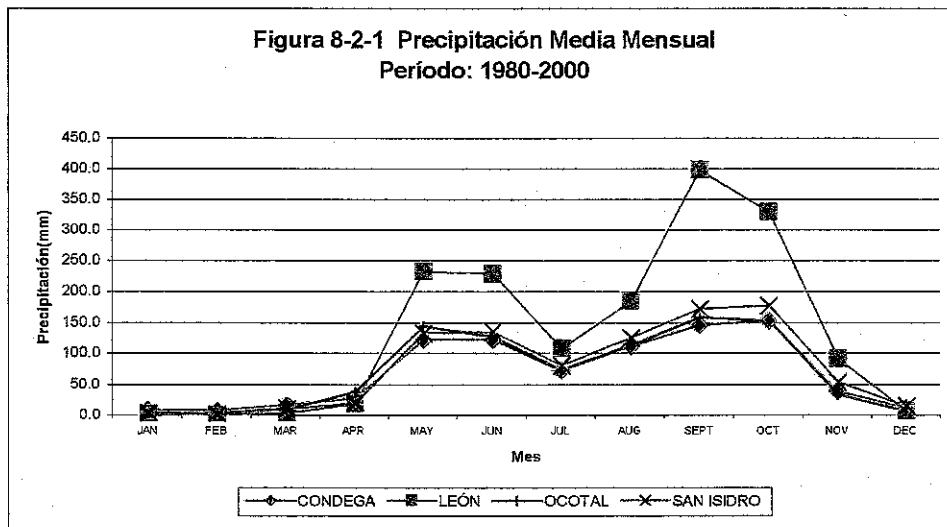
d) Sitios de Papalón y Solis

Papalón y Solis están situados en la cuenca No.64 ó Volcán de Consigüina -Río Tamarindo, y se usaron los datos de la estación meteorológica de León ubicada muy cerca de los los sitios de estudio. El promedio anual de precipitación de la estación meteorológica de León es de 1606.1 mm. Si consideramos únicamente los seis meses del período lluvioso, el promedio máximo mensual ocurre en septiembre con 397.9 mm. y el promedio mínimo mensual 107.8 mm. durante el mes de julio. Los mayores acumulados de lluvia anual son 2547mm (1997), mientras que las menores precipitaciones se registran 863.9mm (1992).

e) Sitios El Junquillal, Las Banderitas y San Juan de Dios

Los sitios El Junquillal, Las Banderitas y San Juan de Dios, están localizados dentro de la cuenca No.69, en la parte alta de la misma y dentro del área de drenaje del río Viejo y de las isoyetas de 1000mm de precipitación. Para hacer análisis, se seleccionó la estación meteorológica de San Isidro de Barbacoa.

A continuación, se muestra la precipitación media mensual de últimos 20 años.



3) Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

Las curvas de Intensidad de Precipitación, Duración, Frecuencia (IDF) de las estaciones meteorológicas de León, San Isidro y Ocotal de la red nacional de meteorología operadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), fueron preparadas con datos de la intensidad anual máxima de precipitación, estos datos fueron leídos de la tabla de medición de lluvia.

El período de registro común establecido para el análisis corresponde 20 años (1980-2000), que corresponde a lecturas diarias de registros obtenidos de las intensidades de precipitación máximas evaluadas para 5, 10, 15, 30, 60, 120 y 360 minutos. De estos, los valores máximos mensuales fueron sacados y de ellos los valores máximos anuales.

Se realizó un análisis de consistencia de la información por el método de doble masa, computo de los valores promedios, el método de desviación estándar y todos los parámetros de las funciones de Gumbel α y β para cada duración. Los valores máximos anuales de cada estación meteorológica fueron ordenados en orden creciente para que estos sean aplicables a los ajustes correspondientes; aplicando el método de Gumbel que es una teoría probabilística, el análisis de frecuencia (probabilidad empírica) y el uso del método estadístico Kolmogorov-Smirnov. Después de la intensidad de precipitación máxima de 5, 10, 15, 30, 60, 120 y 360 minutos fueron calculadas para 25, 50 y 100 años. Las curvas de IDF se muestran en las figuras como sigue;

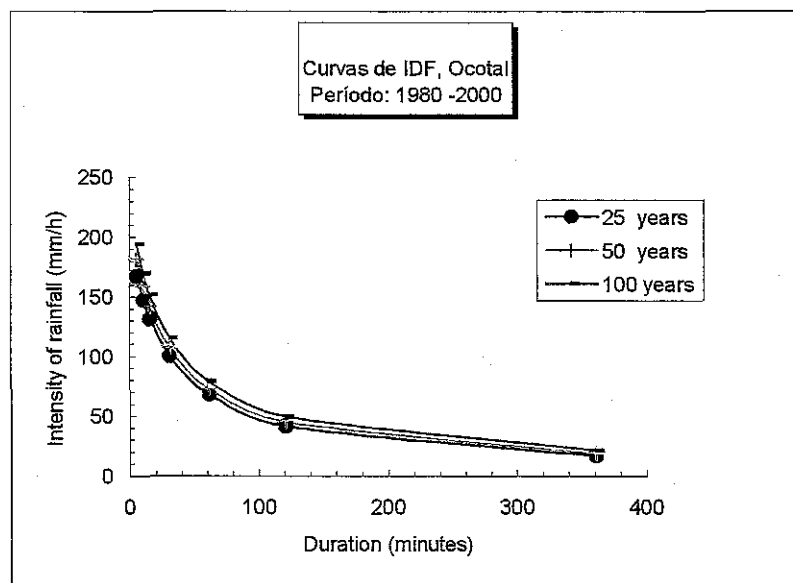


Figura 8.2.2 Curvas de IDF en la estación meteorológica de Ocotal (Fuente: INETER)

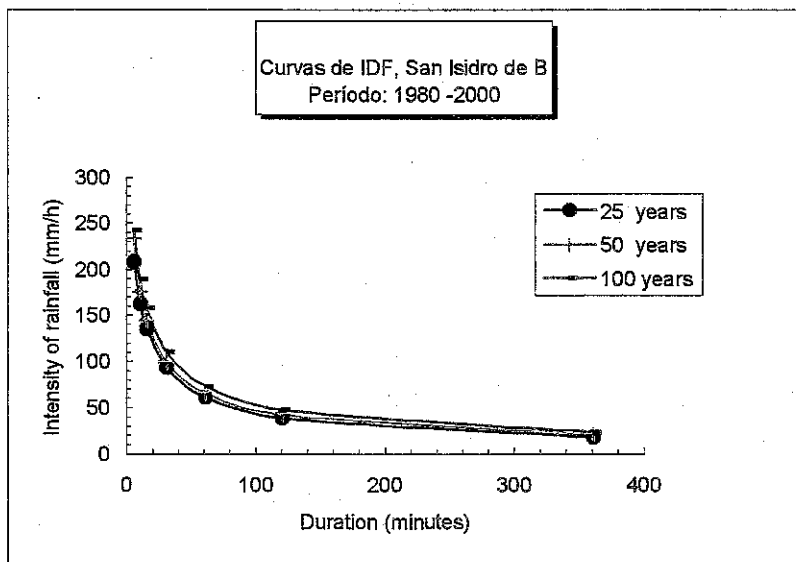


Figura 8.2.3 Curvas de IDF en la estación meteorológica de San Ishidoro de Barbacoa
(Fuente: INETER)

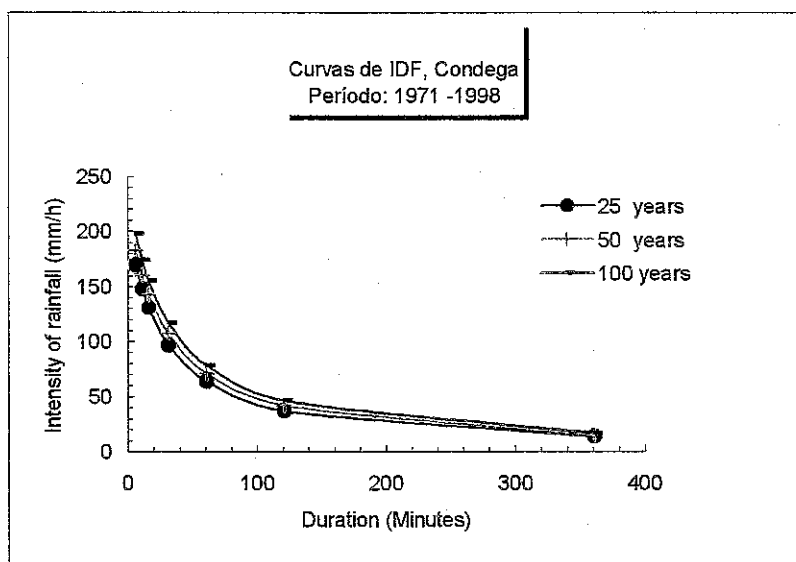


Figura 8.2.4 Curvas de IDF en la estación meteorológica de Condega
(Fuente:INETER)

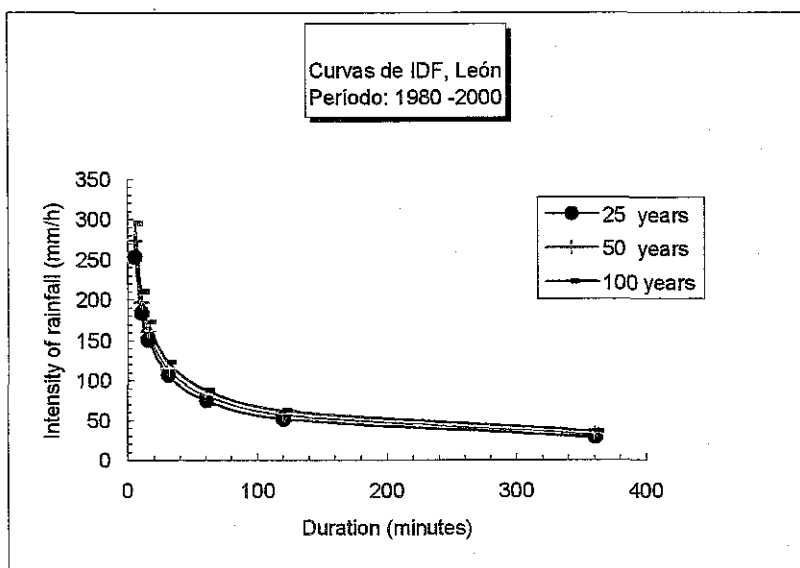


Figura 8.2.5 Curvas de IDF en la estación meteorológica de León (Fuente: INETER)

La estimación de caudales se muestra en la tabla 8.2.7.

4) Estimación de Caudales

La estimación de caudales fue realizado con el método racional que depende de las Intensidades de las precipitaciones las cuales fueron obtenidas de las curvas IDF (Figuras desde No.8.2.2 a 8.2.5) para los diferentes períodos de retorno (25, 50 y 100 años) que es usada para estimar los caudales en todas las cuencas.

Los parámetros requeridos en el método racional tales como el área de drenaje, tiempo de concentración están en la Tabla 8.2.3, Parámetros Morfometricos.

La estimación del coeficiente de escorrentía (C) es obtenida de la Tabla 8-2-5, donde los valores son escogidos respecto a a algunas diferentes características.

Tabla 8.2.5 Coeficientes de Escorrentía

COBERTURA DE SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		FUERTE	ALTA	MEDIA	SUAVE	INSIGNIFICANTE
		50 %	20 %	5 %	1 %	%
SIN VEGETACIÓN	Impermeable	0.8	0.75	0.70	0.65	0.6
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTIZAL, VEGETACIÓN LIGERA	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
GRAMA	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUE, VEGETACIÓN DENSA	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.44	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: Ministerio de Obras Publicas de Venezuela

El uso de suelo en cada cuenca fue obtenido de los mapas del uso de suelo con escala de 1: 250,000 (publicado por INETER) que corresponden a las siguientes hojas. Estelí y Managua. La información de estos mapas junto con los trabajos de campos para el estudio de los sitios produjo una actualización de la información a cerca de los cambios en la cobertura que no se indican en estos mapas, por ejemplo tierras de cultivo que historicamente se daban en Occidente actualmente son usadas como tierras de pastizal y de muy poco cultivos.

El tipo de suelo fue obtenido de los mapas del tipo de suelo en escala 1: 250,000 (publicado por INETER) correspondiente a los mapas: Estelí y Managua. La más importante característica es el grado de permeabilidad de los suelos y los taludes para cada zona. En los estudios hidrológicos se asumen que los suelos son semi-permeables porque no hay información que muestre los valores de infiltración. La tabla 8.2.6 muestra los coeficiente de escorrentía para cada una de las cuencas

Tabla 8.2.6 Coeficiente de escorrentía para cada cuencas

Cuenca	Tiempo de Concentración (Horas)	Coefficiente de Escorrentía
Tapacalí	3.0	0.62
Inalí	2.0	0.59
San Ramón	0.5	0.48
Las Chanillas	3.0	0.60
San Nicolás	0.5	0.42
El Guayacán	2.0	0.49
El junquillal	2.0	0.46
Las Banderitas	1.0	0.46
San Juan de Dios	1.0	0.44
Solís	0.3	0.45
Papalón	0.3	0.46

El método racional es ampliamente usado alrededor del mundo para estimación de caudales sobre cuencas de drenaje en zonas rurales y el más usado para el diseño de drenaje urbano.

La fórmula del método racional es

$$Q_p = 0.278CIA$$

Q_p = Canal de descarga (m³/s)

0.278 es un factor de conversión en el sistema internacional (SI).

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad de precipitación (mm/h), estimada de las curvas de intensidad de precipitación, duración, frecuencia (IDF).

A = Área de drenaje (Km²)

T_c = (Lc³ / (Hmax - Hmin))^{0.385} (California formula)

Tabla 8.2.7 Estimación de caudales

Cuenca	A (km ²)	TC (hours)	I (mm/h)			C	Qp (m ³ /s)		
			25	50	100		25	50	100
Tapacalí	147.11	3.0	35	40	45	0.62	886.75	1013.4	1266.8
Inalí	84.80	2.0	41.7	45.7	50.0	0.59	579.58	635.18	694.94
San Ramón	2.7	0.5	96.8	107.7	117.7	0.48	34.85	38.78	42.38
Las Chanillas	114.61	3.0	35	38	42	0.6	668.61	725.92	802.33
San Nicolás	6.10	0.5	96.8	107.7	117.7	0.42	68.89	69.94	83.77
El Guayacan	28.3	2.0	38.7	43.1	48.1	0.49	149.08	166.03	185.29
El Junquillal	49.8	2.0	38.7	43.1	48.1	0.46	246.28	274.28	306.10
Las Banderitas	7.70	1.0	61.1	66.1	73.8	0.46	60.12	65.04	72.62
San Juan de Dios	9.00	1.0	61.1	66.1	73.8	0.44	67.22	72.72	81.19
Solís	0.80	0.5*	105.9	114.7	123.4	0.45	10.59	11.47	12.34
Papalón	0.60	0.5*	105.9	114.7	123.4	0.46	8.12	8.79	9.46

* Para Solís y Papalón el valor de intensidad de IDF son redondeados a más cerca de valor (30 minutos).

5) Estimación de niveles de agua

En general, los niveles de agua de cada cuenca en donde se encuentran los sitios de estudio son estimados por la simulación HEC-RAS. Antes de dar los resultados de la simulación hidráulica usando el programa HEC-RAS, es necesario definir una particular situación para realizar la simulación:

- a) **Grupo 1,** En este grupo fueron considerados los estudios de los sitios con áreas de drenaje menor que 10 km²: Solís, Papalón, Las Banderitas, San Nicolás, San Juan de Dios y San Ramón. (Ver Tabla 8-2-6).

Las principales características de estos puntos son:

Paredes de los canales son casi verticales, modernamente profundas (de 9 a 5 m).

Anchos entre 40 y 100 m.

- Caudales estimados menores que $100 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo lo más alto estimado para períodos de retorno de 100 años.
- b) **Grupo 2:** En este grupo fueron considerados los sitios de estudio con mayores áreas de drenaje entre 28.3 y 147 km^2 . El Guayacán, El Junquillal, Las Chanillas, Inalí y Tapacalí (Ver Tabla 8-2-6).
- Las principales características de estos sitios son:
- Profundidad de los canales de 6m.
- Ancho entre 40 m y 120 m.
- Los sitios Las Chanillas, Inalí y Tapacalí, son con canales anchos mayores de 100m.
- c) **Información Geométrica :** Las secciones transversales fueron numeradas en orden ascendente siendo el primero aguas abajo y el último aguas arriba. La sección transversal No. 1 corresponde al perfil del camino a la altura del puente, en donde los niveles de agua fueron estimado en este análisis
- d) **Información de Flujo:** El estado del flujo es considerado para los sitios de cada canal en aproximación de la pendiente de profundidad crítica es considerada, la cual es el primer número y es el nivel de cambio entre el punto más bajo y el canal principal con la sección ubicada más aguas arriba y con la sección del puente. Bajo un régimen subcrítico el régimen de 3 perfiles fueron analizados para un periodo de retorno de 25, 50 y 100 años. Los caudales para el corto período de retorno (25 años), en la parte alta de la sección del puente, un caudal menor fue estimado.
- e) **Coefficiente de Rugosidad de Manning (n):** La selección del valor de un coeficiente de rugosidad para cada uno de los canales estudiados se basaron en las características del material del lecho del canal. La elección del valor es por comparación de fotografías tomadas durante el trabajo de campo y las fotografías del libro "Roughness Characteristics of New Zealand Rivers" del Water Resources Survey por D M Hicks and P D Mason, un manual para asignar coeficientes hidráulicos de rugosidad de los ríos que tomados por la comparación aproximado visual, basados en las características físicas e hidráulicas de 78 ríos de Nueva Zelanda. La información dada para cada río incluye fotografías a color, sección transversal, descripción de lecho y banco, material de la superficie de lecho y graduación de tamaño, y coeficiente de rugosidad de Manning y Chezy.

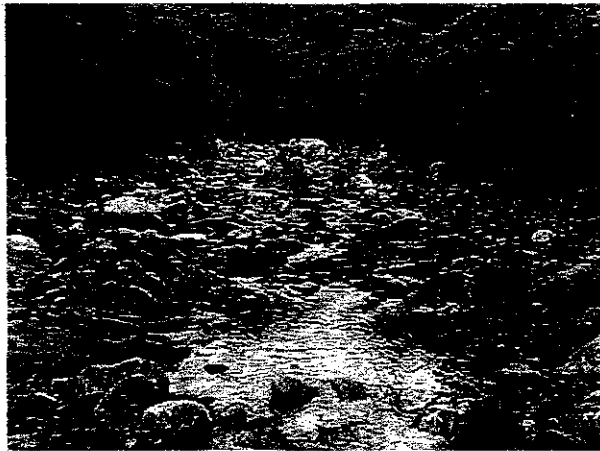
Fotografías de cada sitio de estudio con los coeficientes de rugosidad de Manning



Canal principal aguas arriba del puente Solis
n = 0.016



Canal principal aguas arriba del puente Papalón
n = 0.016



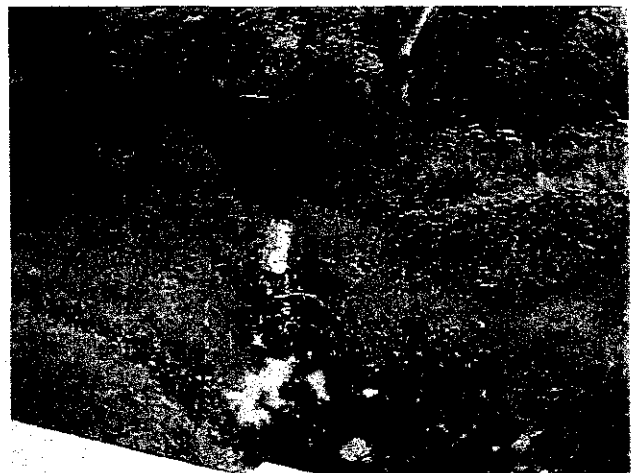
Canal principal aguas arriba del puente La Banderitas
n = 0.027



Canal principal aguas arriba del puente San Juan de Dios
n = 0.027



Canal principal aguas arriba del puente San Nicolás
n = 0.020



Canal principal aguas arriba del puente San Ramón
n = 0.045



Canal principal aguas arriba del puente El Junquillal
n = 0.027



Canal principal aguas arriba del puente El Guayacán
n = 0.27



Canal principal aguas arriba del puente Las Chanillas
n = 0.028



Canal principal aguas arriba del puente Inalí
n = 0.028



Canal principal aguas arriba del puente Tapacalí
n = 0.028

f) **Resultados de Niveles de agua:** Los niveles de agua para cada una de las secciones transversales se muestran en las tablas 8.2.8 y 8.2.9 para los grupos antes descritos (la estructuras del puente no fue considerada).

Tabla 8.2.8 Niveles de agua sobre la sección transversal del puente para el Grupo 1

Cuencas	Velocidad(m/s)			Caudal(m ³ /s)			Niveles de agua sobre la sección del puente (m)			Nivel del puente (m)
	(años) 25	50	100	25	50	100	25	50	100	
Período de retorno										
Solís	2.28	2.34	2.37	10.59	11.47	12.34	-4.61	-4.58	-4.55	0.28
Papalón	2.47	2.61	2.76	8.12	8.79	9.79	-3.2	-3.14	-3.08	0.30
San Juan de Dios	1.04	1.05	1.07	67.22	72.72	81.19	-0.28	-0.21	-0.11	-0.03
La Banderita	1.19	1.22	1.26	60.12	65.04	72.62	-6.37	-6.25	-6.06	-0.01
San Nicolás	1.72	1.78	1.84	68.89	64.94	83.77	-4.13	-4.22	-3.80	0.40
San Ramón	2.36	2.46	2.54	34.85	38.78	42.3	-3.4	-3.33	-3.26	0.48

Los niveles de agua no están ligados a los Bancos de Nivel de la red geodésica.

Tabla 8.2.9 Niveles de agua sobre la sección transversal del puente para el Grupo 2

Cuencas	Velocidad(m/s)			Caudal(m ³ /s)			Niveles de agua sobre la sección del puente (m)			Nivel del puente (m)
	(años) 25	50	100	25	50	100	25	50	100	
Período de retorno										
El Junquillal	1.86	1.89	1.91	246.28	274.28	306.10	0.92	0.98	1.04	0.205
El Guayacán	1.02	1.04	1.07	149.08	166.03	185.29	>0.86*	>0.86 *	>0.86 *	0.86
Ls Chanillas	4.76	4.88	5.03	668.61	725.92	802.33	-4.1	-3.95	-3.75	0.18
Inalí	4.69	4.80	4.92	579.58	635.18	694.94	-3.61	-3.46	-3.3	0.32
Tapacalí	2.65	2.78	2.90	886.75	1013.44	1266.80	295.76	296.06	296.61	299.618

Los niveles de agua no están ligados a los Bancos de Nivel de la red geodésica sobre Tapacalí.

* Línea de carretera

6) EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Grupo 1

Las Microcuencas del grupo uno comprenden 2 sitios en la región de Occidente Solís y Papalón, 4 sitios en la región norte del país San Juan de Dios, La Banderita, San Nicolás y San Ramón. Las áreas de drenaje son inferiores a los 10 km², siendo Solís y Papalón los de menor área con 0.8 y 0.6 km², respectivamente. Debido a esto presentan los menores escurrimientos estimados (3.76 y 2.51 m³/s) para 100 años de retorno respectivamente.

- 1) **Solís, Papalón, La Banderita, San Nicolás y San Ramón:** Los Niveles de la superficie del agua a la altura de la sección del puente son inferiores al nivel de rasante, con el caudal de 100 años de retorno, esto indica que el tramo analizado

tiene capacidad hidráulica para transportar este caudal, siempre y cuando se considere que el perfil de la carretera fue incluido en el análisis sin considerar las dimensiones de la estructura del puente la cual ofrece gran resistencia al flujo al contraer la sección transversal del cauce. En ambos casos la topografía es suficiente para analizar caudales mayores de 100 años.

- 2) **San Juan de Dios:** En este caso los tres caudales analizados alcanzan el nivel de rasante del puente, lo cual indica que el tramo analizado no tiene capacidad hidráulica suficiente para transportar los flujos. En lo que respecta a la topografía las secciones transversales 2, 3 y 4 fueron proyectadas en el margen derecho con una pendiente del 3%, lo cual aproxima el área hidráulica en las zonas de desborde.

Group 2

Las cinco cuencas (El Junquillal, El Guayacán, Las Chanillas, Inalí y Tapacalí) están localizados en la zona norte del país. En este grupo las áreas de drenaje son mayor que los sitios del grupo 1 comprenden su áreas de drenaje, de los 28.3 (El Guayacán) a los 147 km² (Inalí), los caudales picos para 100 años de retorno oscilan entre los 185.29 y, 140.19 m³/s respectivamente, de magnitud superior a los del grupo 1.

- 1) **El Junquillal:** en este sitio los niveles de la superficie del agua alcanzaron el nivel de rasante de la sección del puente. La característica especial de este sitio es que las áreas adyacentes al cauce son cultivadas con arroz las cuales tienen taludes casi despreciables además de tener una superficie impermeable totalmente saturada por agua. Las secciones transversales 2, 3, y 4 fueron proyectadas en el margen derecho e izquierdo con un talud del 3% a partir de la última estación, esto para aproximar el área hidráulica de los tres caudales picos. El tramo analizado no tiene la suficiente capacidad hidráulica para transportar los tres caudales analizados siempre y cuando se considere que el perfil de la carretera fue incluido en el análisis sin considerar las dimensiones de la estructura del puente la cual ofrece gran resistencia al flujo al contraer la sección transversal del cauce. En lo que respecta a la topografía es necesario que se levanten más secciones transversales aguas arriba además de considerar mayor longitud (longitud transversal) para incluir en estudios posteriores las zonas de inundación en la modelación del HEC-RAS u otro Software que recomiende.
- 2) **El Guayacán:** En este sitio el cauce no es capaz de transportar el caudal inferior de 185.29 m³/s que corresponde a los 25 años de retorno, esto considerando que

no está incluido en la sección del puente las dimensiones de la estructura en sí, la cual consiste en un puente de arcos que contrae aún más la sección ofreciendo de esta manera más resistencia al flujo que la situación analizada., esta resistencia al flujo incrementaría aún más los niveles resultantes. Debido a tal situación se prefirió determinar el caudal que alcanza el nivel de rasante el cual corresponde a $35 \text{ m}^3/\text{s}$ considerando que podría ser menor si se incluye la estructura en el análisis. Los niveles para 25, 50 y 100 años que se muestran en la tabla de resultados para este sitio no son físicamente correctos, pero se han dejado como una muestra de la magnitud de cada uno de los tres casos. En lo que respecta a la topografía es necesario levantar secciones transversales más seguidas y de mayor longitud transversal de tal manera que abarquen el cauce del margen derecho viendo aguas abajo y el islote entre ambos (para caudales superiores a 25 años de retorno el islote es alcanzado fácilmente), además de secciones transversales por encima de la bifurcación del cauce principal, (aguas arriba de la sección A).

- 3) **Las Chanillas, Inalí y Tapacalí:** Son los tres sitios con mayor área de drenaje 114.61, 84.80 y 147.11 km^2 respectivamente, con los caudales picos de mayor magnitud 657.87, 694.94 y 1,140.19 m^3/s . Estos sitios tienen cauces de gran anchura de poco talud y bastantes llanos en ambas márgenes, la sección que corresponde al puente es superior en profundidad a las secciones del cauce del río en el tramo de estudio. Los caudales analizados alcanzaron de un 40-50% la profundidad de la sección del puente considerando además de la no incorporación de la estructura en los cálculos, la extensión de las secciones transversales en ambas márgenes con una pendiente del 3% para estimar más área hidráulica en el cauce. Debido a la magnitud de estos ríos es de mucha importancia incrementar las longitudes transversales de las secciones transversales para así determinar las áreas hidráulicas verdaderas para estos ríos y para realizar análisis de mayor magnitud..

8.3 Estudio Geológico

8.3.1 Objetivo y método de estudio

1) Objetivo (Perforación, Sondeo y Muestreo)

La exploración por perforación fue ejecutada en los sitios de taludes y puentes los cuales se seleccionaron a través de los estudios en la primera fase.

Las perforaciones en los taludes fueron ejecutadas con el fin de obtener los datos básicos necesarios para la evaluación de la estabilidad del talud o la pendiente entera.

En los sitios de puentes, también se realizaron perforaciones para obtener los datos básicos necesarios para la evaluación de la estabilidad del lecho de cama considerando su morfología, los sedimentos del río y suponiendo la situación de dicho lecho. Además, el muestreo y la prueba de penetración estándar también fueron realizadas.

2) Método de estudio

La investigación se realiza conforme a ASTM por la razón de que en Nicaragua no hay otra norma que se aplique.

La excavación se realizó con la máquina de perforación rotatoria, y en el rango posible se ejecutaron la prueba de penetración estándar.

Con las muestras obtenidas por sacamuestras se realizaron análisis de diámetro de partícula, prueba de peso específico de la partícula de suelo, prueba de contenido de humedad y LLPL, para comprender la propiedad física del estrato de objeto del estudio. Por otra parte, se trató de comprender el valor de propiedad física de las bases de roca por medio de ensayo de compresión sin sujeción, además de la prueba de densidad aparente usando las muestras extraídas como núcleo.

3) Selección de sitio de perforación

Al definir el sitio y cantidad de perforación, la característica de cada sitio y el resultado del estudio de la primera fase deben ser bien estudiados por la investigación visual antes de la perforación. Para determinar el sitio de perforación, se adaptó la clasificación de cinco categorías para talud y de dos categorías para puente tomando en consideración las características topográficas y la geológica que tienen íntima relación con la estabilidad.

La ordenación de perforación en los sitios objeto de estudio se indica abajo.

Tabla 8.3.1 Ítems de clasificación para exploración por perforación (Talud)

Categoría	Características	Cantidad de Perforación
Tipo-A	El estrato es simple o compuesto con la alteración. Donde se comprende fácilmente la litofacia y estado de meteorización, y se considera que con una perforación es suficiente para evaluar la composición media de estrato que relaciona con la estabilidad.	BH=1
Tipo-B	Se observa la variación de composición de estrato y el grado de meteorización. Se considera que es necesario realizarse por lo menos dos perforaciones para evaluar la composición media de estrato que relaciona con la estabilidad.	BH ≥ 2
Tipo-C	La composición de estratos y el grado de meteorización es complejo. Donde hay necesidad de evaluar la estabilidad de todo talud incluyendo el talud objeto de estudio y por lo menos se exigen más de tres perforaciones. En donde se prevé la alud de fango, y se planea construir la presa de sabo (control de erosión) con el fin de que la inclinación del lecho del río sea menos de 3° en el sitio que se cruce el río con la carretera.	BH ≥ 3
Tipo-D	La mayoría de la información de estabilidad se puede obtener por observación visual de rocas sólidas expuestas. La perforación no es necesaria.	BH=0
Type-E	La composición geológica y el grado de meteorización son extremadamente complejos por la falla o alteración volcánica. La cantidad de perforación dependerá de la situación.	Depende de la situación. Facultativo.

A continuación, se muestra un ejemplo de ordenación de perforación para puentes.

Tabla 8.3.2 Ítems de clasificación para exploración por perforación (Puente)

Categoría	Características	Cantidad de Perforación
Tipo- α	Debido a topografía plana, sección geológica y distribución de rocas expuestas, se puede evaluar el lineamiento de la característica geológica y espesor de estrato alrededor de puente por una perforación. Sobre todo, el puente está situado en el lugar llano y/o es corto.	BH=1
Tipo- β	Se prevé la variación de composición del estrato, y se puede apreciar la característica geológica y espesor promedio por medio de la ejecución de perforación plural en el punto donde se varía.	BH ≥ 2

El ejemplo de ordenación de perforación para el talud objeto de estudio se muestra como sigue.




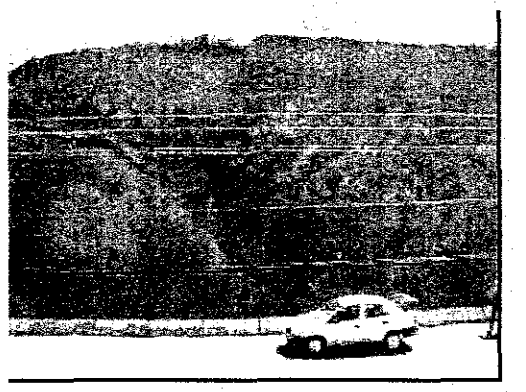
<p>Muestra de Tipo-A</p>	<p>Serial-No.8 (ID- No.001B230) La composición del talud es simple, y se permite la investigación visual extensamente. Además, el estado de meteorización es homogéneo. Por lo tanto, no se lleva a cabo la perforación en el talud. Sin embargo, se realiza una perforación en el pie de talud o en el hombro de carretera con el fin de examinar la posibilidad de derrumbe del talud.</p>	
<p>Muestra de Tipo-B</p>	<p>Serial-No.32 (ID- No.003C150) Se encuentran la meteorización y arcillación de toba en la topografía y característica de talud que influyen en la anomalía del mismo. Y existe una pequeña topografía anormal (el terreno plano en el pie de barranco como faja), y en el hombro hay escalonada. Por medio de perforación plural, se comprende la variación de composición.</p>	
<p>Muestra de Tipo-C</p>	<p>Serial-No.35 (ID- No.005A010) El colapso del talud afecta la estabilidad de talud entero junto con la composición de estrato geológico y aguas filtradas de mesa de lava, como se encuentra en NIC.5. La altura y ancho de talud requieren el examen incluyendo a todo largo la carretera. La perforación plural debe ser ejecutada para que se posibilite la evaluación íntegra.</p>	
<p>Muestra de Tipo-D</p>	<p>Serial-No.22 (ID- No.001A010) No hay vegetación y talud entero se forma con flujo de lava andesita encima de la capa estable de aglomerado. Es posible evaluar el grado de meteorización y estabilidad visualmente.</p>	

Figura 8.3.1 Ejemplos sobre ítems de clasificación de perforación(Talud)

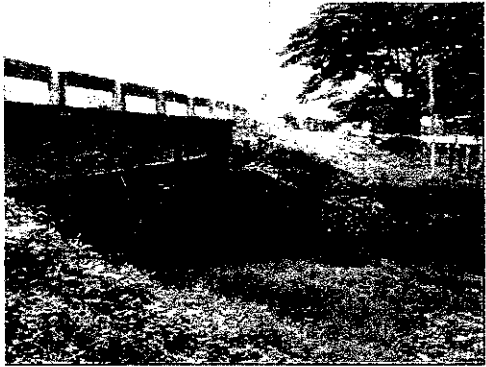
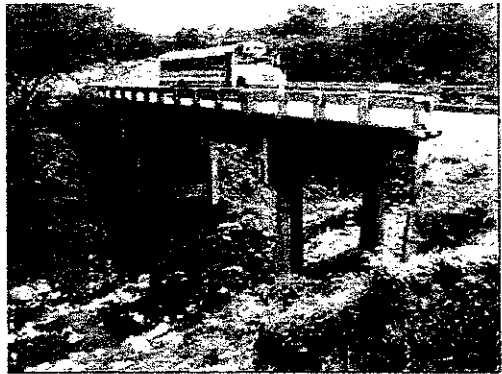
<p>Muestra de Tipo- α</p>	<p>Serial-No.4 (ID- San Ramón) Es un puente relativamente corto colgado en el sitio plano en donde geográficamente no hay variación. No hay necesidad de suponer que haya la variación de composición de estrato en ambas orillas, y se puede evaluar el promedio de composición geográfica y el espesor de estrato por medio de una perforación.</p>	
<p>Muestra de Tipo- β</p>	<p>Serial-No.45 (ID- La Banderita) El puente está colocado sobre el valle con la forma de flecha en el área montañosa. Existe la posibilidad de que haya variación de composición de estrato en ambos lados del río. Hay que evaluar la composición geológica y espesor del estrato ejecutando dos o más perforaciones.</p>	

Figura 8.3.2 Ejemplos sobre items de clasificación de perforación (Puente)

En la selección de posición de perforación, naturalmente es importante un punto de vista técnico, así como la seguridad de los equipos y personal del investigador que ejecuta el estudio se consideran prioritarios.

Como consecuencia de estas consideraciones, la ordenación del sitio de perforación fue definida como se muestra en la próxima tabla.

Tabla 8.3.3 Ordenación de exploración de perforación

No. De Ruta		Nic.1	
Número de Serie de Sitio Crítico de Desastres	ID.No	Kilometraje desde Managua (km)	Tipo de Perforación
1	N001A290	60.9	A
2	N001A280	79.2	C
3	Jomotal	113.19	α
4	San Nicolás	135.64	α
5	Las Chorrillas (REsteil)	150.33	β
6	San Ramón	151.85	β
7	N001A240	168.4	A
8	N001B230	168.6	A
9	N001B200	169.8	D
10	N001B190	170.7	D
11	N001B170	171.3	A
12	N001B150	175.0	A
13	N001B120	176.2	A
14	N001A110	178.7	A
15	N001B100	187.3	D
16	N001B070	204.7	A
17	N001A050	214.7	A
18	Rio Isal	226.89	β
19	Rio Tapacal	233.245	β
20	N001B030	232.5	D
21	N001A020	233.7	D
22	N001A010	235.6	D

No. de Ruta Nic.3

Número de Serie de Sitio Crítico de Desastres	ID.No	Distancia desde Sebaco(km) (*Puente: desde Managua)	Tipo de Perforación
23	003B420	3.9	A
24	003B400	6.9	B
25	003B370	7.4	A
26	El Guayacan	119.05	α
27	N003B320	22.1	A
28	N003B240	32.7	A
29	N003B230	32.9	B
30	N003E170	35.2	C
31	N003C100	35.9	B
32	N003C100	36.9	B
33	N003C140	39.4	B
34	N003E120	40	A

No. Ruta		NIC.5	
Número de Serie de Sitio Crítico de Desastres	ID.No	Distancia desde Matagalpa (km)	Tipo de Perforación
35	N005A010	24.6	C

No. Ruta		Nic.15	
Número de Serie de Sitio Crítico de Desastres	ID.No	Distancia desde Las Manos (km)	Tipo de Perforación
36	N015E010	9.9	C
37	N015E020	11.1	C
38	N015E050	11.7	A
39	N015E060	13.6	A

No. Ruta		Nic.26	
Número de Serie de Sitio Crítico de Desastres	ID.No	Distancia desde empalme entre San Isidoro y Sebaco (km) (*Puente: desde Managua)	Tipo de Perforación
40	N026A010	9.0	D
41	N026A020	12.7	D
42	N026A030	19.9	D
43	N026A040	20.9	D
44	N026A060	24.7	A
45	La Banderita	170+952	β
46	N026A100	29.3	A
47	N026B110	29.6	D
48	N026A130	33.6	A
49	N026B140	34.0	A
50	N026A150	34.2	C
51	N026B160	37.0	A
52	San Juan de Dios	156+785	α
53	N026B210	45.5	A
54	Papalón	102+154	α
55	Sols	107+533	α

- R.F. Caída de Roca
- R.C. Colapso de Roca
- S.S. Deslizamiento de Tierra
- D.F. Alud de Fango
- Bridge Socavación de Cimiento

8.3.2 Resultado de investigación

Los resultados de la investigación se muestran en la próxima tabla.

Tabla 8.3.4 Resultado de investigación

Ruta NIC.1

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
1 N001A290	El lecho complejo de roca con toba compuesta, toba y flujo de lava andesita. Se observa la fisilidad por alivio de esfuerzo. Existe el estrato débil de toba. De modo que se evalua el estado de meteorización y litofacia en el pie de talud que influye en la estabilidad de la misma. Una perforación.	Según el resultado de perforación, un metro en profundidad desde la superficie hay grietas capilares y está bien meteorizado. Más profundo, existen rocas duras pero hay grietas pequeñas. Se formó un estrato de flujo de lava andesita y no existe colapso grande desde el límite de estratos, pero ocurren las caídas de rocas en el período lluvioso debido a grietas abiertas.
2 N001A280	Es el sitio de pendiente suave y encima del talud existe una torre de transmisión eléctrica. En este talud hay dos terrenos formados por deslizamiento, y el rango y profundidad de colapso se puede reconocer por la observación del estado de la anomalía superficial. Sin embargo, hace falta comprender existencia del plano de deslizamiento. Con el fin de reconocer la litofacia, grado de meteorización y existencia de capa débil más profunda al pie del talud, se realiza la perforación plural.	La toba en el talud está meteorizada hasta siete metros en profundidad desde la superficie, y algunos se convirtieron en suelo. Más profundo, existen toba-brecha, andesita. Se rezuma agua en el período de poca lluvia, y dos terrenos formados por deslizamiento. Es indispensable estudiar la estabilidad del talud total.
3 Junquillal	El puente es largo y está colocado en el lugar plano. Se prevé que hay poca variación geológica en ambas orillas. Se realiza una perforación.	Según el resultado de perforación, hasta tres metros en profundidad se encuentra la capa muy meteorizada que está convirtiéndose en el suelo y más profundo la capa de andesita meteorizada con grietas. En la capa andesita se encuentra alguna parte que se convirtió en suelo. Pero, juzgando desde el tamaño del puente, no afectan a la resistencia de terreno.
4 San Nicolas	El puente es corto, y se prevé que no haya variación geológica en ambas orillas. Se evalua con una perforación.	Según el resultado de perforación, se encuentra la capa de toba compuesta que está convirtiéndose en suelo hasta tres metros de profundidad. Más profundo, el grado de meteorización no es tan severo.
5 Las Chanillas	El puente es largo y se prevé la variación geológica en ambas orillas. Se evalua con dos perforaciones.	Según el resultado de perforación, se encuentra la conversión de roca en suelo hasta cinco metros en profundidad. Más profundo, la roca está relativamente estable, pero a lo largo de grietas hay conversión de roca en suelo.

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
6	La toba que está distribuido en el talud se puede evaluar visualmente. Para confirmar el grado de meteorización se aplica una perforación.	Según el resultado de perforación, se encuentra toba convertida en suelo hasta tres metros en profundidad desde superficie. Más profundo, la meteorización alcanza hasta doce metros en profundidad, pero no se origina problema para el valor N.
7 N001A240	La composición geológica es de toba y de toba-frecha. Las rocas están expuestas en el talud y facilitan la evaluación visual. Para confirmar la estabilidad del lado de relleno, hay que aplicar una perforación en el pie del talud.	Según el resultado de perforación, en la capa de toba se encuentra muchas grietas capilares y la infiltración de aguas de lluvia es inevitable. La andesita, debido a grietas, se convirtió en bloques de unos diez centímetros y la caída de ellos es inevitable. Se encuentran muchas grietas capilares en la toba debajo de la vía, y ellas se convierten en los canales de aguas hacia el lado de relleno.
8 N001B230	El estrato alternativo de toba y flujo de lava andesita. El talud está completamente expuesto y se puede evaluar visualmente. Por lo tanto, con el fin de confirmar la estabilidad de lecho de roca hacia el lado de relleno, se aplica una perforación en el pie de talud.	Según el resultado de perforación, hay una tendencia de conversión de roca en suelo hasta dos metros en profundidad desde la superficie y hasta cuatro metros que avanza la meteorización. No se identificó la capa débil desde el pie de talud hasta el valle. Pero, existen grietas con el intervalo de 10 a 50 cm, hay que quitar las rocas desprendidas. También la meteorización de toba alcanza hasta dos metros de profundidad y se necesita quitar las rocas desprendidas.
9 N001B200	La mayoría del talud se formó por andesita. Y está expuesto completamente, se puede juzgar el grado de meteorización y estabilidad por inspección visual.	Se observan muchas grietas en la andesita del talud. Las grietas están abiertas pero están en condición estable. Comparando con el resultado de la inspección de primera fase, no hay novedad.
10 N001B190	El talud consiste en el estrato grueso de toba-brecha. Como está expuesto todo talud, se puede juzgar la estabilidad por inspección visual.	Se observan la fisilidad y caída de rocas pequeñas, pero no hay novedad en contraste con el resultado de la inspección de primera fase. Sin embargo, el talud consiste en toba-brecha que se meteoriza fácilmente. Es necesario tomar algunas medidas de protección contra meteorización.
11 N001B170	La toba blanca que tiene debilidad de meteorización se encuentra en andesita dura, de modo que se forma el voladizo en donde se cayeron la toba. Para confirmar la distribución de toba blanca se seleccionó un sitio de perforación en el pie de talud.	Según el resultado de perforación, hay una tendencia de conversión de roca en suelo hasta cuatro metros en profundidad desde la superficie. La parte estable del lecho de roca se mide casi diez metros de profundidad. El estado de la superficie de talud no está bien arreglado.
12 N001B150	La andesita quebradiza se convirtió en gravas. Sobre todo, el colapso se observa cerca del pie de talud. La superficie del talud está expuesta completamente. Para confirmar el estado de lecho de roca en el pie de talud, se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, las grietas capilares se extienden hasta dos metros de profundidad. Más profundo, se encuentran andesita y toba-brecha. Pero el peligro de la roca desprendida en el voladizo que existe en la parte superior del talud es extremo, y debe eliminarse por recorte de talud.

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
13	La andesita que existe desde la parte superior hasta la mitad del talud está estable, pero la toba de parte inferior está bien meteorizada y se encuentra el avance de fisilidad. Con el fin de comprender el estado de meteorización, se realiza una perforación en el pie del talud.	Según el resultado de perforación, no se encuentra la conversión de roca en suelo, pero se observan las grietas capilares hasta seis metros de profundidad. Además, se observan no sólo fisilidad sino caída de rocas de forma de cuña. El alto del talud aumenta el peligro provocado por caída de rocas.
14 N001A110	Entre las capas de toba se encuentra una capa de flujo de lava andesita no gruesa, aproximadamente 0.8m. La meteorización de toba y fisilidad son muy destacadas. Con el fin de comprender la litofacia de la mitad del talud más fondo se realiza una perforación.	Según el resultado de perforación, la andesita está estable tanto como la parte expuesta. Si se eliminan las rocas desprendidas no habrá problema de momento. Sin embargo, se prevé la existencia de grieta que se extiende hasta diez metros de profundidad, aunque no sea continua, es necesario tomar medidas de protección.
15 N001B100	En el talud se distribuye esquisto negro, y más profundo del pie sigue la misma litofacia. Por lo tanto, no se aplica la perforación.	Se observa la fisilidad en el talud, pero no hay problema de estabilidad de talud entero. Sin embargo, el avance de la meteorización produce el voladizo, por lo tanto es necesario hacer mantenimiento de la superficie de talud.
16 N001B070	Es un lecho de roca compuesto con andesita y toba, y se observan el avance de meteorización, fisilidad y caída de rocas. Para confirmar la profundidad de parte meteorizada y la litofacia se seleccionó un sitio de perforación en el pie de talud.	Según el resultado de perforación, se observa la conversión de roca en suelo hasta 0.7-0.8m de profundidad y la meteorización alcanza hasta 2-3m. Como consecuencia, aparece la erosión en el talud. Más profundo, existen andesita y toba con grietas hasta 6-7m de profundidad. Es necesario tomar algunas medidas de protección inmediatamente.
17 N001A050	Existe toba verde y no se saben la característica física y la de resistencia. Aunque el talud es largo, se seleccionó sólo un sitio de perforación por la razón de que el talud mantiene el mismo estrato.	Según el resultado de perforación, la meteorización en la toba alterada alcanza hasta siete metros de profundidad y se puede juzgar que el grado de meteorización es extremo. La inclinación del talud es muy escarpada, por lo consiguiente se necesita estudiar la protección contra meteorización y el recorte de talud.
18 Rio Inalí	El puente es largo y se prevé la variación geológica en ambas orillas. Se evalúa con dos perforaciones.	Según el resultado de perforación, existe la capa de meteorización con grietas de cada 5 cm de intervalos que alcanza hasta 7m de profundidad en la orilla izquierda. Pero el cimiento está basado en la andesita firme y no hay preocupación de hundimiento diferencial
19 Rio Tapacalí	El puente es largo y se prevé la variación geológica en ambas orillas. Se evalúa con dos perforaciones.	Según el resultado de perforación, existe un estrato de toba convertida en suelo hasta 4m en profundidad desde la superficie. Más profundo, se encuentra las rocas meteorizadas de toba y toba-brecha.
20 N001B030	Se puede juzgar la composición geológica, compuesta con andesita y toba, por observación visual. El grado de meteorización también se puede asumir por medio de observación visual del talud lindente.	Se prevé que la andesita en el talud esté sobresalido como voladizo a través del avance de meteorización de toba, pero hasta la fecha no hay síntoma particular.

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
21	Se distribuye la toba verde extensamente en el talud. Sin embargo, igual que No.17 (N001A050), es el talud que acaba de terminar las obras y no realizamos la inspección.	No se observan el avance de meteorización y anomalía por la razón de que el corte es muy suave.
N001A010	Se distribuye el flujo de lava andesita sobre el aglomerado. Existen huellas de actividades volcánicas inmensas, pero actualmente sólo se observa la fisilidad. No se seleccionó como sitio necesario de perforación.	Se encuentra pequeña fisilidad en la superficie de talud. Se parece que hay avance de flojedad en contraste con la investigación anterior, pero no hay novedad especial.

Ruta NIC.3

Número de Serie	Estado del sitio	Resultado de investigación
N003B420	23 La masa de toba se divide en bloques por grietas y se caen. Con el fin de comparar la característica de resistencia con las rocas frescas se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, se distribuyen las masas de toba y no se observa el problema de calidad de roca. Comparando con el resultado de la investigación de primera fase, no se encuentra ninguna novedad.
N003B400	24 El talud consiste en la toba de parte superior y rocas piroclásticas. Se seleccionaron dos sitios de perforación porque posiblemente la meteorización se extiende con mucha profundidad.	Según el resultado de perforación, la toba se convirtió completamente en suelo hasta la profundidad de 2m. Más profundo, se encuentra la zona meteorizada a lo largo de grietas capilares. Parece que en el talud entero se originan grietas capilares y meteorización.
N003B370	25 El talud consiste en tres estratos; La andesita de parte superior, la roca piroclástica de parte inferior y toba de pie de talud. Se observa el colapso en la zona meteorizada de roca piroclástica, y el avance de meteorización en la toba. Por consiguiente, se seleccionó un sitio de perforación en el pie de talud.	Según el resultado de perforación, la toba del pie de talud está meteorizada con muchas grietas. La masa de roca está estable y no hay colapso dentro de la misma. Pero se observa la flojedad en el talud entero. Por lo tanto, se necesitan recorte del talud y protección contra meteorización.
El Guayacan	26 El puente es corto, y se prevé que no haya variación geológica en ambas orillas. Se evalúa con una perforación	Según el resultado de perforación, hasta un metro en profundidad desde la superficie se encuentra el suelo y más profundo existe toba-brecha meteorizada.
N003B320	27 El talud entero consiste en la toba meteorizada. Una faja sin vegetación del talud tiene un ancho de 4-5 metros. Existe una parte de color pardo por el agua subterránea. Con el fin de investigar el grado de meteorización, se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, existe la toba muy meteorizada hasta 16 metros en profundidad desde superficie. Sobre todo, desde 6 metros de profundidad más allá donde se encuentra la capa de escoria, el grado de meteorización es más grave. En la superficie del talud, la toba se convirtió en suelo. Encima del talud una estructura está en construcción, y el riesgo aumentará por aguas servidas de ella.

Número de Serie	Estado del sitio	Resultado de investigación
28	El talud consiste en toba-brecha alterada. Con el fin de comprender el grado de meteorización de la parte profunda del talud, se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, hasta 1 metro en profundidad desde superficie se encuentra la toba convertida en terrón, más profundo la toba de elemento de roca firme con la dispersión de parte meteorizada. Así se encuentra muchas grietas que hay posibilidad de fisilidad y caída de roca.
29 N003C230	Se observa la exfoliación superficial por meteorización de la toba. Se parece que hay avance de meteorización hacia más fondo del talud. Para comprender la posibilidad del colapso desde el fondo del talud, se seleccionaron tres sitios de perforación.	Según el resultado de perforación, se distribuye la toba desde la superficie a más a fondo. Alrededor de 6 metros de profundidad se encuentra la conversión de roca en suelo con el color pardo y más profundo, se observan grietas capilares. Existe una posibilidad de que ocurra el derrumbe de talud desde la parte profundada.
30 N003E170	La carretera actual fue arrastrada por avenida repentina y derrumbe del talud de montaña. Con el fin de estudiar las medidas integrales se seleccionaron 5 sitios de perforación.	Según el resultado de perforación, en el pie del talud se distribuye la andesita relativamente firme y no hay amenaza de que ocurra un derrumbe de gran dimensión. Sin embargo, en la mitad del talud existe una faja meteorizada con profundidad de 2 metros y hay posibilidad de ocurrir derrumbe de talud desde esta zona. Una estructura está sobre el depósito de sedimentos de 2 metros de espesor, y ahí se encuentra la zona meteorizada de 5 metros de profundidad.
31 N003C160	Se destacan el cambio topográfico y colapso. Con el fin de estudiar la posibilidad del derrumbe, incluyendo la de carretera actual, se seleccionaron tres sitios de perforación.	El resultado de dos perforaciones muestran que alrededor de 7-8 metros de profundidad la toba se convirtió en suelo pardo y existe un canal de agua. Más profundo, se encuentra la toba bien meteorizada. El resultado de otra perforación muestra que alrededor de 2-10 metros de profundidad existen la zona meteorizada en donde se encuentran la conversión de roca en suelo y rocas meteorizadas. La totalidad de perforaciones, 10 metros de profundidad desde la superficie la toba está muy meteorizada convirtiéndose en suelo y se encuentra un canal de agua. Hay que estudiar la estabilización del talud entero.
32 N003C150	Se observan el cambio topográfico y colapso. Con el fin de estudiar la posibilidad del derrumbe, incluyendo la de carretera actual, se seleccionaron dos sitios de perforación.	Según el resultado de perforación, se encuentra la faja de meteorización de toba con bastante profundidad. Se observa la existencia de un canal de agua de más de 7 metros de profundidad. Se necesita tratamiento de drenaje superficial de carretera y disposición de aguas rezumadas en el relleno.
33 N003C140	Debido al agua infiltrado existe el colapso en la mitad del relleno. Con el fin de estudiar la posibilidad del derrumbe, incluyendo el de la carretera actual, se seleccionaron dos sitios de perforación.	Según el resultado de perforación, se encuentra la faja de meteorización de toba con bastante profundidad. Hay que estudiar la estabilidad del talud entero.

Número de Serie	Estado del sitio	Resultado de investigación
34 N003B120	El talud escarpado de esquisto negro. Hay parte de que la esquistosidad se inclina hacia la dirección deslizable. Es necesario confirmar el grado de meteorización y estabilidad de rocas duras. Se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, se encuentra la distribución del esquisto negro meteorizado igual que la superficie del talud. Hay muchas grietas, y la esquistosidad, en general, tiene la dirección estable, pero en algunas partes existe la dirección deslizable.

Ruta NIC.5

No. de Serie	Estado del sitio	Resultado de investigación
35 N005A010	El talud es inmenso y no está claro el espesor del depósito de sedimentos. Se realiza la perforación plural en el límite de la parte meteorizada y la roca base.	En contraste con el resultado de la investigación de primera fase, se observan más rocas caídas y colapso. Sin embargo, en el pie de talud existe un estrato grueso de toba y también fue confirmado la existencia de masa firme de toba por perforación. En ese sentido, se puede juzgar que no hará colapso que va a involucrar la carretera actual. Pero, cien metros más fondo del talud hay pendiente formada por deslizamiento y si se deja sin ningún tratamiento provocará problemas. Por lo tanto, es indispensable establecer algunas medidas como recorte y/o instalación del sistema de drenaje etcétera. El depósito de sedimentos se juzgó como depósito de era terciaria.

Ruta NIC.15

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
36 N015E010	La carretera cruza la quebrada que tiene la posibilidad de llenar el alud de fango. Es necesario estudiar la construcción de una presa cuyo objetivo sería regular el gradiente del lecho menos de 3 grados. Para confirmar el espesor de sedimentos fluviales y el grado de meteorización de roca base, es indispensable aplicar la perforación plural. Se seleccionaron los sitio en la dirección transversal y longitudinal.	Este sitio está ubicado en donde muchos arroyos se confluyen en el río Pipilis y es necesario estudiar desde el punto de vista integral. Como resultado de perforación, el espesor de sedimentos fluviales es el promedio de dos metros. Debajo de sedimentos, se encuentra principalmente la porfidita firme. No se observó granito meteorizado.
37 N015E020	El depósito de suelo granítico descompuesto. Para confirmar el espesor de sedimentos y el grado de meteorización de roca base, es indispensable aplicar la perforación plural. Se seleccionaron los sitio en la dirección transversal y longitudinal.	Ambos lados de carretera se formó la terraza del río de 10 a 20 metros de altura. En algunas partes de la terraza, están expuestos granitos y porfiditas. Según el resultado de perforación, el espesor de sedimentos fluviales es aproximadamente de 2 metros, y los granitos que forman la base es granitos meteorizado de color pardo. Sin embargo, así la parte del estribo es de suelo granítico compuesto o de roca meteorizada, el dique será muy largo.

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
38 N015E050	El depósito de suelo granítico esta descompuesto. Es necesario confirmar el espesor de sedimentos. Se evalua con una perforación.	El terreno colapsado alcanzó a la quebrada y se observa el proceso de colapso en la quebrada entera. Según el resultado de perforación, se confirmó que la meteorización del suelo granítico compuesto alcanzó el fondo. La construcción de estructura amortiguadora con base no es la adecuada para este sitio.
39 N015E060	El depósito de suelo granítico esta descompuesto. Es necesario confirmar el espesor de sedimentos. Se evalua con una perforación.	A causa del corte de pie de talud, se originaba repetidamente pequeño colapso del talud y caída de rocas, y actualmente el colapso se observa en todo talud escarpado. La base geológica es de suelo granítico descompuesto y masa de roca meteorizada, y ellos se extienden hacia el fondo. Según el resultado de perforación, se encuentra el granito firme 14 metros en profundidad desde la superficie.

Route NIC.26

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
40 N026A010	Por el avance de la meteorización de roca piroclástica de la parte inferior del talud, los bloques de toba de la parte superior se caen. El grado de meteorización se puede juzgar por medio de observación visual.	Como el avance de meteorización de roca piroclástica es rápido, la toba de la parte superior formó el voladizo. El bloque inestable de roca debe ser eliminado. Así en la parte peligrosa es muy claro que las medidas necesarias se puede tomar fácilmente.
41 N026A020	La fisilidad en la faja meteorizada de andesita y la caída del elemento de roca. Hay cinturón de amortiguación. El grado de meteorización se puede juzgar por medio de observación visual.	Aunque se observa la fisilidad en andesita, pero no hay cambio del grado de avance de la meteorización.
42 N026A030	El grado de meteorización de andesita que está convertido en brecha se puede juzgar por medio de observación visual.	No se observa el colapso de talud entero. Existe la fisilidad por meteorización de toba, pero no hay cambio del grado de avance de la meteorización.
43 N026A030	El grado de meteorización de andesita y toba-brecha se pueden juzgar por medio de observación visual.	No se observa la continuidad del estrato. Se supone que hubiera separado en andesita y toba por la falla. Se observan la fisilidad y caída de roca, pero no hay cambio del grado de avance de la meteorización.
44 N026A060	El talud esta compuesto con toba y andesita. Se seleccionó un sitio de perforación con el fin de confirmar el grado de meteorización.	Según el resultado de perforación, debajo del suelo superficial, la toba con grietas abiertas existe hasta 9 metros de profundidad. En el estado actual del talud, debido a la influencia de grietas abiertas, se observan muchas rocas desprendidas y caída de rocas.

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
45	El puente está colocado en el área montañosa con forma de flecha. Se prevé la variación geológica en ambas orillas. Se seleccionó dos sitios de perforación.	El espesor del suelo superficial es de 40 a 50 cm, y debajo existe la capa meteorizada de toba hasta 4 metros de profundidad. No hay diferencia entre los resultados de dos perforaciones, y no existe problema en ambas orillas del río como ser base de cimientos de puente. Pero la parte delantera del cimiento de estribo está aflorada y es necesario tomar algunas medidas.
46 N026A100	La composición geológica (toba, andesita, roca piroclástica) se puede juzgar por medio de observación visual. Se necesita evaluar el grado de meteorización. Se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, desde 0 metro hasta 4 metros de profundidad existe aglomerado con grietas abiertas y de 4 a 8 metros el aglomerado, aunque se observan grietas, está bien pegado. Más a fondo, el aglomerado es muy firme. En la superficie del talud existe el avance de meteorización, y se originan muchas fisilidad y caída de roca. Por lo tanto, es necesario tomar alguna medidas de protección contra la caída de rocas.
47 N026B110	Se puede juzgar el grado de meteorización de andesita por medio de observación visual.	No hay continuidad de capa de andesita ni de toba. Es posible que estuviera separada por la falla. El grado de meteorización es casi igual que en la primera fase.
48 N026A130	La toba que se distribuye en la superficie de talud se puede confirmar por medio de observación visual. Se seleccionó un sitio de perforación con el fin de confirmar el grado de meteorización.	Según el resultado de perforación, el espesor del suelo superficial es de aproximadamente 40 cm y hasta 2 metros de profundidad es la capa de toba meteorizada con grietas capilares. Más profundo, se encuentra toba firme. Actualmente, las aguas infiltradas desde el hombro del talud produce cárcavas y fisilidad. Es necesario tomar algunas medidas de drenaje en el hombro del talud.
49 N026B140	La toba que se distribuye en la superficie de talud, por la falla y la función de alteración volcánica, formó una zona de alteración con 30m de ancho, y provoca la caída de gran bloque de roca. Es indispensable estudiarlo detalladamente y de momento se realizó una perforación.	Según el resultado de perforación, en la parte del pie del talud se encuentran las brechas producidas por grietas capilares hasta 8 metros de profundidad. Actualmente, el talud está en la condición peligrosa originandose la caída de rocas grandes y colapso de la capa alterada.

No. de Serie	Estado de sitio	Resultado de investigación
50	El talud se compone de toba y andesita y por la función de gas volcánica se perdió el color. Tiene el historial de gran derrumbe y la topografía es compleja. La profundidad de meteorización se mide por la perforación plural.	El grado de alteración del talud por gas volcánico no es tan fuerte. Y actualmente sólo se observa la caída de rocas. Sin embargo, según el resultado de perforación, la meteorización alcanza hasta 8 metros de profundidad. Cuando se infiltran aguas de lluvia, hay posibilidad de provocar derrumbe de talud. Por lo tanto, es necesario estudiar las medidas no sólo para la superficie sino el talud entero.
51 N026B160	La composición geológica (toba, andesita, roca piroclástica) se puede juzgar por medio de observación visual. Se necesita evaluar el grado de meteorización. Se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, la meteorización llega hasta 3 metros de profundidad. Más profundo, se encuentra la roca base firme. Sin embargo, las rocas se caen en la acera provocando les peligro a los peatones.
52 San Juan de Dios	El puente es corto y sus alrededores son planos. Se prevé que no haya variación geológica. Se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, debajo del suelo se encuentra la masa de andesita. Aunque existen muchas grietas, no influyen en la resistencia del suelo.
53 N026B210	Sobre la toba se distribuye el flujo de lava andesita con grietas abiertas. Una parte de grietas forman la dirección deslizante y están fracturada. Es necesario juzgar el grado de meteorización de toba que forma la base del talud. Se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, la meteorización en toba alcanza hasta 4 metros de profundidad. Si se deja sin tratamiento, se provocará la caída de andesita que existe en la parte superior del talud con el estado inestable.
54 Papalón	El puente es corto y sus alrededores son planos. Se prevé que no haya variación geológica. Se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, hasta 15 metros en profundidad desde la superficie se encuentra la capa meteorizada donde la roca se convirtió en suelo. No se encuentra la roca dura. Sin embargo, desde 8 metros más a fondo se cumple el valor N.
55 Solis	El puente es corto y sus alrededores son planos. Se prevé que no haya variación geológica. Se seleccionó un sitio de perforación.	Según el resultado de perforación, debajo del suelo superficial, de 4 metros a 15 metros de profundidad, se encuentra la capa meteorizada de toba y andesita. Aunque la capa es meteorizada, se cumple el valor N.

8.3.3 Factores de selección y método de evaluación

En el estudio de primera fase, se realizó la evaluación geológica con el método de inspección visual. En esta fase, la evaluación se ha sido llevado a cabo, basandose en el resultado del estudio de fase anterior, por confirmar el potencial de desastres de cada sitio a través de investigar las situaciones actuales de meteorización y colapso no sólo de la superficie de talud sino de la parte interior del mismo. En cuanto al puente, la evaluación ha sido realizada por medio de la investigación del impacto al puente confirmando el avance de socavación y analizando los datos hidrológicos. La evaluación se clasifica en cinco categorías. (Cuando haya ítems para evaluar como "D", se clasifica en seis categorías)

Evaluación del talud

- A: El grado de meteorización y colapso es grande y se considera necesario tomar algunas medidas urgentes. Como la meteorización alcanza hasta la parte interior de talud, existe alto potencial de desastres. (Puntaje 10)
- B+: Entre la evaluación A y la B (Puntaje 8)
- B: El grado de meteorización y colapso es mediano. Aunque se encuentra el avance de meteorización en la parte interior del talud, no tiene tanta profundidad. Se considera que el potencial de desastres es mediano. (Puntaje 6)
- B-: Entre la evaluación B y la C (Puntaje 4)
- C: No existe el avance notable de meteorización y colapso. La meteorización no alcanza la parte interior del talud. (Puntaje 2)
- D: En caso de que el talud está completamente colapsado o las obras de contramedidas se han ejecutado por completo, ya no será objeto de evaluación.

Socavación del cimiento de puente

- A: El avance de socavación del cimiento de puente es destacado y se considera la necesidad de tomar algunas medidas urgentes. En contraste con la velocidad de la corriente de agua y el caudal, existen factores que permiten el avance de socavación como el estrechamiento del cauce en donde el puente cruce el río. (Puntaje 10)
- B+: Entre la evaluación A y la B (Puntaje 8)
- B: El avance de socavación es mediano. En contraste con la velocidad de la corriente de agua y el caudal, existen factores de media escala que permiten la socavación. (Puntaje 6)
- B-: Entre la evaluación B y la C (Puntaje 4)
- C: No existe avance notable de socavación. En contraste con la velocidad de la corriente de agua y el caudal, no existen factores que permiten la socavación. (Puntaje 6)
- D: El puente se destruyó completamente o las obras de contramedidas se han ejecutado por completo, y no será objeto de evaluación.

La evaluación para cada sitio objeto de estudio se muestra en la próxima tabla.

Tabla 8.3.5 Evaluación del Resultado de estudio de condición natural

Serial No.	ID No.	Evaluation	Point
1	N001A290	A	10
2	N001A280	A	10
3	Junquilla	B	6
4	San Nicolás	C	2
5	Las Chanillas	B	6
6	San Ramón	C	2
7	N001A240	B	6
8	N00B230	B+	8
9	N001B200	C	2
10	N001B190	B-	4
11	N001B170	B	6
12	N001B150	A	10
13	N001B120	A	10
14	N001A110	B+	8
15	N001B100	B-	4
16	N001B070	B+	8
17	N001A050	A	10
18	Rio Inalí	B-	4
19	Rio Tapacalí	C	2
20	N001B030	B	6
21	N001A020	C	2
22	N001A010	B-	4
23	003B420	C	2
24	003B400	B+	8
25	003B370	B+	8
26	El Guayacán	A	10
27	N003B320	B+	8
28	N003B240	B-	4
29	N003C230	A	10
30	N003E170	A	10
31	N003C160	A	10
32	N003C150	B+	8
33	N003C140	A	10
34	N003B120	B	6
35	N001A050	A	10
36	N015E010	A	10
37	N015E020	A	10
38	N015E050	B-	4
39	N015E060	B-	4
40	N026A010	B	6
41	N026A020	B	6
42	N026A030	C	2
43	N026A040	C	2
44	N026A060	A	10
45	La Banderita	C	2
46	N026A100	B	6
47	N026B110	C	2
48	N026A130	B	6
49	N026B140	A	10
50	N026A150	A	10
51	N026B160	A	10
52	San Juan de Dios	B-	4
53	N026B210	B	6
54	Papalón	C	2
55	Solis	C	2

