

ANEXOS

ANEXOS

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL AREA DE ESTUDIO

Anexo 1 Evidencia de procesos de erosión hídrica superficial en la red vial colindante a la Quebrada Internacional



Nota. En la imagen se observa un proceso avanzado de erosión hídrica superficial en la vía de acceso que conecta con el cauce. La formación de surcos profundos y el arrastre asociado de sedimentos evidencian la alta energía cinética de la escorrentía pluvial superficial, agravada por la ausencia de infraestructura de drenaje urbano regular. Este aporte continuo de material sólido alóctono contribuye de forma directa a la colmatación del lecho de la quebrada, reduciendo de manera paulatina su capacidad de transporte hidráulico frente a eventos extremos.

Anexo 2 Evidencia de procesos de erosión en surcos en la plataforma urbana del sector.



Nota. La imagen muestra el desarrollo macroscópico de una erosión hídrica en surcos, provocada por la pérdida de la capa superficial del suelo ante la degradación de la cobertura vegetal y la falta de pavimentación estabilizadora. Este proceso genera un arrastre continuo de sedimentos finos hacia las zonas topográficamente más bajas de la quebrada, acelerando la pérdida de capacidad de conducción hidráulica del cauce por sedimentación acumulada en el fondo del lecho.

Anexo 3 Acumulación antropogénica de residuos sólidos y restos vegetales en el margen de la quebrada.



Nota. En la imagen se observa la presencia de desechos sólidos urbanos y biomasa vegetal acumulada directamente sobre la ladera y el lecho del cauce. Este factor es determinante en el incremento del riesgo de inundación, dado que, durante las crecidas extraordinarias, el material es arrastrado por la corriente, induciendo el taponamiento mecánico de alcantarillas y estructuras de cruce (puentes) aguas abajo. Asimismo, la obstrucción reduce la sección útil del cauce, forzando desbordamientos prematuros hacia las viviendas adyacentes.

Anexo 4 Estado de saturación y pérdida de transitabilidad en la vía principal de acceso durante el periodo de precipitaciones.



Nota. La imagen ilustra el deterioro de la plataforma vial en el ingreso principal al sector de estudio. Se aprecia la formación de charcos por acumulación y saturación hídrica del suelo, producto de la ineficiencia de un sistema de drenaje pluvial y la falta de obras de pavimentación urbana. Esta condición no solo restringe severamente el tránsito peatonal y el acceso de vehículos de emergencia, sino que confirma la baja capacidad de infiltración local, incrementando el volumen de escorrentía superficial hacia las cotas inferiores de la quebrada.

Anexo 5 Proceso de socavamiento lateral severo y desprendimiento de talud en el margen consolidado del Barrio Chaqueño.



Nota. La imagen muestra un desprendimiento masivo de suelo en un sector adyacente al punto de descarga pluvial. Se observa cómo la fuerza erosiva del flujo hidráulico ha socavado la base del talud, dejando la plataforma superior sin apoyo estructural, un fenómeno ecomorfológico tipificado como descalce basal. Las raíces expuestas de la vegetación circundante confirman que las especies actuales son mecánicamente insuficientes para estabilizar el terreno ante la magnitud de las avenidas, representando un riesgo geomorfológico directo para las construcciones habitacionales debido al avance del proceso de inestabilidad de bordes hacia el área urbana.

Anexo 6 Caracterización granulométrica del lecho menor e introducción de elementos antropogénicos.



Nota. En la ilustración se evidencia la composición del sustrato en el lecho menor de la Quebrada Internacional, caracterizado por una matriz de sedimentos aluviales (gravas y arenas) intercalada con depósitos de residuos plásticos no degradables. Desde la perspectiva de la modelación hidráulica, esta condición altera de manera directa la rugosidad del fondo, incrementando de forma localizada el coeficiente de Manning (n), lo que disminuye las velocidades de flujo e induce una elevación del tirante de agua en escenarios de caudales máximos.

Anexo 7 Condición de la vegetación herbácea en la llanura de inundación ordinaria.



Nota. La fotografía registra la zona de transición entre el lecho de estiaje y la llanura de inundación inmediata, ocupada por vegetación herbácea densa y arbustiva baja. Esta cobertura vegetal actúa como una barrera mecánica natural que incrementa la resistencia hidráulica (rugosidad de Manning extracanal), amortiguando las velocidades marginales del flujo, pero forzando una expansión lateral de la mancha de inundación hacia las áreas urbanizadas colindantes cuando se superan los niveles críticos del lecho menor.

Anexo 8 Depósitos de biomasa vegetal flotante y obstrucciones mecánicas en los márgenes del flujo.



Nota. Se observa la acumulación de restos leñosos, ramas y material vegetal alóctono transportado por las avenidas y retenido en los márgenes del canal. Fenómenos de esta naturaleza reducen el área neta de la sección transversal útil del cauce. Al estrecharse el espacio de conducción hídrica, se genera un efecto de remanso hidráulico aguas arriba, acelerando los procesos de desbordamiento prematuro e inundación del tejido urbano consolidado.

Anexo 9 Configuración topográfica de las vías urbanas como canales de concentración de escorrentía superficial.



Nota. La imagen expone la marcada pendiente topográfica de las vías de acceso públicas del Barrio Chaqueño orientadas perpendicularmente hacia el eje de la quebrada. La carencia de superficies impermeabilizadas y de sistemas colectores de drenaje pluvial (cunetas o sumideros) transforma estas calles en canales de conducción de escorrentía superficial durante tormentas intensas, incrementando la velocidad de concentración del agua y acelerando el ingreso de caudales pico directos al cauce principal.

Anexo 10 Evidencia de vulnerabilidad estructural extrema en la infraestructura habitacional por pérdida de soporte geotécnico.



Nota. En la imagen se consta el estado crítico de una estructura habitacional expuesta a la inestabilidad de laderas. El proceso continuo de socavamiento lateral y retroceso del talud marginal debido a la dinámica erosiva de la quebrada ha destruido progresivamente el soporte basal del terreno, provocando asentamientos diferenciales graves y el colapso parcial de mamposterías e infraestructuras previas. Esto fundamenta la urgencia técnica de establecer servidumbres ecológicas que restrinjan de manera absoluta el uso habitacional en estas franjas de peligro hidroegeomorfológico insostenible.

DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS OFICIALES - ESTACIÓN YACUIBA

Anexo 11 Resumen Climatológico de SENAMHI Para el Periodo (1949 - 2017)



RESUMEN CLIMATOLOGICO

Periodo Considerado: 1949 - 2017

Estación: YACUIBA
Provincia: GRAN CHACO
Departamento: TARIJA

Latitud S.: 21° 56' 58"
Longitud W.: 63° 38' 53"
Altura: 645 m.s.n.m.

Indice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Temp. Max. Media	°C	31.4	30.4	28.6	25.7	21.1	22.5	25.6	27.9	30.4	31.0	31.3	27.4
Temp. Min. Media	°C	19.3	20.9	19.4	15.6	9.9	12.3	14.6	12.5	16.2	17.7	18.8	14.8
Temp. Media	°C	25.3	24.7	23.3	20.7	15.5	15.3	17.5	20.2	23.3	24.3	25.0	21.1
Temp.Max.Extr.	°C	41.6	41.5	41.6	39.0	34.0	38.2	40.3	42.1	43.6	43.0	41.0	43.6
Temp.Min.Extr.	°C	0.0	8.0	0.0	1.0	-4.0	-7.0	-6.8	-4.0	0.0	-4.5	0.0	-7.0
Días con helada	%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
Humedad Relativa	%	72	75	79	81	79	72	60	56	59	64	69	70
Precion Barometrica	hPa	936.2	939.0	937.0	939.4	940.4	941.0	940.5	939.5	937.4	935.6	935.2	938.4
Precipitación	mm	205.8	192.3	197.3	104.0	18.8	7.0	8.0	10.1	50.8	117.3	177.9	1126.0
Pp. Max. Diaria	mm	178.0	144.0	230.0	166.0	48.0	16.3	55.0	39.8	78.0	133.2	235.1	235.1
Días con Lluvia	km/hr	11	10	11	10	8	3	2	2	6	8	12	85
Direccion del Viento		9.6	10.5	9.9	9.3	8.6	11.0	14.1	14.6	15.1	13.4	12.0	11.3
Horas de Frio	hr	S	S	S	S	N	N	S	S	S	S	S	S
Evapotranspiración	mm/mes	163.8	134.2	134.2	92.5	62.5	77.1	108.5	134.5	162.9	164.2	168.3	1467.8

MATRICES DE CÁLCULO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS Y DESAGREGACIÓN TEMPORAL

Análisis de Frecuencia de Precipitación Máxima en 24 Horas

Para la determinación de los eventos hidrológicos extremos en el área urbana del municipio de Yacuiba, se procedió al ajuste estadístico de la serie histórica de precipitaciones máximas anuales en 24 horas registradas en la estación meteorológica oficial de Yacuiba (periodo 1949-2017). Empleando el método de momentos ajustados para la distribución de Gumbel (Tipo I de Valor Extremo), concordante con el tamaño muestral ($N = 68$ años de registro efectivo tras la depuración de datos ausentes), se calcularon las precipitaciones de diseño para los periodos de retorno estipulados en las metas de modelación (10, 50 y 100 años).

Anexo 12 Valores estimados de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (T).

Periodo De Retorno (T)	Probabilidad De Excedencia (P)	Factor De Frecuencia (K)	Precipitación Máxima de Diseño ($P_{24h} - mm$)
10 años	0.10	1.4314	162.86
50 años	0.02	2.8256	220.24
100 años	0.01	3.4148	244.50

Nota. Cálculos basados en parámetros muestrales de la serie histórica: Media aritmética ($\bar{x} = 103.93 \text{ mm}$) y Desviación Estándar ($S = 41.16 \text{ mm}$). Ajuste paramétrico ejecutado mediante factores de corrección por tamaño de muestra ($Y_n = 0.5543$; $S_n = 1.1847$).

Desagregación Temporal de Tormentas (Método de Campos Aranda)

Debido a que los modelos hidráulicos de simulación como HEC-RAS requieren curvas de evolución temporal (hietogramas) o intensidades críticas de períodos cortos, se aplicó la metodología de desagregación horaria propuesta por Campos Aranda (1998). A partir de los coeficientes empíricos de distribución (C_d) establecidos para cuencas con carencia de bandas pluviográficas continuas, se fraccionó la lámina total de 24 horas en duraciones de 1, 2, 3, 4, 6 y 12 horas, derivando simultáneamente la tasa de intensidad del flujo hídrico (mm/g).

Anexo 13 Matriz de desagregación de precipitación acumulada e intensidades máximas por periodos de retorno.

Duración (horas)	Coeficiente (Cd)	T=10 años (P - mm)	T = 10 años (I - mm/h)	T = 50 años (P - mm)	T = 50 años (I - mm/h)	T = 100 años (P - mm)	T = 100 años (I - mm/h)
1	0.30	48.86	48.86	66.07	66.07	73.35	73.35
2	0.39	63.51	31.76	85.89	42.95	95.35	47.68
3	0.46	74.91	24.97	101.31	33.77	112.47	37.49
4	0.52	84.69	21.17	114.52	28.63	127.14	31.78
6	0.61	99.34	16.56	134.35	22.39	149.14	24.86
12	0.80	130.29	10.86	176.19	14.68	195.60	16.30
24	1.00	162.86	6.79	220.24	9.18	244.50	10.19

Nota. C_d representa el coeficiente adimensional de desagregación temporal de Campos Aranda. La intensidad (I) se define por la relación matemática $I = P / t$, donde t es el tiempo de duración respectivo en horas.

TABLAS NORMATIVAS DE RESPALDO INSTITUCIONAL

A fin de brindar transparencia metodológica y justificar la selección de los parámetros físicos introducidos en los simuladores hidrológicos e hidráulicos, se presentan las tablas de referencia estandarizadas que sustentaron los criterios del proyecto.

Anexo 14 Valores de referencia para la selección del coeficiente de rugosidad de Manning (n).

Elemento / Tipo de Canal y Descripción de las Márgenes	Manning Mínimo (n)	Manning Normal (n)	Manning Máximo (n)	Valor Adoptado en Modelo
Cauces Naturales Menores (Ancho < 30m): Limpio, recto, lleno, sin hendiduras ni charcos profundos.	0.025	0.030	0.033	0.030
Canales Revestidos (Hormigón/Mampostería): Superficies lisas de acabado regular para drenaje pluvial.	0.013	0.015	0.017	0.015
Llanuras de Inundación (Vegetación): Pastizales cortos, matorrales y cobertura herbácea densa.	0.025	0.030	0.075	0.065
Zonas Urbanas Consolidadas: Franja con edificaciones, viviendas y obstáculos físicos severos.	0.070	0.085	0.110	0.085
Margen Urbano Crítico: Tramos con máxima interferencia antrópica y acumulación de escombros.	—	—	—	0.120*

Nota. Fuente adaptada de los manuales técnicos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (USACE) para el modelo hidráulico HEC-RAS.

Anexo 15 Valores normativos del coeficiente de escorrentía (C) para el Método Racional.

Tipo de Superficie / Zona Urbana	Coeficiente de Escorrentía (C)
Zonas comerciales densas	0.70 – 0.95
Zonas residenciales urbanas densificadas (calles de tierra/asfalto combinadas)	0.50 – 0.70
Zonas residenciales semi-densas	0.30 – 0.50
Parques, áreas verdes y campos deportivos	0.10 – 0.25

Nota. Fuente adaptada del Reglamento Técnico de Drenaje Pluvial del Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (MMAyA). Para la microcuenca de aporte de la quebrada internacional Yacuiba, se seleccionó un valor ponderado de **0.55**, el cual se sitúa debidamente dentro del rango normativo para zonas habitacionales con baja capacidad de infiltración.

Anexo 16 Valores de referencia del coeficiente de escorrentía según Ven Te Chow (1959).

Descripción de la Clase de Zona / Cobertura	Coeficiente de Escorrentía (C)
Áreas céntricas densas	0.75 – 0.95
Áreas vecinales suburbanas	0.50 – 0.70
Zonas residenciales (matriz combinada de suelo y vivienda)	0.30 – 0.55
Terrenos baldíos / Áreas rurales	0.10 – 0.30

Nota. Fuente adaptada de la literatura clásica de Chow (1959). El valor adoptado ($C = 0.55$) representa el límite crítico superior para cuencas residenciales urbanizadas, lo que asegura un criterio de diseño conservador y preventivo ante avenidas extraordinarias en los barrios analizados.