

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ANÁLISIS O ESTUDIO DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS
RÍOS Y/O CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES
MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO”**

PROYECTO FINANCIADO CON RECURSOS PROPIOS

Resolución HCC N° 120/2020

EQUIPO DE INVESTIGADORES:

Ing. Roger Laura Calle
Univ. Juan Andres Ticona Cardenas
Univ. Israel Mendoza Paucara
Univ. Flor Lizeth Chamizo Puña
Univ. Juan Daniel Fernandez Mamani

EL ALTO – BOLIVIA
2020

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

M.Sc. Lic. Freddy Medrano Alanoca
RECTOR

Dr. Carlos Condori Titirico
VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Justo Irusta Carvajal
DECANO DE ÁREA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. William Marca Vargas
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ing. Jorge Chavez Viscarra
COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA CIVIL

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre. 2020
El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

Desde el año 2000 la Universidad Pública de El Alto – UPEA, se constituye en una entidad pública que forma profesionales integrales altamente calificados en todas las disciplinas del conocimiento científico – tecnológico con conciencia crítica y reflexiva, capaz de crear, adaptar y transformar la realidad en que viven, desarrollar la investigación productiva para fomentar el desarrollo local, regional y nacional para que responda el encargo social y las necesidades de las nacionalidad de manera eficiente y oportuna hacia la transformación revolucionara de la sociedad.

El presente proyecto desarrollado en el Instituto de Investigación de la Carrera de Ingeniería Civil en el marco de la línea de investigación de Hidráulica e Hidrología surge a raíz de la necesidad de contar con herramientas prácticas para la toma de decisiones de las autoridades municipales sobre los sitios de emplazamiento de infraestructura a construir que permitan mitigar los riesgos y contingencias en ríos de la urbe alteña.

Para el desarrollo del proyecto de investigación se realizó la coordinación con personal técnico del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, específicamente con la Dirección de Agua, Saneamiento y Recursos Hídricos así como de la Dirección de Gestión de Riesgos, misma que permitió identificar al río Larkajauira como sector de interés para el desarrollo de una análisis de riesgo por inundación fluvial.

Esperamos que el proyecto realizado sea de utilidad para nuestra ciudad y pueda traducirse en el correcto emplazamiento de infraestructura que reduzca o mitigue los riesgos debido a inundaciones.

Ing. Jorge Chavez Viscarra
COORDINADOR
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

El desarrollo y culminación del presente proyecto ha requerido un tremendo esfuerzo por parte de los estudiantes y mi persona, más aun considerando que el mismo fue desarrollado en la situación de crisis sanitaria actual, a pesar de los inconvenientes se ha podido concluir con un documento que deseamos sea de utilidad para nuestra ciudad. Dicho esto es necesario hacer hincapié que este trabajo no hubiera llegado a su conclusión sin la participación y apoyo de muchos actores que en mayor o menor medida nos han brindado su tiempo y cooperación.

Al Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, en particular a la Dirección de Agua, Saneamiento y Recursos Hídricos dirigida por el Ing. Ruben Blanco que consciente de la necesidad de trabajo mancomunado entre universidad y municipio, nos ha dado acceso a información valiosa para el desarrollo del proyecto.

A la Dirección de la Carrera de Ingeniería Civil, a cargo del Ing. William Marca que en todo momento ha buscado viabilizar cualquier información que ha sido requerida para el proyecto.

Al Instituto de Investigación de la Carrera de Ingeniería Civil, a cargo del Ing. Jorge Chavez quien como cabeza del instituto nos ha acompañado a lo largo del desarrollo de todo el proyecto, siempre dando su aporte desde la amplia experiencia con al que cuenta, en muchos casos, decisiva para dar la correcta línea al proyecto.

A los auxiliares de investigación, Flor, Israel, Juan Andres y Juan Daniel, que más allá de su responsabilidad como parte del equipo han sacrificado su tiempo e incluso arriesgado su salud para el trabajo de campo siempre con entusiasmo, ganas de aprender, y compromiso.

Ing. Roger Laura Calle
INVESTIGADOR PRINCIPAL
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.5. LIMITACIONES	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN	4
2.2. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD	5
2.2.1. MÉTODOS HIDROLÓGICOS	6
2.2.2. METODOS HIDRÁULICOS	8
2.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	9
2.3.1. MODELO PARAMÉTRICO DE VULNERABILIDAD	9
2.4. ENFOQUE DE INVESTIGACION	10
2.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES	10
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	12
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	12
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	12
3.3. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	13
3.3.1. VARIABLE DEPENDIENTE	13
3.3.2. VARIABLES INDEPENDIENTES	13
3.4. POBLACIÓN DE PROYECTO	14
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	14
3.5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	14
3.5.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	15
CAPITULO IV: RESULTADOS	16
4.1. CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
4.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	16
4.1.2. VIAS DE ACCESO	17
4.1.3. CARACTERISTICAS SOCIALES	18
4.1.4. CARACTERISTICAS FISICAS	18

4.2.	MODELO HIDROLOGICO	22
4.2.1.	CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE LA CUENCA	24
4.2.2.	DURACIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO.....	24
4.2.3.	DATOS HIDROMETEOROLOGICOS.....	25
4.2.4.	RELLENO DE DATOS	27
4.2.5.	PRUEBA DE CONSISTENCIA	29
4.2.6.	PRUEBA DE HOMOGENEIDAD	31
4.2.7.	PRUEBA DE OUTLIERS (VALORES ATÍPICOS)	32
4.2.8.	FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES.....	34
4.2.9.	PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE.....	42
4.2.10.	CURVAS INTENSIDAD FRECUENCIA DURACION	43
4.2.11.	CAUDAL MÁXIMO DE AVENIDA.....	46
4.3.	MODELO HIDRÁULICO.....	51
4.3.1.	SECCIONES TRANSVERSALES.....	51
4.3.2.	RUGOSIDAD DEL CAUCE Y CANALES.....	51
4.3.3.	OBRAS HIDRÁULICAS QUE MODIFICAN EL CAUCE DEL RÍO	53
4.3.4.	RESULTADOS DEL MODELO HIDRAULICO	54
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1.	CONCLUSIONES.....	62
5.2.	RECOMENDACIONES	63
	LISTA DE REFERENCIAS.....	64
	ANEXO 1. FICHAS DE LEVANTAMIENTO	68
	ANEXO 2. RESOLUCION ADMINISTRATIVA SENAPI	81
	ANEXO 3. PLANOS.....	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Periodo de Retorno	8
Tabla 2. Fuentes de información.....	11
Tabla 3. Parámetros meteorológicos Estación El Alto - AASANA	19
Tabla 4. Características generales de cuencas y ríos mayores del Municipio de El Alto ..	22
Tabla 5. Características morfológicas de la cuenca	24
Tabla 6. Precipitación máxima en 24 hr – Estación El Alto Aeropuerto.....	25
Tabla 7. Registro completo de precipitación máxima en 24 hr	27
Tabla 8. Prueba de consistencia de datos – Curva Doble Acumulada	29
Tabla 9. Registro y ordenamiento de los datos para su procesamiento	31
Tabla 10. Cálculo de la desviación empírica del registro de precipitación.....	32
Tabla 11. Prueba de datos atípicos	33
Tabla 12. Análisis estadístico de los registros	34
Tabla 13. Ajuste de datos a funciones de distribución de probabilidades	35
Tabla 14. Prueba de Bondad de Ajuste	40
Tabla 15. Precipitación Máxima Probable.....	42
Tabla 16. Coeficientes de desagregación de precipitación.....	43
Tabla 17. Precipitación Máxima Probable desagregada.....	44
Tabla 18. Intensidad Máxima [mm/hr].....	44
Tabla 19. Intensidad Máxima [mm/hr].....	45
Tabla 20. Cálculo del hietograma para T = 100 años	47
Tabla 21. Cálculo del hietograma para T = 50 años	47
Tabla 22. Resultados Modelo Hidrológico	49
Tabla 23. Resultados modelación hidráulica Tramo 1 – Rio Larkajauira	54
Tabla 24. Resultados modelación hidráulica Tramo 2 – Rio Larkajauira.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico de análisis de riesgo por inundaciones, adaptado de Díez-Herrero et al., 2009.....	5
Figura 2. Mapa Político de la ciudad de El Alto	17
Figura 3. Cuenca de aporte del proyecto.....	23
Figura 4. Modelo hidrológico en HEC-HMS	49
Figura 5. Secciones tansversales río Larkajauira	52
Figura 6. Puente peatonal levantado	53
Figura 7. Puente vehicular levantado.....	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva Doble Acumulada Estación El Alto Aeropuerto.....	30
Gráfico 2. Ajuste de datos – Función de Distribución Normal.....	37
Gráfico 3. Ajuste de datos – Función de Distribución Log Normal.....	38
Gráfico 4. Ajuste de datos – Función de Distribución Gumbel.....	38
Gráfico 5. Ajuste de datos – Función de Distribución Pearson III.....	39
Gráfico 6. Ajuste de datos – Función de Distribución Log Pearson III.....	39
Gráfico 7. Precipitación Máxima Probable vs Periodo de Retorno	43
Gráfico 8. Curvas Intensidad Frecuencia Duración - IDF	45
Gráfico 9. Curvas Intensidad Frecuencia Duración - IDF	45
Gráfico 10. Hietograma para T = 100 años.....	47
Gráfico 11. Hietograma para T = 50 años.....	48
Gráfico 12. Hidrograma de Avenida T = 100 años.....	50
Gráfico 13. Hidrograma de Avenida T = 50 años.....	50

RESUMEN

A nivel mundial, las inundaciones son el desastre natural más destructivo en cuanto a pérdidas económicas y víctimas fatales. Solo considerando el periodo entre 2000 y 2006 las inundaciones han causado: la muerte de más de 290.000 personas, afectado a más de 1,500 millones de personas y un daño económico mayor a los 400,000 millones de \$us. En Bolivia este fenómeno, ha provocado pérdidas económicas que superan los US\$2,000 millones (dos mil millones de dólares americanos), habiendo afectado además alrededor de 3 millones de personas y causando no menos de 1,000 víctimas fatales.

De acuerdo a este contexto es fundamental para las autoridades locales realizar inversiones razonables para reducir o mitigar los efectos debido a las inundaciones. En este sentido, el objetivo principal del presente proyecto fue analizar la amenaza a inundación de la zona circundante al río Larkajauira, mismo que permitió visibilizar las zonas con mayor riesgo ante este desastre natural, dando como resultado mapas que identifiquen las zonas inundables dentro el Distrito 14 de la ciudad de El Alto.

Para el desarrollo del proyecto se planteó una metodología con enfoque cuantitativo de carácter explicativo. Se consideró un diseño no experimental aplicado de forma transversal. La información se recopiló a través de investigación documental y observación no estructurada para el levantamiento en campo de detalles antrópicos que afectan el cauce del río Larkajauira como son canales, puentes y alcantarillas.

De acuerdo al análisis realizado se concluye que en el área circundante al río Larkajauira del distrito 14, existen zonas inundables que afectan a predios privados, dichas zonas se identificaron en mapas de inundación. Finalmente para prevenir los efectos adversos de las inundaciones se plantea la construcción de obras de encauzamiento del río Larkajauira, iniciando en los sectores identificados en los mapas de inundación, donde el diseño debe responder a los caudales máximos de avenida determinados en el trabajo. Asimismo se concluyó la necesidad de restringir el uso de suelos para nuevas urbanizaciones en las zonas identificadas como inundables.

ABSTRACT

Around the world, floods are one of the most destructive natural disaster in terms of economic losses and casualties. Only considering the period between 2000 and 2006, floods have caused: more than 290,000 casualties, which have affected more than 1,500 million people and result in an economic damage greater than 400,000 million US \$. The context of Bolivia is not different to this phenomenon, proof of this is that in the period 1965-2013 the floods have caused economic losses that exceed US \$ 2 billion (two billion US dollars), having also affected around 3 million of people and causing no less than 1,000 deaths.

In this context, it is essential for local authorities to make reasonable investments to reduce or mitigate the effects of floods. In this sense, the main objective of this project was to analyze the threat of flooding in the area surrounding the Larkajauira River, which made it possible to make visible the areas most at risk from this natural disaster, resulting in maps that identify the floodplains within the District 14 of the city of El Alto.

In order to develop this project, a methodology with an explanatory quantitative approach was proposed. A non-experimental design applied in a transversal way was considered. The information was collected through documentary research and unstructured observation for field survey of anthropic details that affect the Larkajauira River such as canals, bridges and culverts.

According to the analysis carried out, it is concluded that the area surrounding the Larkajauira River in District 14, there are flood zones that affect private properties, these zones were identified in flood maps. Finally, to prevent the adverse effects of floods, the construction of channels for the Larkajauira River is proposed, starting in the sectors identified in flood maps, where the design must consider the maximum avenue flows determined in this project. Likewise, the need to restrict the use of land for new developments in areas identified as flood-prone was concluded.

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la última década desastres naturales tales como: inundaciones, deslizamientos, sequías, incendios forestales, terremotos, tormentas y tsunamis han causado, alrededor del mundo, la muerte de más de 750.000 personas y un daño económico de cientos de billones de dólares (Clague & Stead, 2012).

Entre los desastres naturales, las inundaciones fluviales se definen como desbordamientos del agua fuera de los límites normales de un río o como la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas (UNESCO-WMO, 2012). En el caso de las inundaciones en zonas urbanas se producen como resultado de la combinación de eventos extremos meteorológicos (precipitación), hidrológicos (cuencas) y además como consecuencia de la actividad humana (Aragón-Durand, 2014).

A nivel mundial, las inundaciones son el desastre natural más destructivo a nivel de pérdidas económicas y víctimas fatales. Solo considerando el periodo entre 2000 y 2006 las inundaciones han causado: la muerte de más de 290.000 personas, afectado a más de 1,500 millones de personas y un daño económico mayor a los 400,000 millones de \$us (CENEPRED, 2014).

Entre los desastres naturales mencionados anteriormente, las inundaciones se constituyen en una de las amenazas que mayor afectación causan a la población alrededor del mundo, alcanzando un 33% de las pérdidas anuales económicas (104,000 millones de dólares americanos) debidas a desastres naturales a nivel global (UNISDR, 2015).

Este fenómeno tiene mayor incidencia en América Latina y el Caribe, siendo que entre 1970-2013 las inundaciones se constituyeron en el desastre de mayor frecuencia en la región con los consecuentes daños económicos (Fernandez & Buss, 2016).

El contexto de Bolivia es similar al de la región, prueba de ello es que durante el periodo 1965-2013 las inundaciones han provocado pérdidas económicas que superan los US\$2,000 millones (dos mil millones de dólares americanos), habiendo afectado además

alrededor de 3 millones de personas y causando no menos de 1,000 víctimas fatales (BID, 2016). Solamente en las últimas cuatro décadas, las personas fallecidas a causa de inundaciones representan el 45% de las muertes debidas a desastres naturales.

En el caso de la ciudad de El Alto, la amenaza por inundación presenta el índice de riesgo más alto, siendo por tanto la amenaza de mayor importancia para el Gobierno Autónomo Municipal de El Alto – GAMEA. De acuerdo al Plan Territorial de Desarrollo Integral del municipio de El Alto, los ríos principales que definen las áreas de mayor riesgo a inundación son los distritos 4, 5, 7, 11 y 14. Siendo el Distrito 14, específicamente la zona circundante al río Larkajauira, identificado como zona de interés para desarrollar el proyecto de investigación por la Unidad de Gestión de Riesgos del GAMEA.

Los impactos negativos debido a las inundaciones, pueden mitigarse o incluso evitarse con inversiones razonables. Sin embargo, realizar una inversión razonable requiere que las autoridades locales cuenten con herramientas útiles que permitan visibilizar las zonas con mayor riesgo ante desastres naturales. En este sentido, el presente proyecto pretende contribuir con esta tarea a través de un análisis de riesgo de inundación, dando como resultado mapas que identifiquen las zonas con mayor riesgo a inundación.

1.2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar la amenaza por inundación fluvial en la zona urbana de la cuenca del río Larkajauira en el Distrito 14 de la ciudad de El Alto.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer un modelo estadístico para la determinación de zonas y alturas de inundación en base a datos de precipitación extrema.
- Determinar los niveles de vulnerabilidad de la zona de estudio, asociados a las crecidas del río Larkajauira.
- Elaborar un mapa de inundación para la zona urbanizada circundante al río Larkajauira en el Distrito 14 de la ciudad de El Alto.

1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El riesgo asociado a las inundaciones fluviales en cuencas urbanas de la ciudad de El Alto puede determinarse a partir de modelos estadísticos de peligro de inundación y modelos paramétricos de vulnerabilidad.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Medidas preventivas, como la implementación de obras de encauzamiento y protección contra inundaciones, pueden realizarse con inversiones económicas importantes. En el caso del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, se ha identificado como principales actividades para afrontar la amenaza por inundaciones (GAMEA, 2017), las siguientes:

- Construcción de embovedados
- Drenaje Pluvial
- Muros de contención en ríos
- Forestación en cuencas

Entonces, para realizar una inversión razonable las autoridades locales requieren contar con herramientas útiles que permitan visibilizar, las zonas con mayor riesgo a inundaciones además de especificar y priorizar las acciones antes mencionadas. Por otra parte, la planificación urbana debe vincularse a la amenaza de inundaciones a través del establecimiento de franjas de seguridad y/o construcción de obras de ingeniería. En este contexto, la realización de un análisis de riesgo por inundación fluvial se justifica plenamente.

1.5. LIMITACIONES

La realización del estudio puede verse afectado de acuerdo a la disponibilidad, calidad y cantidad de datos. En particular, la situación de pandemia actual plantea una limitación importante en el levantamiento de datos en campo, por lo que en su caso se recurrirá a información secundaria, en la medida que esta pueda reflejar las particularidades locales que solo información primaria puede captar. En caso contrario, el alcance del estudio será limitado.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

La determinación de los niveles de riesgo y posterior elaboración de mapas de riesgo por inundación requiere del establecimiento de un modelo de riesgo ante desastres naturales. Para esto se debe comprender que el riesgo de desastres no sólo depende de la posibilidad que se presenten eventos o fenómenos naturales intensos (amenaza), sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan a que se desencadenen desastres cuando se presentan dichos fenómenos. Para la determinación del riesgo se recurre a la siguiente formulación (Reyes-Olvera et al., 2016):

$$R = V * E * P$$

Donde V representa la vulnerabilidad, E la exposición de la población o sistema específico y P es la amenaza, peligro o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que puede ocasionar un daño.

La definición de los conceptos anteriores, se ha ido modificando en el tiempo, no obstante de manera general se pueden utilizar la siguiente terminología (UNDRO, 1980):

Peligro, peligrosidad o amenaza natural (P), se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso, durante un periodo de tiempo determinado y zona específica.

Vulnerabilidad (V), que se entiende como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos, bajo riesgo, resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una determinada magnitud que se expresa con una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).

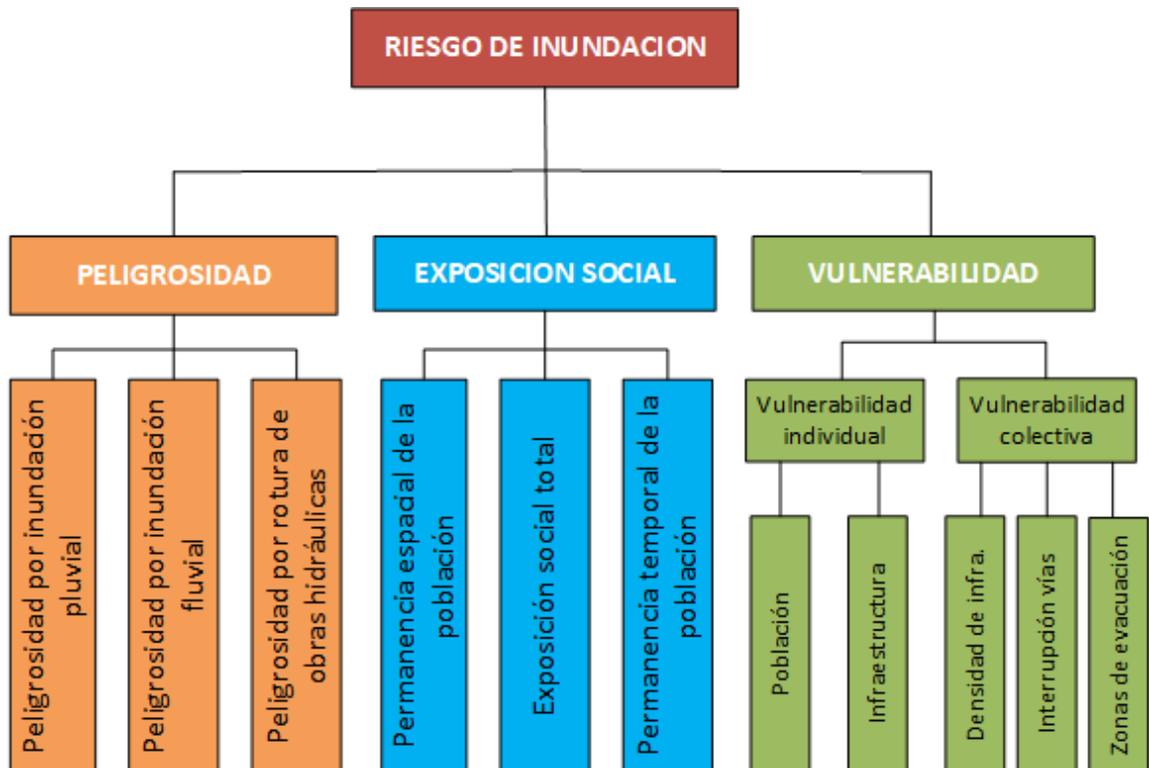
Exposición (E), referida a la población, edificaciones, obras civiles, actividades económicas, servicios públicos, infraestructura, etc. que están expuestas en una determinada área.

Riesgo (R), que se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daño a las propiedades y efecto sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un fenómeno natural particular y consecuentemente el producto de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

**ANÁLISIS O ESTUDIO DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O
CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES
MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO**

De acuerdo a Díez-Herrero et al. (2009), el análisis de riesgo debido a inundaciones fluviales, así como de cualquier otro riesgo natural, requiere de la descomposición del riesgo en sus componentes principales, que se mencionaron anteriormente, para posteriormente proceder con su integración y estudio en conjunto (Ver Figura 1).

Figura 1. Esquema metodológico de análisis de riesgo por inundaciones



Fuente: Díez-Herrero et al., 2009

2.2. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD

De acuerdo a Herrero et al. (2008) el análisis de peligrosidad de inundaciones puede agruparse en tres aproximaciones metodológicas, a decir: i) métodos históricos y paleohidrológicos, ii) métodos geológicos y geomorfológicos y iii) métodos hidrológicos e hidráulicos. Para el presente trabajo se recurre a los métodos hidrológicos e hidráulicos, esto debido al ámbito de especialización de la carrera de Ingeniería Civil.

2.2.1. MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Los métodos hidrológicos tienen como premisa la estimación de los caudales generados en una cuenca o corriente, el cálculo de las velocidades y tirantes hidráulicos con los que circula un determinado tramo fluvial. Los métodos hidrológicos pueden partir de los datos de caudales, aplicando análisis estadístico de valores extremos; o de datos de precipitación, mediante modelos hidrometeorológicos de transformación precipitación-escorrentía basados en fórmulas y métodos como el racional, hidrograma unitario, PMP-PMF, onda cinemática, entre otros (Herrero et al., 2008).

Los datos de caudales se obtienen mediante estaciones de aforo donde se realiza la medición directa de tirantes de agua en la corriente a través de limnímetros y medición de velocidades, en este caso el método de estimación del caudal es directo. En el caso de contar datos de precipitación, estos se obtienen a través de estaciones pluviométricas, tratando de utilizar la mayor cantidad de puntos de muestreo y de mayor longitud de series pluviométricas, transformando finalmente los datos a escorrentía superficial, por lo que la estimación del caudal es indirecta.

En general se prefiere la utilización de los métodos directos de estimación de caudales, sin embargo, como regla general no se cuenta con estaciones de aforo en los puntos de interés. Tal es el caso del departamento de La Paz, mismo que en toda su extensión territorial solo cuenta con alrededor de 20 estaciones hidrológicas que permiten el aforo de caudales, sin embargo ninguna de ellas se ubica en la ciudad de El Alto (SENAMHI, 2020). En contraste, el número de estaciones pluviométricas emplazadas en el departamento de La Paz es del orden de cuatro veces la cantidad de estaciones hidrológicas. Por lo antes indicado, la estimación de los caudales para el presente estudio se realizará a través de la utilización de relaciones precipitación escorrentía. Al tratarse de un problema de extremos, se recurre al método de la Precipitación Máxima Probable (PMP).

De manera previa a la aplicación del método PMP los datos de precipitación máxima en 24 horas son objeto de un tratamiento aplicándose test de consistencia, homogeneidad y outliers. La determinación de la PMP, se realiza a través de la expresión planteada por Chow et al. (2013), misma que representa la magnitud de los eventos hidrológicos

extremos, como la media μ más una desviación Δx_T de la variable con respecto de la media.

$$x_T = \mu + \Delta x_T$$

La desviación con respecto a la media puede igualarse al producto de la desviación estándar σ y el factor de frecuencia K_T ; es decir, $\Delta x_T = K_T * \sigma$. Siendo la desviación Δx_T y el factor de frecuencia K_T funciones del periodo de retorno y del tipo de distribución de probabilidad a utilizarse.

En teoría estadística existen decenas de funciones de distribución de probabilidades teóricas, no obstante, las funciones de distribución de uso más generalizado en hidrología, para poblaciones de una sola muestra, son las siguientes (Mijares, 2015):

- Normal
- Lognormal
- Pearson III
- Gumbel

Para el estudio, se utilizará la función de distribución de probabilidades que más se ajuste a los datos de precipitación de nuestra zona de influencia, para esto se recurrirá a una prueba de bondad de ajuste. Al respecto, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son χ^2 y la Kolmogorov Smirnov, esta última de mayor utilidad cuando la serie de datos de precipitación es limitada. Finalmente, los resultados de PMP se ajustan debido a que provienen de datos de precipitación tomados en intervalos de tiempo fijos (2 veces por día) por lo que podrían no reflejar las cantidades máximas reales de precipitación (Organization (WMO) & World Meteorological Organization (WMO), 2009).

En cuanto a los periodos de retorno, los mismos se establecen de acuerdo a las características de protección y tipo de obra (NB 688, 2007), los mismos se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Periodo de Retorno

<i>Periodo</i>	<i>Tipo de obra</i>
1 a 2 años	Redes de áreas urbanas y suburbanas
2 a 5 años	Redes de áreas urbanas residenciales y comerciales
20 a 30 años	Colectores secundarios y principales
30 a 50 años	Colectores, interceptores y emisarios
100 años	Sistemas de drenaje global de cuenca

2.2.2. METODOS HIDRÁULICOS

La obtención de las zonas y alturas de inundación, se logra a partir de modelos de simulación de máximas avenidas, que parten de diferentes hipótesis, simplificaciones o aproximaciones del comportamiento real del flujo del agua en la naturaleza, según distintas clasificaciones como flujo unidimensional o bidimensional, permanente o no permanente, uniforme o variado, laminar o turbulento, etc.

Los modelos hidráulicos unidimensionales requieren información topográfica e hidráulica, siendo en el primer caso el insumo principal la introducción de secciones transversales ortogonales a lo largo de la corriente de agua, río, etc. Las secciones transversales deben situarse donde la geometría del cauce y márgenes estén bien definidos (Ayala, 2014). El modelo de mayor difusión del tipo unidimensional, es el modelo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis Systema), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, además de la geometría del cauce, da la posibilidad de modelar estructuras hidráulicas que inciden sobre el flujo natural de la corriente, tales como puentes, alcantarillas, presas, etc.

Los modelos hidráulicos bidimensionales utilizan las ecuaciones de conservación de la masa y cantidad de movimiento en dos dimensiones y los resultados se calculan en cada punto de la malla en el dominio de solución. Los modelos bidimensionales se resuelven mediante el método de los elementos finitos. En comparación con los modelos unidimensionales presentan la desventaja de requerir un mayor tiempo de procesamiento y cálculo. El modelo bidimensional de mayor difusión es el IBER, modelo matemático para la simulación de ríos elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

2.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Como ya se indicó anteriormente, las principales definiciones referidas al análisis de riesgo, esto incluye la vulnerabilidad, han cambiado de manera significativa en el transcurso del tiempo. Una definición de vulnerabilidad que recoge el aporte de varias líneas es la dada por S. F. Balica et al. (2009), que considera a la vulnerabilidad como el alcance de daño que puede esperarse bajo determinadas condiciones de exposición, susceptibilidad y resiliencia. En el caso específico de las inundaciones, está referida a la medida en la cual un sistema es susceptible a inundaciones debido a su exposición, una perturbación, en conjunto con su capacidad/incapacidad de ser resiliente, recuperarse o adaptarse.

Combinando los tres factores indicados anteriormente, el concepto de vulnerabilidad puede expresarse como sigue:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Exposición} + \text{Susceptibilidad} - \text{Resiliencia}$$

2.3.1. MODELO PARAMÉTRICO DE VULNERABILIDAD

Para encarar la determinación de la vulnerabilidad se plantea utilizar el modelo paramétrico desarrollado por Balica et al. (2013), mismo que consiste en la determinación de índice de vulnerabilidad FVI (Flood Vulnerability Index), basado en cuatro componentes de vulnerabilidad a las inundaciones, que son: el social, económico, ambiental y físico además de sus interacciones.

Los cuatro componentes de vulnerabilidad a inundaciones se enlazan con los factores de vulnerabilidad, como son: exposición, susceptibilidad y resiliencia. De manera conceptual el índice de vulnerabilidad por inundación se define como sigue:

$$FVI = \frac{E * S}{R}$$

Donde: E exposición, S susceptibilidad y R resiliencia

De acuerdo a la expresión anterior, el índice de vulnerabilidad FVI aumenta con el incremento de la exposición y susceptibilidad. En cambio, el incremento en la resiliencia reduce el índice de vulnerabilidad.

La aplicación de la anterior expresión en cada uno de los cuatro componentes da como resultado cuatro diferentes índices FVI; a decir, FVI_{social} , $FVI_{económico}$, $FVI_{ambiental}$, $FVI_{físico}$, obteniéndose el FVI_{total} por la agregación de todos los índices anteriores.

$$FVI_{total} = FVI_{social} + FVI_{económico} + FVI_{ambiental} + FVI_{físico}$$

Para cada uno de los índices se deben considerar los tres conceptos fundamentales que definen a la vulnerabilidad como son: exposición (E), susceptibilidad (S) y resiliencia (R). Para nuestro caso concreto, se pretende utilizar las expresiones particulares propuestas por Hernández-Uribe et al. (2017). No obstante, las expresiones pueden redefinirse, modificarse de acuerdo a la información que pueda levantarse en campo o determinarse a partir de fuentes secundarias.

2.4. ENFOQUE DE INVESTIGACION

Dadas las características del estudio a desarrollarse, el método de investigación aplicable es el cuantitativo, previa recopilación de información primaria y secundaria y su posterior procesamiento, cuya salida son índices numéricos y mapas temáticos.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES

La información utilizada para el estudio se obtiene a través de análisis documental y levantamiento de datos en campo, la Tabla 2 muestra un resumen de la información principal como de su fuente.

Tabla 2. Fuentes de información

<i>Descripción</i>	<i>Fuente de Información</i>
Información cartográfica <ul style="list-style-type: none"> • Cartas topográficas • Imágenes satelitales • Mapas temáticos • Cartografía de la ciudad 	Gobierno Autónomo Municipal de El Alto Sistemas satelitales: LANDSAT, ALOS PALSAR Servicio Geológico Minero - SERGEOMIN
Información Hidrometeorológica <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación máxima en 24 horas • Temperatura • Humedad Relativa • Caudales medios 	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI
Información de campo <ul style="list-style-type: none"> • Características antropométricas de las corrientes • Secciones transversales • Rugosidad del lecho de río • Marcas de crecidas 	Levantamiento de información en campo
Información socioeconómica <ul style="list-style-type: none"> • Población en áreas de inundación • Grado de urbanización • Uso de suelo • Desempleo • Desigualdad 	Encuestas realizadas en campo Instituto Nacional de Estadística Gobierno Autónomo Municipal de El Alto

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

En el presente capítulo se indica los procedimientos que se utilizarán en el proceso de elaboración del proyecto de investigación, mismos que ordenados de manera sistemática y coherente nos permitan alcanzar los objetivos trazados (Balestrini, 2006).

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo al problema planteado referido al riesgo por inundación fluvial presente en zonas urbanas de la ciudad de El Alto debido y de acuerdo a los objetivos planteados, la investigación será de carácter explicativo, dado que se establecerán los niveles de riesgos de la zona de estudio a partir de conocer la amenaza (peligro) y vulnerabilidad de la misma es decir, nos centraremos en establecer cuáles son las condiciones (de amenaza y vulnerabilidad) que causan un determinado fenómeno (mayor o menor riesgo) (Hernandez, 2014).

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Considerando que el objetivo del presente trabajo será analizar el riesgo por inundación fluvial presente en zonas urbanas de la cuenca del río Larkajauira en el Distrito 14 de la ciudad de El Alto, se recurrirá a un diseño no experimental aplicado de manera transversal.

El estudio considera por una parte la amenaza por inundación presente en la zona de estudio debido principalmente las condiciones hidrometeorológicas y topográficas existentes; por otra parte, se evalúa los niveles de vulnerabilidad considerando las condiciones socioeconómicas de la población que habita en el la zona de estudio. Por lo tanto, el estudio realizará el análisis de las condiciones o características mencionadas en su contexto natural, sin la posibilidad de influir o modificar las mismas (Hernandez, 2014).

En el caso del análisis de amenaza, se determinará las zonas y alturas de inundación en base a datos de precipitación máxima recogidos por el SENAMHI. Asimismo, los niveles de vulnerabilidad de la zona de estudio serán determinados con relación a condiciones económicas y sociales de la población. Entonces, la investigación se centrará en analizar la relación entre diferentes conjuntos de variables, propios de un diseño transversal correlacional (Hernandez, 2014).

**ANÁLISIS O ESTUDIO DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O
CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES
MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO**

3.3. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a lo establecido en el capítulo II del presente trabajo se busca determinar los niveles de riesgo por inundación fluvial en la zona de estudio. Entonces considerando la formulación indicada anteriormente tenemos las siguientes variables de la investigación.

3.3.1. VARIABLE DEPENDIENTE

El Riesgo (R), se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daño a las propiedades y efecto sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un fenómeno natural particular y consecuentemente el producto de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad (Reyes-Olvera et al., 2016).

3.3.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Peligro, peligrosidad o amenaza natural (P), se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso, durante un periodo de tiempo determinado y zona específica. Para su determinación se recurrirá a la realización de un estudio hidrológico e hidráulico requiriéndose la recolección de información documental y levantamiento de información en campo.

Vulnerabilidad (V), que se entiende como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos, bajo riesgo, resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una determinada magnitud que se expresa con una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total). La misma será evaluada considerando información documental de la zona de estudio la misma será de carácter secundario dada la imposibilidad de realizar encuestas directas a la población, esto en virtud a la situación de crisis sanitaria.

Exposición (E), referida a la población, edificaciones, obras civiles, actividades económicas, servicios públicos, infraestructura, etc. que están expuestas en una determinada área. Al igual que la peligrosidad, la información sobre estructuras expuestas será recolectada con el uso de información documental y levantamiento en campo en caso de necesidad.

Peligro, peligrosidad o amenaza natural (P), se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso, durante un periodo de tiempo determinado y zona específica. Para su determinación se recurrirá a la realización de un estudio hidrológico e

hidráulico requiriéndose la recolección de información documental y levantamiento de información en campo.

3.4. POBLACIÓN DE PROYECTO

En el presente proyecto de investigación la unidad de análisis, o zona de estudio está referida a la zona urbana circundante a la cuenca del río Larkajauira, correspondiente al distrito 14 de la ciudad de El Alto.

Es fundamental establecer que la zona de estudio, en este caso definida anteriormente como la zona circundante a la cuenca del río Larkajauira, será aquella que se encuentre dentro de la zona de inundación determinada a partir del análisis de amenaza. Entonces, se puede indicar que el área potencial de inundación (zona de estudio) en el distrito 14 de la ciudad de El Alto es toda la superficie que comprende el distrito 14 que de acuerdo a datos del GAMEA, alcanza a 16.9 km² y cuenta con una población de 47,912 habitantes (INE 2012).

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Entendemos como técnica de recolección de datos al procedimiento o la forma específica con la cual obtendremos información para la realización del proyecto (Falcon & Herrera, 2005).

Dada la naturaleza del proyecto se recurrirá a varias técnicas de recolección de datos, como son:

Técnica de investigación documental. Las fuentes documentales serán, artículos científicos, tesis, proyectos referidos a la temática, registros históricos de precipitación.

Técnica de investigación de observación no estructurada (levantamiento en campo). Referida concretamente al levantamiento de elementos antrópicos que inciden en la dinámica del flujo (hidráulica) del río Larkajauira, estos elementos comprenden, pero no se limitan a: puentes, alcantarillas, canales, cruces, emisarios de aporte, etc.

3.5.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos para la recolección de datos son aquellos recursos que se utilizan en la investigación para el registro de información y datos sobre las variables previamente definidas (Hernandez, 2014)

En el caso del proyecto de investigación los instrumentos concretos a utilizarse son:

Fichas de Campo. Donde se mostrará la información levantada en campo sobre los elementos antrópicos que se encuentran sobre el cauce del río Larkajauira.

Registros bibliográficos. Durante el desarrollo mismo del proyecto, se recurrirá a las citas bibliográficas y parafraseo de la información documental que se ha utilizado.

CAPITULO IV: RESULTADOS

De acuerdo al Plan Territorial de Desarrollo Integral del municipio de El Alto, los ríos principales que definen las áreas de mayor riesgo a inundación son los distritos 4, 5, 7, 11 y 14. Siendo el Distrito 14, específicamente la zona circundante al río Larkajauira, identificado como zona de interés para desarrollar el proyecto de investigación por la Unidad de Gestión de Riesgos del GAMEA.

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Municipio El Alto se encuentra ubicado en el departamento La Paz de la Provincia Murillo, situada al oeste de Bolivia y al borde oriental de la meseta altiplánica. El área urbana de El Alto es una de las zonas con mayor concentración de población en el país. Su posición geográfica está en los 16°30' de latitud Sur y 68°10' de longitud Oeste; con una altitud media de 4050 msnm, al pie de la Cordillera de La Paz (meseta del Altiplano Norte) y de la Cordillera Oriental.

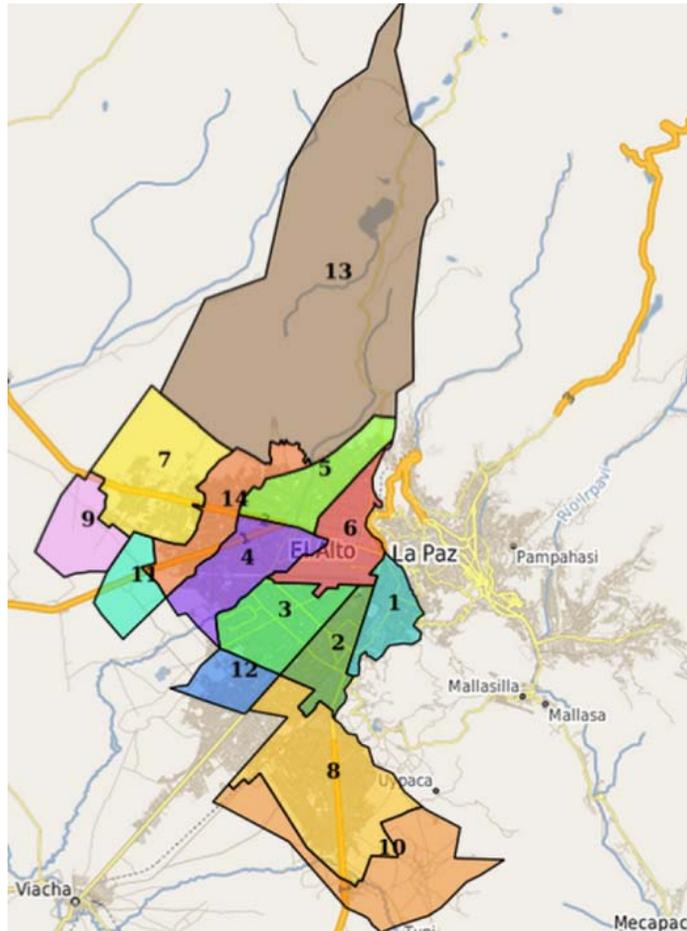
La superficie del municipio alcanza los 387,6 km² (38.756 has), que representan el 7,58% de la provincia. El 40,24% (15.596 has) corresponde al área urbana y el 59,76% (23.160 has), al área rural.

La urbe limita al norte y al este con el municipio de La Paz, al sur con los municipios de Viacha y Achocalla, y al oeste con los municipios de Laja y Pucarani.

Según el Censo del 2001 la población de El Alto alcanzaba los 649.958 habitantes (INE, 2001), posteriormente para el Censo del 2012 su población alcanza los 848.840 habitantes (INE, 2012), lo cual indica una tasa media anual de crecimiento del 2.55%. La ciudad de El Alto bordea el Aeropuerto Internacional y la Fuerza Aérea Boliviana, infraestructura que actualmente ocupa una gran parte del territorio.

Específicamente el Distrito 14 limita al norte con el Distrito 13, al sur con el Distrito 4, y Distrito 11, al este con el Distrito 4 y Distrito 5, y al oeste con parte del Distrito 7 y parte del Distrito 11.

Figura 2. Mapa Político de la ciudad de El Alto



Fuente: Plan Maestro de Drenaje Pluvial de El Alto

4.1.2. VIAS DE ACCESO

Existen varias vías de acceso para el distrito municipal 14 de tipo terrestre, tomando como punto de partida la Ceja en la ciudad de El Alto y el punto de llegada se toma como referencia la subalcaldía del distrito municipal, entonces tenemos la siguiente ruta:

- Se toma minibús del Puente de la Ceja normalmente las líneas que anuncian ruta hacia la zona de San Roque y Lagunas. Siendo el transporte con dirección al punto conocido como Casa Amarilla la principal fuente de transporte.

El servicio de minibuses empieza aproximadamente a las 06:00 hasta las 20:00. Los minibuses salen constantemente del punto de partida, el viaje toma alrededor de 40

**ANÁLISIS O ESTUDIO DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O
 CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES
 MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO**

minutos hacia el distrito 14, la ruta principal de recorrido es la Avenida Juan Pablo Segundo.

4.1.3. CARACTERÍSTICAS SOCIALES

Vivienda. Se puede observar que la mayoría de las viviendas se construyeron principalmente utilizando ladrillo y adobe, los mismos cuentan con los servicios básicos.

Servicios Básicos.

Agua potable. El distrito 14 cuenta con servicio de agua potable las 24 horas del día.

Alcantarillado sanitario. Asimismo el distrito 14 cuenta con alcantarillado sanitario que en determinados sectores fue construido y expandido recientemente.

Otros servicios

Energía eléctrica. La población del distrito 14 cuenta con energía eléctrica las 24 horas del día; el tipo de corriente es alterno, con una diferencia de potencial de 220 voltios.

Medios de comunicación. El distrito 14 cuenta con un servicio de comunicación mediante telefonía celular de las empresas ENTEL, VIVA y TIGO; con una buena calidad de servicio.

Salud. El distrito 14 cuenta con 3 establecimientos de salud que también pertenecen a la red de salud de lotes y servicios.

Educación. El distrito 14 cuenta con 19 infraestructuras educativas y con 3 centros infantiles municipales, en total cuenta con 22 establecimientos educativos.

4.1.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Climatología

El clima que predomina en el municipio es el frío de Alta Montaña, con cierto contenido de humedad en el periodo de lluvias y muy seco en el invierno. La mayor parte del territorio tiene clima extremadamente frío, con heladas y nieve en invierno, así como lluvias en

verano que por sus intensidades altas y duración corta generan volúmenes importantes que deben ser evacuados para evitar daños a la infraestructura urbana y rural.

El aporte de lluvias en El Alto es de origen orográfico y local; la primera por la presencia de altas montañas al oriente del municipio, que interrumpen el paso de las masas húmedas de la Amazonía boliviana; y el otro caso por formación de tormentas locales de tipo convectivo. En la región del territorio alteño las temperaturas anuales son de 6.8 °C en promedio, con límites mínimo y máximo entre -0,7 °C y 13,8 °C. La precipitación anual esta alrededor de los 605 mm, conforme los registros históricos de la estación El Alto – AASANA. De acuerdo con los registros de lluvia disponibles en El Alto, la época que presenta mayor lluvia se da en el otoño entre Diciembre y Febrero. Así por ejemplo, la estación El Alto – AASANA ubicada en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de El Alto, registró una lámina de 861,2 mm de lluvia en el año hidrológico 1985–1986, con una máxima en el mes de Febrero-1986, con 175,7 mm, más ésta no es la lámina máxima mensual histórica, sino la de diciembre del año 1980, que registró un total de 246,9 mm, siendo que en ése año hidrológico tan sólo llovió 627,8 mm. Un comportamiento similar se observó con la temperatura, ya que en general el municipio tiene temperaturas muy bajas, con poca humedad y los inviernos alcanzan valores de -6 °C durante el mes de Julio (GAMEA, 2016).

Tabla 3. Parámetros meteorológicos Estación El Alto - AASANA

	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Anual</i>
Temperatura máxima diaria (°C)	12	13	15	17	16	14	14	14	14	15	11	11	13.8
Temperatura diaria media (°C)	4	6	7	9	10	9	9	9	7	6	3	3	6.8
Temperatura diaria mínima (°C)	-5	-2	-1	1	3	4	4	3	-1	-3	-5	-6	-0.7
Precipitación media (mm)	14.3	32.4	41.3	50.9	97.8	135.2	102.5	76.0	30.4	12.1	5.5	7.2	605.1
Precipitación media (%)	2.4	5.3	6.8	8.4	16.1	22.3	16.9	12.5	5.0	2.0	0.9	1.2	100.0
Días de lluvias (≥ 1 mm)	0	1	1	1	3	4	4	3	1	0	0	0	18.0
Días de nevadas (≥ 1 cm)	1.6	1.5	0.6	0.1	0	0	0	0	0.1	0.2	0.8	2.3	7.2
Precipitación máxima (mm)	100.3	100.2	101.3	144.7	246.9	244.5	210.6	171.2	66.9	54.7	64.8	34.1	
Precipitación mínima (mm)	0.0	0.0	4.0	3.1	37.3	47.7	21.2	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	

Geomorfología

El Alto se encuentra en el piedemonte occidental de la Cordillera Real, en el límite del Altiplano y de la cuenca Amazónica, formado sobre la acumulación de materiales erosionados de relieves positivos circundantes, las cuales se encuentran afectados por intemperismo (físico y químico).

- **Meteorización física** o mecánica es un proceso de fragmentación, que consiste en la desintegración de las rocas y minerales por efecto de dilatación y contracción producida por cambios de temperatura sin modificar la composición química, existe varios tipos de meteorización física: (gelifracción, descompresión, expansión térmica, laminación, crecimiento de cristales, etc.)
- **Meteorización química** es la alteración de minerales que componen las rocas bajo el ataque de los agentes atmosféricos. Los minerales pierden sus componentes y por lo tanto la roca cambia de composición y estructura interna, incorporan otros elementos y así producen una transformación. El agua es el gran disolvente de la naturaleza que juega un papel esencial.

Geología Estructural

Los rasgos estructurales y tectónicos del municipio, están relacionados al dominio de la Cordillera Real. Durante la fase Oclóyica se produjo una etapa de compresión responsable del plegamiento y fallamiento de rocas del Paleozoico Inferior. Posteriormente los movimientos de la fase Eohercínica ocasionaron un plegamiento subvertical intenso, acompañado de un cambio de régimen en la sedimentación del Devónico Superior.

Geotecnia

En el suelo existe en el Distrito 14 del municipio del El Alto predomina la presencia de material granular gravas y arenas con presencia de arcillas, considerando la clasificación de suelos USCS, el suelo presente se clasifica como GC y SC gravas y arenas arcillosas.

En general el material fino presenta condiciones de baja plasticidad con límite líquido en el rango de 16 – 33 y límite plástico de 16 – 22. En cuanto a la capacidad portante del

terreno, en general se presentan valores del orden de $0.95 - 2.35 \text{ kg/cm}^2$ (Cabrera Alvarez & Bermejo Franco, 2014).

Red Hidrográfica

El municipio de El Alto presenta una red de ríos que en su mayoría corren en condiciones naturales, a diferencia de algunos ríos que fueron canalizados en el tramo que cubre la zona urbana.

El territorio del municipio alteño ocupa cuatro cuencas hidrológicas del departamento de La Paz. La superficie del Municipio tiene 387.6 km^2 y la superficie de las cuencas al interior y exterior del límite del municipio abarcan una extensión similar a la del Municipio. Las cuencas que ocupan el territorio del Municipio de El Alto corresponden a la del Río Seke que proviene desde Milluni, con una superficie de 102 km^2 y que desemboca en el Río Pallina. La del Río Seco drena sus aguas hacia el Río Pallina superior, con una superficie de 107 km^2 . El Río Vilaque nace en la cordillera y recibe el aporte de numerosos afluentes en la zona oeste del municipio de El Alto. Las subcuencas de los Ríos Seke y Seco se unen al Río Pallina, para luego desembocar en el curso medio del Río Katari.

En estas cuencas se localiza la Presa Milluni, la cual recibe aportes de los nevados del Huayna Potosí, Charkini y Zongo. Se considera que los glaciares tienen poca relevancia en el análisis de crecidas, considerando que todo su aporte es almacenado en la Presa Milluni y en dos lagos ubicados en zonas superiores la mencionada presa.

De forma general se anotan en la Tabla 4 algunas características de las cuencas grandes que superponen al Municipio de El Alto.

Por otra parte, tanto el Río Seke como el Río Seco están expuestos a un alto índice de contaminación. Las corrientes superficiales pequeñas y efímeras, así como los manantiales de mantos freáticos de la cuenca tienen repercusiones para el equilibrio de los ecosistemas y para la población alteña. Esta situación deberá ser afrontada con un adecuado drenaje sanitario y separarlo del drenaje pluvial en cuestión.

Tabla 4. Características generales de cuencas y ríos mayores del Municipio de El Alto

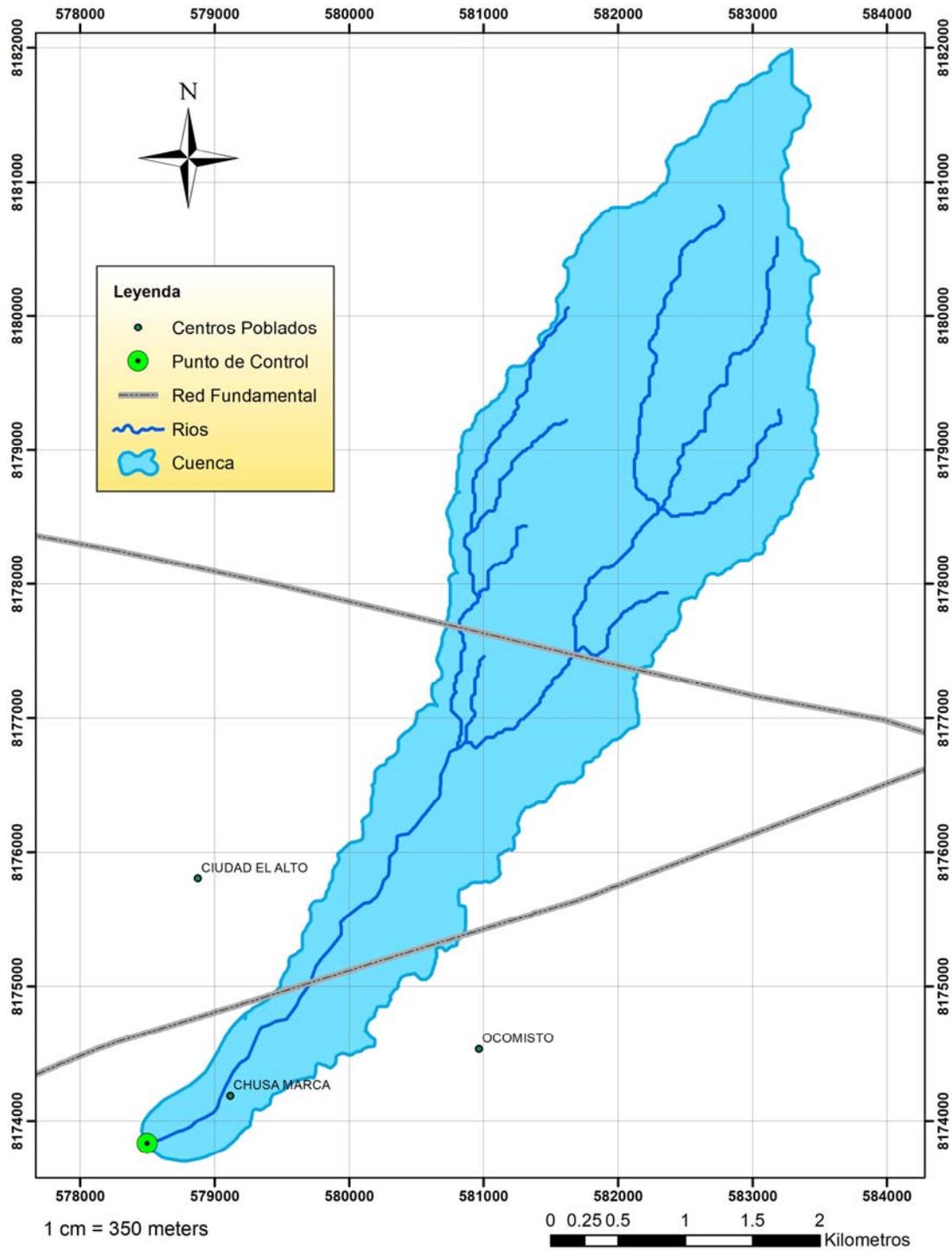
Nro.	Cuenca/Río	Long. Río (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)	Área (km ²)	Medido hasta
1	Milluni	14706.4	49199.8	58979979.4	58.98	Embalse Milluni
2	Quebrada Chaco Palca	15131.8	41607.3	23746947.4	23.75	
3	Seke	49176.6	131442.6	102050260.5	102.05	Confluencia Río Pallina
4	Vilaque	47637.3	142193.7	345126728.6	345.13	
5	Río Challa Jahuira	35668.5	101376.0	136668081.8	136.67	
6	Quebrada Jalaqueri	17945.1	51082.8	28287700.2	28.29	
7	Río S/N 1	26402.8	76107.9	55831982.4	55.83	
8	Río Sallani	23021.8	58493.2	50863256.8	50.86	
9	Achachicala	21378.4	67543.5	66199250.5	66.20	
10	Achocalla	12024.0	38934.7	32196640.1	32.20	
11	Chiar Jahuira	22163.2	58310.9	30996656.4	31.00	
12	Chanucagua	16941.2	57703.6	53072296.7	53.07	Confluencia Río Pallina
13	Río S/N 2	26242.7	73556.8	37730768.6	37.73	
14	Río Sorechata	27483.7	89592.4	161963662.7	161.96	
15	Río Seco	38589.4	112673.8	107294769.9	107.29	Confluencia Río Pallina
16	Río Pallina	83464.4	227048.3	461633978.9	461.63	

El grupo de subcuencas del Municipio de El Alto es parte de la cuenca del Río Katari; esta nace en las comunidades de Milluni, su corriente principal conduce una parte de las aguas del nevado del Huayna Potosí y otros glaciares menores, a su paso por la Mina Milluni y el lago con el mismo nombre acarrea desechos de minerales. Este río se convierte más abajo en el Río Seke y confluye con el Río Pallina. Un poco hacia el sur se encuentra el Río Seco, el cual se une también al Río Pallina. Los ríos Seke y Seco atraviesan la Ciudad de El Alto y reciben aguas residuales y residuos sólidos en su recorrido por la ciudad. Finalmente, el Río Pallina desemboca en el Río Katari que finalmente descarga en la Bahía de Cohana, en el lago menor del Titicaca.

4.2. MODELO HIDROLOGICO

El modelo hidrológico se desarrolló considerando como punto de control o de descarga la intersección entre el río Larkajauira y el límite del Distrito 14, el punto en cuestión presenta coordenadas en el sistema UTM, Norte = 8173831 m y Este = 578500 m.

Figura 3. Cuenca de aporte del proyecto



Fuente: Elaboración propia

4.2.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE LA CUENCA

A partir del punto de control indicado anteriormente se delimitó la cuenca hidrográfica, para esto se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), Satélite ALOS PALSAR, precisión 1 (Arc-Segundo). La cuenca y punto de control se presentan en la Figura 3. A partir del procesamiento del modelo digital de elevación se obtuvo los parámetros morfológicos de la cuenca de aporte, mismos que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Características morfológicas de la cuenca

N°	Descripción	Unidad	Valor
1	Área de la cuenca	[Ha]	1,203.43
2	Longitud curso principal	[m]	10,802.16
3	Cota máxima del curso	[msnm]	4218
4	Cota mínima del curso	[msnm]	3984
5	Pendiente del curso principal	[m/m]	0.0217

4.2.2. DURACIÓN DE LA TORMENTA DE DISEÑO

La duración de la lluvia de diseño se asume como el tiempo de concentración de la cuenca, mismo que se define como el lapso de tiempo, bajo precipitación constante, que tarda el agua en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de descarga.

Para el proyecto se utilizó la fórmula de Kirpich que presenta buenos resultados en el medio nacional. Entonces, a partir de los datos encontrados en el apartado anterior se determina el tiempo de concentración para la cuenca del proyecto, utilizando la siguiente expresión:

$$t_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde: t_c = tiempo de concentración [min]

L = longitud del curso principal [m]

S = pendiente del curso principal [m/m]

$$t_c = 0.01947 * 10,802.16^{0.77} * 0.0217^{-0.385}$$

$$t_c = 108.62 \text{ min} \approx 110 \text{ min}$$

4.2.3. DATOS HIDROMETEOROLOGICOS

La información hidrometeorológica utilizada para el proyecto se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI de la estación El Alto – Aeropuerto considerando la variable meteorológica de precipitación máxima en 24 hr.

Tabla 6. Precipitación máxima en 24 hr – Estación El Alto Aeropuerto

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1942	****	****	****	****	****	****	****	****	****	9	15	34.8	****
1943	27.5	31	30	5	17	****	0	5	8	18	12	40	****
1944	15	25	17	5	18	0	0	0	20	25	20	30	30
1945	15	19	21.7	16.8	0	0	10	10.5	11.5	16	21	16.8	21.7
1946	24	27	10.6	7	12.2	1	15	16	18.3	5.8	5.6	22.9	27
1947	22.5	28	15.5	10	6.8	0	2.5	2	14.4	9.8	9.4	8.4	28
1948	35.2	16.2	12	13.8	14	4.5	8.2	0	4.6	18.6	11	8.5	35.2
1949	13.6	13	12	19	0	4.1	14.3	2	31.8	9.7	14	11.6	31.8
1950	23.2	7.3	13.1	6.9	3.6	0	6.9	13.8	17.6	16.1	13.8	16.4	23.2
1951	23.2	23.9	19.7	9.7	2.3	0	7.2	36.8	6.1	26.9	19.6	19.6	36.8
1952	28.4	24.6	5.6	6	6.3	5.5	4.7	3.7	20.3	5.9	14.6	23.7	28.4
1953	52	12.3	5	5.8	0	3.1	0	3.6	5.3	10.1	17.8	17.5	52
1954	15.4	27.8	12.9	5.6	6.6	1.1	4	2.2	5.7	12.3	21	13.1	27.8
1955	22.2	23.6	25	6.1	4	0.9	8	7.3	7.2	14	2.4	16.3	25
1956	17.1	18	4.4	2.9	1.2	0	2.2	6.7	6.2	1.9	3.7	14.2	18
1957	18	19.4	9.8	9.3	4.2	4.6	0	1.7	11.3	11.3	6.2	13.7	19.4
1958	16.5	17.2	18.2	4.2	****	****	****	8.1	2.5	14.7	28.3	18.7	****
1959	19.4	23.3	24.9	8.2	6	2.1	0	3.3	11.1	4.8	12.2	19.5	24.9
1960	34.1	19.8	8.1	10	5	0	0	12	13.1	8.9	9	17.2	34.1
1961	38	22.9	12.1	9.1	7.6	0	0	6	13	9	8	21	38
1962	18	23.3	17.4	13	2.1	0	0	0	12.7	10	13	18.8	23.3
1963	18	12	15	8	4.4	7	0	2.4	9	6	15	19	19
1964	18	22	25.6	25	7	0	11.3	2.1	16.7	9	18.2	28	28
1965	19.2	30.2	11.6	10	6.8	0	10	0	18.1	5	24.9	18.6	30.2
1966	11	22	12	6.1	18	0	0	0	****	25	****	15	****
1967	17.2	17.6	16.2	2	****	1	****	16.2	10.2	12.1	7	15	****
1968	12	26.6	8.6	7	6	7	6	25	12	10	18	14	26.6
1969	20.6	12	15.6	11	1	5.3	15	6.3	2	4.8	10	9.6	20.6
1970	16.2	14.3	13	8.1	8	0	0.6	2.2	8.8	8.7	35.6	25.3	35.6
1971	22	15.4	5	11.5	4.4	2	0	1.8	0	33.5	28.8	24.3	33.5
1972	20.2	14.6	12	13	2.4	4.2	0	5.2	9.2	9.3	7.6	14	20.2
1973	26	12.2	11.8	9.2	2.3	0.6	8.4	7.1	16	12.2	8.9	25	26
1974	20.2	19	16.2	5.4	2.8	13.2	1.6	28.4	4.4	17.2	5.5	27.6	28.4
1975	32.5	22.7	23.6	8.7	11.3	0.4	0	7	11.6	10.9	7.2	16.9	32.5
1976	24.7	15.7	40	3.7	16.6	9.4	6.9	6.6	18.8	2.4	10.9	20.2	40

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1977	18.8	24.8	22.2	0	11.6	0	12.4	7.4	13.7	10.9	22.1	33.4	33.4
1978	30	24.6	12.1	18.1	0.6	0	0.7	2.7	4.2	5.9	21.6	21.6	30
1979	21.4	22.6	32.7	10.2	8.2	0	10.3	1	2.4	16.2	14	31.4	32.7
1980	9.2	14.3	28.6	7.9	6.6	0	11.6	32.2	12.2	14.8	11.8	13.2	32.2
1981	24.8	21.6	21.9	13.4	1.2	0	0	26.7	22.4	11.4	10.6	9.2	26.7
1982	44.3	8	20.1	15.4	0.3	5.1	0.8	1.8	7.6	11.2	26.6	19	44.3
1983	12	9.9	11.5	17.8	14.8	3.8	7.4	10.2	12.6	9	5.2	22.2	22.2
1984	20.9	18.1	20.9	9.7	3.1	4.2	0.6	9.7	2.8	7	16.1	20.8	20.9
1985	14.6	20.5	20.4	14.6	2.2	6.4	0.5	3.3	7.6	18.1	23	21	23
1986	16.7	41.9	25	9.4	10.7	0.3	0	24.9	17.4	6.5	17.8	14.9	41.9
1987	24.4	6.3	25.5	5.4	4.9	1	7.9	2.5	17	29.4	32	8.6	32
1988	18.2	15.9	18.1	13.2	16.4	0	1.6	0	7.7	7.9	15.4	40.6	40.6
1989	15.1	22.9	6.7	11.7	16.9	4.3	5.8	4.4	9.4	1.9	9.5	20.3	22.9
1990	26.7	19.2	8.5	19.1	9.9	17.6	0.5	4.8	18.2	11.6	33	37.8	37.8
1991	24.2	26.3	16.6	2.9	8.1	14.8	1	0.9	8.5	8.3	11.5	11.1	26.3
1992	25.7	17.5	11.6	15.5	0.1	4.9	5.8	13.4	3.1	17.2	33.5	14.4	33.5
1993	32.9	10.1	13.8	16.6	0.9	4	2.1	16.3	9.7	15.4	17.9	22.9	32.9
1994	15.3	16.4	32.8	12.4	0	12.4	3.1	2.7	16	7.4	24.2	19.6	32.8
1995	17.6	53	16.5	9.4	6	0	2.6	8.7	4.4	13.3	15.2	33	53
1996	34.6	14.5	21.3	22.1	7.8	0	4.4	7.4	14.6	7.2	15.2	24.9	34.6
1997	19.7	21.7	22.7	13.9	6.4	0	0	4.2	20.5	14.5	14.9	10.5	22.7
1998	27.9	11.6	23.6	36.7	0.8	8.1	0	2.6	2.8	14.9	18.3	17.1	36.7
1999	18.2	15.1	18	8	3	0.4	5.7	3.1	28	14.3	9.1	24.8	28
2000	23.3	22.8	22	3.9	9.1	13.6	0.2	6.5	1.2	16	6.6	20.8	23.3
2001	23.2	16.6	14.6	7.7	7.4	3.8	5.8	19	4	17.4	12.6	23.9	23.9
2002	20.1	29.4	30.4	5.7	5	6.8	7.2	3.6	6.8	33.9	15.6	14.6	33.9
2003	39.8	18.6	22.5	7.7	2.4	0.5	1.2	6.9	18.5	13.2	7.7	56.9	56.9
2004	26.7	23.1	21.1	8.9	7.1	2.8	6.7	10.7	6.6	6.1	11.3	21.6	26.7
2005	20.3	19.4	12.2	21.8	0.2	0	0.4	0.5	11.1	18.7	12.3	13	21.8
2006	18.4	19.6	20.6	8	1.5	1.7	0	9.6	6	8.4	36.2	16	36.2
2007	18	20.5	15.3	16.5	5.1	1.1	24.1	0	12.5	16.7	20.7	29.6	29.6
2008	26.2	13.7	21.7	4.2	3.6	4.9	3.3	3.4	5.7	11.4	10.8	19.2	26.2
2009	10.7	34.3	17.4	6.6	0.6	0	7.6	2.9	6.3	10.7	32.8	35.9	35.9
2010	31.7	27.4	7.4	9.2	5.6	0	2.1	8.4	5.6	22.1	1.4	19.8	31.7
2011	11.2	31.6	11.7	1.7	1.6	0	4.3	0.1	8.8	7.7	10.5	28.4	31.6
2012	28.8	17.2	32.1	24	1.2	3.3	3.2	1.7	4.7	10.8	16	17	32.1
2013	19.4	36.5	6.3	2.5	6.3	7	5.9	9.4	3.4	26	10.9	24.9	36.5
2014	21.7	10.7	10.7	7	9.3	0.2	1.8	9.8	12.5	14.7	13.5	20.1	21.7
2015	20	28.3	20.4	14.8	3.8	0	10.2	9.8	8.7	21.1	10.1	14.7	28.3
2016	24.5	16.8	15.1	18.4	0	2.7	2.9	8.1	4.2	13.3	10.1	20.2	24.5
2017	29.3	22.8	13.9	9.6	12.5	0	1.7	****	****	****	****	****	****

**** Sin registro

4.2.4. RELLENO DE DATOS

El relleno de datos faltantes en el registro de precipitación de la estación El Alto Aeropuerto se realiza aplicando un Promedio Aritmético de los valores de precipitación por cada mes. Asimismo se excluye del análisis los datos de precipitación del año 1942 y 2017 que corresponden a registros sin concluir. El registro completo de precipitación máxima en 24 horas a utilizar en el proyecto se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Registro completo de precipitación máxima en 24 hr

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1943	27.5	31	30	5	17	2.9	0	5	8	18	12	40	40
1944	15	25	17	5	18	0	0	0	20	25	20	30	30
1945	15	19	21.7	16.8	0	0	10	10.5	11.5	16	21	16.8	21.7
1946	24	27	10.6	7	12.2	1	15	16	18.3	5.8	5.6	22.9	27
1947	22.5	28	15.5	10	6.8	0	2.5	2	14.4	9.8	9.4	8.4	28
1948	35.2	16.2	12	13.8	14	4.5	8.2	0	4.6	18.6	11	8.5	35.2
1949	13.6	13	12	19	0	4.1	14.3	2	31.8	9.7	14	11.6	31.8
1950	23.2	7.3	13.1	6.9	3.6	0	6.9	13.8	17.6	16.1	13.8	16.4	23.2
1951	23.2	23.9	19.7	9.7	2.3	0	7.2	36.8	6.1	26.9	19.6	19.6	36.8
1952	28.4	24.6	5.6	6	6.3	5.5	4.7	3.7	20.3	5.9	14.6	23.7	28.4
1953	52	12.3	5	5.8	0	3.1	0	3.6	5.3	10.1	17.8	17.5	52
1954	15.4	27.8	12.9	5.6	6.6	1.1	4	2.2	5.7	12.3	21	13.1	27.8
1955	22.2	23.6	25	6.1	4	0.9	8	7.3	7.2	14	2.4	16.3	25
1956	17.1	18	4.4	2.9	1.2	0	2.2	6.7	6.2	1.9	3.7	14.2	18
1957	18	19.4	9.8	9.3	4.2	4.6	0	1.7	11.3	11.3	6.2	13.7	19.4
1958	16.5	17.2	18.2	4.2	5.8	2.9	4.4	8.1	2.5	14.7	28.3	18.7	28.3
1959	19.4	23.3	24.9	8.2	6	2.1	0	3.3	11.1	4.8	12.2	19.5	24.9
1960	34.1	19.8	8.1	10	5	0	0	12	13.1	8.9	9	17.2	34.1
1961	38	22.9	12.1	9.1	7.6	0	0	6	13	9	8	21	38
1962	18	23.3	17.4	13	2.1	0	0	0	12.7	10	13	18.8	23.3
1963	18	12	15	8	4.4	7	0	2.4	9	6	15	19	19
1964	18	22	25.6	25	7	0	11.3	2.1	16.7	9	18.2	28	28
1965	19.2	30.2	11.6	10	6.8	0	10	0	18.1	5	24.9	18.6	30.2
1966	11	22	12	6.1	18	0	0	0	10.5	25	15.3	15	25
1967	17.2	17.6	16.2	2	5.8	1	4.4	16.2	10.2	12.1	7	15	17.6
1968	12	26.6	8.6	7	6	7	6	25	12	10	18	14	26.6
1969	20.6	12	15.6	11	1	5.3	15	6.3	2	4.8	10	9.6	20.6
1970	16.2	14.3	13	8.1	8	0	0.6	2.2	8.8	8.7	35.6	25.3	35.6
1971	22	15.4	5	11.5	4.4	2	0	1.8	0	33.5	28.8	24.3	33.5
1972	20.2	14.6	12	13	2.4	4.2	0	5.2	9.2	9.3	7.6	14	20.2
1973	26	12.2	11.8	9.2	2.3	0.6	8.4	7.1	16	12.2	8.9	25	26
1974	20.2	19	16.2	5.4	2.8	13.2	1.6	28.4	4.4	17.2	5.5	27.6	28.4

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1975	32.5	22.7	23.6	8.7	11.3	0.4	0	7	11.6	10.9	7.2	16.9	32.5
1976	24.7	15.7	40	3.7	16.6	9.4	6.9	6.6	18.8	2.4	10.9	20.2	40
1977	18.8	24.8	22.2	0	11.6	0	12.4	7.4	13.7	10.9	22.1	33.4	33.4
1978	30	24.6	12.1	18.1	0.6	0	0.7	2.7	4.2	5.9	21.6	21.6	30
1979	21.4	22.6	32.7	10.2	8.2	0	10.3	1	2.4	16.2	14	31.4	32.7
1980	9.2	14.3	28.6	7.9	6.6	0	11.6	32.2	12.2	14.8	11.8	13.2	32.2
1981	24.8	21.6	21.9	13.4	1.2	0	0	26.7	22.4	11.4	10.6	9.2	26.7
1982	44.3	8	20.1	15.4	0.3	5.1	0.8	1.8	7.6	11.2	26.6	19	44.3
1983	12	9.9	11.5	17.8	14.8	3.8	7.4	10.2	12.6	9	5.2	22.2	22.2
1984	20.9	18.1	20.9	9.7	3.1	4.2	0.6	9.7	2.8	7	16.1	20.8	20.9
1985	14.6	20.5	20.4	14.6	2.2	6.4	0.5	3.3	7.6	18.1	23	21	23
1986	16.7	41.9	25	9.4	10.7	0.3	0	24.9	17.4	6.5	17.8	14.9	41.9
1987	24.4	6.3	25.5	5.4	4.9	1	7.9	2.5	17	29.4	32	8.6	32
1988	18.2	15.9	18.1	13.2	16.4	0	1.6	0	7.7	7.9	15.4	40.6	40.6
1989	15.1	22.9	6.7	11.7	16.9	4.3	5.8	4.4	9.4	1.9	9.5	20.3	22.9
1990	26.7	19.2	8.5	19.1	9.9	17.6	0.5	4.8	18.2	11.6	33	37.8	37.8
1991	24.2	26.3	16.6	2.9	8.1	14.8	1	0.9	8.5	8.3	11.5	11.1	26.3
1992	25.7	17.5	11.6	15.5	0.1	4.9	5.8	13.4	3.1	17.2	33.5	14.4	33.5
1993	32.9	10.1	13.8	16.6	0.9	4	2.1	16.3	9.7	15.4	17.9	22.9	32.9
1994	15.3	16.4	32.8	12.4	0	12.4	3.1	2.7	16	7.4	24.2	19.6	32.8
1995	17.6	53	16.5	9.4	6	0	2.6	8.7	4.4	13.3	15.2	33	53
1996	34.6	14.5	21.3	22.1	7.8	0	4.4	7.4	14.6	7.2	15.2	24.9	34.6
1997	19.7	21.7	22.7	13.9	6.4	0	0	4.2	20.5	14.5	14.9	10.5	22.7
1998	27.9	11.6	23.6	36.7	0.8	8.1	0	2.6	2.8	14.9	18.3	17.1	36.7
1999	18.2	15.1	18	8	3	0.4	5.7	3.1	28	14.3	9.1	24.8	28
2000	23.3	22.8	22	3.9	9.1	13.6	0.2	6.5	1.2	16	6.6	20.8	23.3
2001	23.2	16.6	14.6	7.7	7.4	3.8	5.8	19	4	17.4	12.6	23.9	23.9
2002	20.1	29.4	30.4	5.7	5	6.8	7.2	3.6	6.8	33.9	15.6	14.6	33.9
2003	39.8	18.6	22.5	7.7	2.4	0.5	1.2	6.9	18.5	13.2	7.7	56.9	56.9
2004	26.7	23.1	21.1	8.9	7.1	2.8	6.7	10.7	6.6	6.1	11.3	21.6	26.7
2005	20.3	19.4	12.2	21.8	0.2	0	0.4	0.5	11.1	18.7	12.3	13	21.8
2006	18.4	19.6	20.6	8	1.5	1.7	0	9.6	6	8.4	36.2	16	36.2
2007	18	20.5	15.3	16.5	5.1	1.1	24.1	0	12.5	16.7	20.7	29.6	29.6
2008	26.2	13.7	21.7	4.2	3.6	4.9	3.3	3.4	5.7	11.4	10.8	19.2	26.2
2009	10.7	34.3	17.4	6.6	0.6	0	7.6	2.9	6.3	10.7	32.8	35.9	35.9
2010	31.7	27.4	7.4	9.2	5.6	0	2.1	8.4	5.6	22.1	1.4	19.8	31.7
2011	11.2	31.6	11.7	1.7	1.6	0	4.3	0.1	8.8	7.7	10.5	28.4	31.6
2012	28.8	17.2	32.1	24	1.2	3.3	3.2	1.7	4.7	10.8	16	17	32.1
2013	19.4	36.5	6.3	2.5	6.3	7	5.9	9.4	3.4	26	10.9	24.9	36.5
2014	21.7	10.7	10.7	7	9.3	0.2	1.8	9.8	12.5	14.7	13.5	20.1	21.7
2015	20	28.3	20.4	14.8	3.8	0	10.2	9.8	8.7	21.1	10.1	14.7	28.3
2016	24.5	16.8	15.1	18.4	0	2.7	2.9	8.1	4.2	13.3	10.1	20.2	24.5

4.2.5. PRUEBA DE CONSISTENCIA

Con la finalidad de detectar la presencia de errores sistemáticos en los registros de precipitación de la estación El Alto – Aeropuerto, se realiza una prueba de consistencia de los datos utilizando el método de la Curva Doble Acumulada. Para esto se utiliza como estaciones de referencia a la Estación El Tejar y Chuquiaguillo, de acuerdo a la extensión de los datos de las estaciones de referencia la prueba de consistencia se realiza considerando el periodo 1982 – 2016.

Tabla 8. Prueba de consistencia de datos – Curva Doble Acumulada

Año	E ₁ P ₁ [mm]	E ₂ P ₂ [mm]	E _x P _x [mm]	PPA [mm]	ΣP ₁ [mm]	ΣP ₂ [mm]	ΣP _x [mm]	ΣPPA [mm]
2016	552.2	578.8	528	553.00	552.20	578.80	528.00	553.00
2015	767.2	889.2	651.5	769.30	1 319.40	1 468.00	1 179.50	1 322.30
2014	561.7	765.8	517.8	615.10	1 881.10	2 233.80	1 697.30	1 937.40
2013	634.1	693	589	638.70	2 515.20	2 926.80	2 286.30	2 576.10
2012	650.3	750.8	675.6	692.23	3 165.50	3 677.60	2 961.90	3 268.33
2011	547.6	592.7	513.9	551.40	3 713.10	4 270.30	3 475.80	3 819.73
2010	589.8	653.2	662.3	635.10	4 302.90	4 923.50	4 138.10	4 454.83
2009	564.8	665.7	579.7	603.40	4 867.70	5 589.20	4 717.80	5 058.23
2008	530.5	571.2	564.8	555.50	5 398.20	6 160.40	5 282.60	5 613.73
2007	637.5	711.3	638.7	662.50	6 035.70	6 871.70	5 921.30	6 276.23
2006	648.9	804.2	624.1	692.40	6 684.60	7 675.90	6 545.40	6 968.63
2005	529.2	637	566.9	577.70	7 213.80	8 312.90	7 112.30	7 546.33
2004	555.6	578.8	574.5	569.63	7 769.40	8 891.70	7 686.80	8 115.97
2003	631	593.7	711.9	645.53	8 400.40	9 485.40	8 398.70	8 761.50
2002	806.1	781.6	716.5	768.07	9 206.50	10 267.00	9 115.20	9 529.57
2001	798.8	766.6	761.9	775.77	10 005.30	11 033.60	9 877.10	10 305.33
2000	492.2	747.7	591.3	610.40	10 497.50	11 781.30	10 468.40	10 915.73
1999	613.9	681.1	606.8	633.93	11 111.40	12 462.40	11 075.20	11 549.67
1998	579.4	665.7	552	599.03	11 690.80	13 128.10	11 627.20	12 148.70
1997	706.1	743.9	673.4	707.80	12 396.90	13 872.00	12 300.60	12 856.50
1996	547.7	593.4	639.8	593.63	12 944.60	14 465.40	12 940.40	13 450.13
1995	582.4	650.9	609.3	614.20	13 527.00	15 116.30	13 549.70	14 064.33
1994	541.2	642.2	577.8	587.07	14 068.20	15 758.50	14 127.50	14 651.40
1993	710.4	786.5	641.6	712.83	14 778.60	16 545.00	14 769.10	15 364.23
1992	622.3	632.7	556.4	603.80	15 400.90	17 177.70	15 325.50	15 968.03
1991	483.9	631.1	461.9	525.63	15 884.80	17 808.80	15 787.40	16 493.67
1990	701.2	729.1	685	705.10	16 586.00	18 537.90	16 472.40	17 198.77
1989	528	535.3	423.6	495.63	17 114.00	19 073.20	16 896.00	17 694.40

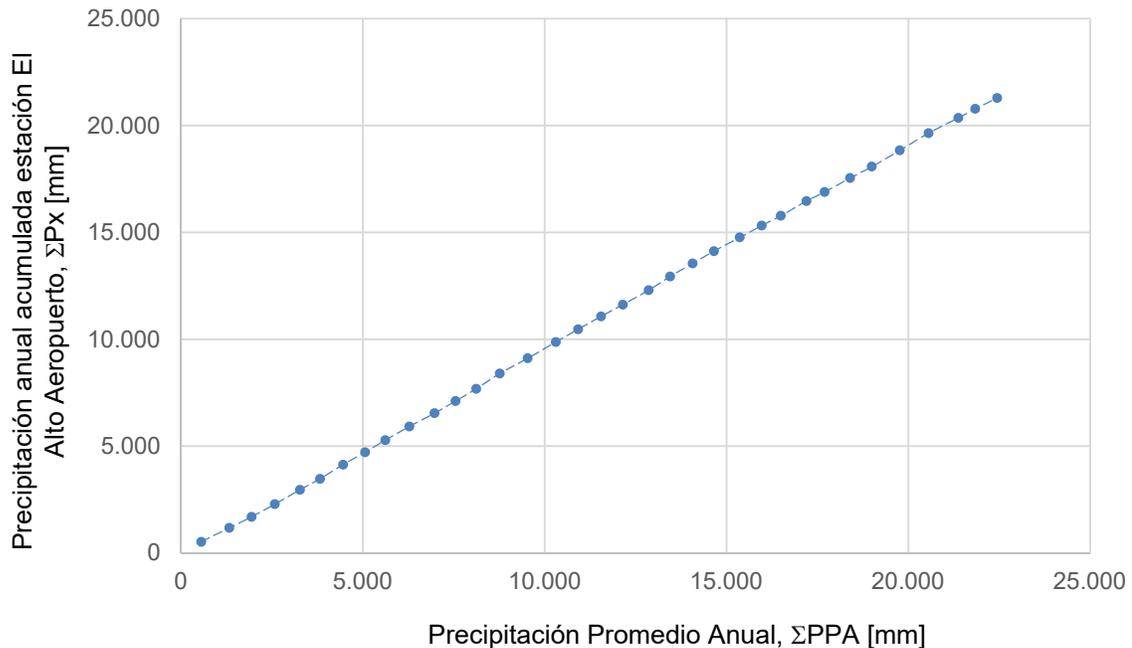
Año	E ₁ P ₁ [mm]	E ₂ P ₂ [mm]	E _x P _x [mm]	PPA [mm]	ΣP ₁ [mm]	ΣP ₂ [mm]	ΣP _x [mm]	ΣPPA [mm]
1988	660.2	796.2	652.3	702.90	17 774.20	19 869.40	17 548.30	18 397.30
1987	528.8	726.2	533.6	596.20	18 303.00	20 595.60	18 081.90	18 993.50
1986	676.6	874.2	758.6	769.80	18 979.60	21 469.80	18 840.50	19 763.30
1985	634	928.9	810.9	791.27	19 613.60	22 398.70	19 651.40	20 554.57
1984	889.2	857.8	711.3	819.43	20 502.80	23 256.50	20 362.70	21 374.00
1983	334.3	629.9	423.7	462.63	20 837.10	23 886.40	20 786.40	21 836.63
1982	650.6	656.3	506.1	604.33	21 487.70	24 542.70	21 292.50	22 440.97

Donde:

- E₁ = Estación de referencia el Tejar
- E₂ = Estación de referencia Chuquiaguillo
- E_x = Estación testada El Alto - Aeropuerto
- P₁ = Precipitación anual estación de referencia el Tejar
- P₂ = Precipitación anual estación de referencia Chuquiaguillo
- P_x = Precipitación anual estación testada El Alto – Aeropuerto
- PPA = Precipitación Promedio Anual

A partir de los datos encontrados se elabora el Gráfico 1 que muestra la Curva Doble Acumulada donde se observa que no existe un cambio en la tendencia de los registros.

Gráfico 1. Curva Doble Acumulada Estación El Alto Aeropuerto



Fuente: Elaboración propia

Al no existir cambio en la tendencia de los datos de la curva doble acumulada de la estación El Alto Aeropuerto, podemos concluir que los datos de precipitación esta libres de errores sistemáticos.

4.2.6. PRUEBA DE HOMOGENEIDAD

Para verificar que los registros de precipitación de la estación utilizada son homogéneos, es decir corresponden a un sistema estacionario, se realiza una prueba de Homogeneidad, en este caso se aplica la prueba de Kolmogorov Smirnov. La prueba se aplica considerando los registros más actuales en este caso los sesenta registros más actuales de precipitación máxima anual.

Tabla 9. Registro y ordenamiento de los datos para su procesamiento

Registro original		Registro ordenado	
S ₁	S ₂	S ₁	S ₂
19.4	32.0	17.6	21.7
28.3	40.6	19.0	21.8
24.9	22.9	19.4	22.7
34.1	37.8	20.2	22.9
38.0	26.3	20.6	23.3
23.3	33.5	20.9	23.9
19.0	32.9	22.2	24.5
28.0	32.8	23.0	26.2
30.2	53.0	23.3	26.3
25.0	34.6	24.9	26.7
17.6	22.7	25.0	28.0
26.6	36.7	26.0	28.3
20.6	28.0	26.6	29.6
35.6	23.3	26.7	31.6
33.5	23.9	28.0	31.7
20.2	33.9	28.3	32.0
26.0	56.9	28.4	32.1
28.4	26.7	30.0	32.8
32.5	21.8	30.2	32.9
40.0	36.2	32.2	33.5
33.4	29.6	32.5	33.9
30.0	26.2	32.7	34.6
32.7	35.9	33.4	35.9
32.2	31.7	33.5	36.2
26.7	31.6	34.1	36.5
44.3	32.1	35.6	36.7
22.2	36.5	38.0	37.8
20.9	21.7	40.0	40.6
23.0	28.3	41.9	53.0
41.9	24.5	44.3	56.9

Para verificar que los datos de precipitación de la estación El Alto Aeropuerto son homogéneos y por tanto corresponde a un sistema estacionario se debe verificar el cumplimiento de la siguiente hipótesis:

Hipótesis: $\hat{D} \leq D_\alpha$ Donde: $D_\alpha =$ Desviación teórica

$\hat{D} =$ Desviación empírica

con $\hat{D} = \max \left| \frac{F_1}{n_1} - \frac{F_2}{n_2} \right|$ $F_1, F_2 =$ Frecuencia acumulada

$D_\alpha = K_\alpha \sqrt{\frac{n_1 * n_2}{n_1 + n_2}}$ $n_1, n_2 =$ Número de registros serie S_1 y S_2

De acuerdo a las series S_1 y S_2 preparadas en la Tabla 9, se determina la desviación empírica del registro completo para 10 intervalos de datos como se ve en la Tabla 10.

Tabla 10. Cálculo de la desviación empírica del registro de precipitación

Intervalos	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59
f_1	0	3	6	8	8	2	3	0	0	0
f_2	0	0	6	6	9	6	1	0	1	1
F_1/n_1	0	1/10	1/5	4/15	4/15	1/15	1/10	0	0	0
F_2/n_2	0	0	1/5	1/5	3/10	1/5	1/30	0	1/30	1/30
$ F_1/n_1 - F_2/n_2 $	0	1/10	0	1/15	1/30	2/15	1/15	0	1/30	1/30

De acuerdo a la Tabla 10 la desviación empírica es $\hat{D} = 0.13$, por otra parte tenemos que la desviación teórica es $D_\alpha = 0.35$ para un nivel de significancia del 95%. Entonces como $\hat{D} \leq D_\alpha$ el registro de datos es homogéneo, es decir el sistema se puede considerar estacionario.

4.2.7. PRUEBA DE OUTLIERS (VALORES ATÍPICOS)

Con la finalidad de identificar la presencia de datos sospechosos en el registro de la estación El Alto Aeropuerto se recurre a la metodología indicada por la Water Resources Council. La prueba se aplica al registro completo, para esto previamente se determina los valores máximo y mínimo del registro además de calcular los logaritmos de precipitación, dichos cálculos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Prueba de datos atípicos

Nº	AÑO	P _{max24}	log(P _{max24})	Nº	AÑO	P _{max24}	log(P _{max24})
1	1943	40.0	1.6021	38	1980	32.2	1.5079
2	1944	30.0	1.4771	39	1981	26.7	1.4265
3	1945	21.7	1.3365	40	1982	44.3	1.6464
4	1946	27.0	1.4314	41	1983	22.2	1.3464
5	1947	28.0	1.4472	42	1984	20.9	1.3201
6	1948	35.2	1.5465	43	1985	23.0	1.3617
7	1949	31.8	1.5024	44	1986	41.9	1.6222
8	1950	23.2	1.3655	45	1987	32.0	1.5051
9	1951	36.8	1.5658	46	1988	40.6	1.6085
10	1952	28.4	1.4533	47	1989	22.9	1.3598
11	1953	52.0	1.7160	48	1990	37.8	1.5775
12	1954	27.8	1.4440	49	1991	26.3	1.4200
13	1955	25.0	1.3979	50	1992	33.5	1.5250
14	1956	18.0	1.2553	51	1993	32.9	1.5172
15	1957	19.4	1.2878	52	1994	32.8	1.5159
16	1958	28.3	1.4518	53	1995	53.0	1.7243
17	1959	24.9	1.3962	54	1996	34.6	1.5391
18	1960	34.1	1.5328	55	1997	22.7	1.3560
19	1961	38.0	1.5798	56	1998	36.7	1.5647
20	1962	23.3	1.3674	57	1999	28.0	1.4472
21	1963	19.0	1.2788	58	2000	23.3	1.3674
22	1964	28.0	1.4472	59	2001	23.9	1.3784
23	1965	30.2	1.4800	60	2002	33.9	1.5302
24	1966	25.0	1.3979	61	2003	56.9	1.7551
25	1967	17.6	1.2455	62	2004	26.7	1.4265
26	1968	26.6	1.4249	63	2005	21.8	1.3385
27	1969	20.6	1.3139	64	2006	36.2	1.5587
28	1970	35.6	1.5514	65	2007	29.6	1.4713
29	1971	33.5	1.5250	66	2008	26.2	1.4183
30	1972	20.2	1.3054	67	2009	35.9	1.5551
31	1973	26.0	1.4150	68	2010	31.7	1.5011
32	1974	28.4	1.4533	69	2011	31.6	1.4997
33	1975	32.5	1.5119	70	2012	32.1	1.5065
34	1976	40.0	1.6021	71	2013	36.5	1.5623
35	1977	33.4	1.5237	72	2014	21.7	1.3365
36	1978	30.0	1.4771	73	2015	28.3	1.4518
37	1979	32.7	1.5145	74	2016	24.5	1.3892

Los datos de la Tabla 11 se procesaron obteniéndose los siguientes parámetros:

Tabla 12. Análisis estadístico de los registros

Descripción	$P_{\max 24}$	$\log(P_{\max 24})$
Máximo	56.9	1.7551
Mínimo	17.6	1.2455
Promedio \bar{x}	30.24	1.4671
Desviación estándar s	7.88	0.1083
Coefficiente asimetría C_s	1.03	0.2456
$C_s/6 = k$	0.17	0.0409

A partir de los parámetros estadísticos podemos determinar los umbrales superior e inferior que permiten identificar valores atípicos, como sigue:

- Umbral de valores atípicos altos (x_H en unidades logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + K_n * s_x = 1.4671 + 2.912 * 0.1083 = 1.78$$

Precipitación máxima aceptada

$$P_H = 10^{x_H} = 10^{1.78} \quad P_H = 60.6 [mm]$$

- Umbral de valores atípicos bajos (x_L en unidades logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - K_n * s_x = 1.4671 - 2.912 * 0.1083 = 1.15$$

Precipitación mínima aceptada

$$P_L = 10^{x_L} = 10^{1.15} \quad P_L = 14.2 [mm]$$

Se observa que todos los registros de precipitación de la estación El Alto Aeropuerto se encuentran por encima del valor de precipitación mínima aceptada y por debajo de la precipitación máxima aceptada. Por tanto, el registro no presenta valores atípicos.

4.2.8. FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES

Para la determinación de los caudales máximos de avenida se requiere proyectar los datos de precipitación conforme el periodo de retorno considerado indicado en la Tabla 1, para esto los datos del registro se ajustan a las funciones de distribución de probabilidades indicadas en 2.2.1 presentando los resultados en la Tabla 13.

Tabla 13. Ajuste de datos a funciones de distribución de probabilidades

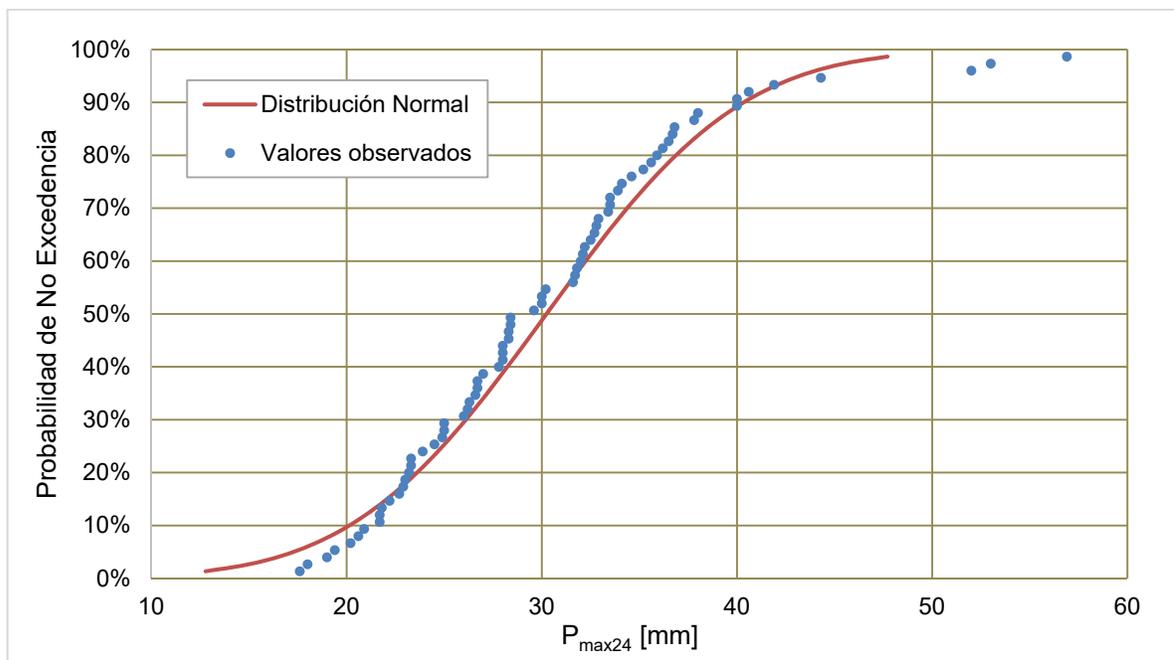
Orden	P(X>x)	P(X≤x)	T	P _{max24}	log(P)	NORMAL		LOG NORMAL		GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
						K _S	P _{Teo}	K _S	P _{Teo}						
1	0.01	0.99	75.00	56.90	1.755	2.216	47.71	2.216	50.93	2.911	53.18	2.848	52.68	2.375	52.99
2	0.03	0.97	37.50	53.00	1.724	1.932	45.47	1.932	47.45	2.365	48.88	2.347	48.74	2.041	48.76
3	0.04	0.96	25.00	52.00	1.716	1.751	44.04	1.751	45.35	2.044	46.35	2.046	46.37	1.832	46.28
4	0.05	0.95	18.75	44.30	1.646	1.613	42.96	1.613	43.82	1.814	44.54	1.828	44.65	1.676	44.51
5	0.07	0.93	15.00	41.90	1.622	1.501	42.07	1.501	42.62	1.635	43.12	1.656	43.29	1.549	43.13
6	0.08	0.92	12.50	40.60	1.608	1.405	41.31	1.405	41.61	1.487	41.96	1.513	42.17	1.442	41.99
7	0.09	0.91	10.71	40.00	1.602	1.321	40.65	1.321	40.74	1.361	40.97	1.390	41.20	1.348	41.02
8	0.11	0.89	9.38	40.00	1.602	1.244	40.05	1.244	39.97	1.251	40.10	1.283	40.35	1.264	40.17
9	0.12	0.88	8.33	38.00	1.579	1.175	39.50	1.175	39.29	1.154	39.33	1.186	39.59	1.188	39.41
10	0.13	0.87	7.50	37.80	1.577	1.111	39.00	1.111	38.66	1.066	38.64	1.099	38.90	1.117	38.73
11	0.15	0.85	6.82	36.80	1.565	1.051	38.52	1.051	38.09	0.986	38.01	1.018	38.27	1.052	38.10
12	0.16	0.84	6.25	36.70	1.564	0.994	38.08	0.994	37.56	0.912	37.43	0.944	37.68	0.991	37.53
13	0.17	0.83	5.77	36.50	1.562	0.941	37.66	0.941	37.06	0.843	36.89	0.875	37.14	0.934	36.99
14	0.19	0.81	5.36	36.20	1.558	0.890	37.26	0.890	36.60	0.779	36.39	0.811	36.63	0.879	36.50
15	0.20	0.80	5.00	35.90	1.555	0.842	36.87	0.842	36.16	0.719	35.91	0.750	36.15	0.827	36.03
16	0.21	0.79	4.69	35.60	1.551	0.795	36.51	0.795	35.74	0.663	35.47	0.692	35.70	0.777	35.58
17	0.23	0.77	4.41	35.20	1.546	0.750	36.15	0.750	35.34	0.609	35.04	0.637	35.26	0.730	35.16
18	0.24	0.76	4.17	34.60	1.539	0.706	35.81	0.706	34.96	0.558	34.64	0.585	34.85	0.684	34.76
19	0.25	0.75	3.95	34.10	1.532	0.664	35.48	0.664	34.59	0.509	34.26	0.535	34.46	0.639	34.38
20	0.27	0.73	3.75	33.90	1.530	0.623	35.15	0.623	34.24	0.463	33.89	0.487	34.08	0.596	34.01
21	0.28	0.72	3.57	33.50	1.525	0.583	34.84	0.583	33.90	0.418	33.54	0.441	33.71	0.554	33.65
22	0.29	0.71	3.41	33.50	1.525	0.544	34.53	0.544	33.57	0.375	33.20	0.396	33.36	0.513	33.31
23	0.31	0.69	3.26	33.40	1.523	0.505	34.22	0.505	33.25	0.333	32.87	0.353	33.02	0.473	32.98
24	0.32	0.68	3.13	32.90	1.517	0.468	33.93	0.468	32.94	0.293	32.55	0.311	32.69	0.434	32.66
25	0.33	0.67	3.00	32.80	1.515	0.431	33.64	0.431	32.64	0.254	32.24	0.270	32.37	0.396	32.35
26	0.35	0.65	2.88	32.70	1.514	0.394	33.35	0.394	32.34	0.216	31.94	0.231	32.06	0.359	32.05
27	0.36	0.64	2.78	32.50	1.511	0.358	33.07	0.358	32.05	0.179	31.65	0.192	31.76	0.322	31.76
28	0.37	0.63	2.68	32.20	1.507	0.323	32.79	0.323	31.77	0.143	31.37	0.155	31.46	0.285	31.47
29	0.39	0.61	2.59	32.10	1.506	0.288	32.51	0.288	31.49	0.108	31.09	0.118	31.18	0.250	31.19
30	0.40	0.60	2.50	32.00	1.505	0.253	32.24	0.253	31.22	0.074	30.82	0.082	30.89	0.214	30.92
31	0.41	0.59	2.42	31.80	1.502	0.219	31.97	0.219	30.96	0.040	30.56	0.047	30.62	0.179	30.65
32	0.43	0.57	2.34	31.70	1.501	0.185	31.70	0.185	30.70	0.007	30.30	0.013	30.34	0.145	30.39
33	0.44	0.56	2.27	31.60	1.499	0.151	31.43	0.151	30.44	-0.025	30.05	-0.021	30.08	0.111	30.13
34	0.45	0.55	2.21	30.20	1.480	0.117	31.17	0.117	30.18	-0.057	29.80	-0.054	29.82	0.077	29.88
35	0.47	0.53	2.14	30.00	1.477	0.084	30.90	0.084	29.93	-0.088	29.55	-0.087	29.56	0.043	29.63
36	0.48	0.52	2.08	30.00	1.477	0.050	30.64	0.050	29.68	-0.119	29.31	-0.119	29.30	0.009	29.38
37	0.49	0.51	2.03	29.60	1.471	0.017	30.37	0.017	29.44	-0.149	29.07	-0.151	29.05	-0.024	29.14
38	0.51	0.49	1.97	28.40	1.453	-0.017	30.11	-0.017	29.19	-0.179	28.83	-0.183	28.80	-0.058	28.90

Orden	P(X>x)	P(X≤x)	T	P _{max24}	log(P)	NORMAL		LOG NORMAL		GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
						K _S	P _{Teo}	K _S	P _{Teo}						
39	0.52	0.48	1.92	28.40	1.453	-0.050	29.85	-0.050	28.95	-0.209	28.60	-0.214	28.56	-0.091	28.66
40	0.53	0.47	1.88	28.30	1.451	-0.084	29.58	-0.084	28.71	-0.238	28.37	-0.245	28.32	-0.124	28.42
41	0.55	0.45	1.83	28.30	1.451	-0.117	29.32	-0.117	28.47	-0.267	28.14	-0.275	28.08	-0.157	28.19
42	0.56	0.44	1.79	28.00	1.447	-0.151	29.05	-0.151	28.23	-0.296	27.91	-0.305	27.84	-0.190	27.95
43	0.57	0.43	1.74	28.00	1.447	-0.185	28.79	-0.185	27.99	-0.325	27.68	-0.335	27.60	-0.224	27.72
44	0.59	0.41	1.70	28.00	1.447	-0.219	28.52	-0.219	27.76	-0.353	27.46	-0.365	27.37	-0.257	27.49
45	0.60	0.40	1.67	27.80	1.444	-0.253	28.25	-0.253	27.52	-0.382	27.23	-0.395	27.13	-0.291	27.26
46	0.61	0.39	1.63	27.00	1.431	-0.288	27.97	-0.288	27.28	-0.410	27.01	-0.425	26.90	-0.325	27.03
47	0.63	0.37	1.60	26.70	1.426	-0.323	27.70	-0.323	27.04	-0.438	26.79	-0.454	26.67	-0.359	26.81
48	0.64	0.36	1.56	26.70	1.426	-0.358	27.42	-0.358	26.81	-0.467	26.57	-0.484	26.43	-0.393	26.58
49	0.65	0.35	1.53	26.60	1.424	-0.394	27.14	-0.394	26.57	-0.495	26.34	-0.513	26.20	-0.428	26.35
50	0.67	0.33	1.50	26.30	1.420	-0.431	26.85	-0.431	26.33	-0.523	26.12	-0.542	25.97	-0.463	26.12
51	0.68	0.32	1.47	26.20	1.418	-0.468	26.56	-0.468	26.09	-0.552	25.90	-0.572	25.74	-0.498	25.89
52	0.69	0.31	1.44	26.00	1.415	-0.505	26.26	-0.505	25.84	-0.580	25.67	-0.601	25.50	-0.534	25.66
53	0.71	0.29	1.42	25.00	1.397	-0.544	25.96	-0.544	25.60	-0.609	25.44	-0.631	25.27	-0.571	25.43
54	0.72	0.28	1.39	25.00	1.397	-0.583	25.65	-0.583	25.35	-0.638	25.21	-0.661	25.03	-0.608	25.19
55	0.73	0.27	1.36	24.90	1.396	-0.623	25.33	-0.623	25.10	-0.668	24.98	-0.691	24.80	-0.646	24.95
56	0.75	0.25	1.34	24.50	1.389	-0.664	25.01	-0.664	24.84	-0.697	24.75	-0.721	24.56	-0.685	24.71
57	0.76	0.24	1.32	23.90	1.378	-0.706	24.68	-0.706	24.58	-0.727	24.51	-0.752	24.32	-0.725	24.47
58	0.77	0.23	1.29	23.30	1.367	-0.750	24.33	-0.750	24.32	-0.758	24.27	-0.783	24.07	-0.765	24.22
59	0.79	0.21	1.27	23.30	1.367	-0.795	23.98	-0.795	24.04	-0.789	24.02	-0.815	23.82	-0.808	23.97
60	0.80	0.20	1.25	23.20	1.365	-0.842	23.61	-0.842	23.77	-0.821	23.77	-0.847	23.57	-0.851	23.71
61	0.81	0.19	1.23	23.00	1.361	-0.890	23.23	-0.890	23.48	-0.854	23.52	-0.880	23.31	-0.896	23.44
62	0.83	0.17	1.21	22.90	1.359	-0.941	22.83	-0.941	23.18	-0.888	23.25	-0.913	23.05	-0.943	23.17
63	0.84	0.16	1.19	22.70	1.356	-0.994	22.41	-0.994	22.88	-0.922	22.98	-0.948	22.77	-0.992	22.89
64	0.85	0.15	1.17	22.20	1.346	-1.051	21.96	-1.051	22.56	-0.958	22.69	-0.983	22.49	-1.044	22.60
65	0.87	0.13	1.15	21.80	1.338	-1.111	21.49	-1.111	22.22	-0.996	22.39	-1.020	22.20	-1.098	22.29
66	0.88	0.12	1.14	21.70	1.336	-1.175	20.98	-1.175	21.87	-1.036	22.08	-1.059	21.90	-1.156	21.97
67	0.89	0.11	1.12	21.70	1.336	-1.244	20.44	-1.244	21.49	-1.078	21.75	-1.099	21.58	-1.219	21.63
68	0.91	0.09	1.10	20.90	1.320	-1.321	19.84	-1.321	21.09	-1.123	21.39	-1.142	21.25	-1.287	21.27
69	0.92	0.08	1.09	20.60	1.313	-1.405	19.17	-1.405	20.65	-1.172	21.00	-1.188	20.89	-1.362	20.87
70	0.93	0.07	1.07	20.20	1.305	-1.501	18.42	-1.501	20.16	-1.227	20.58	-1.237	20.49	-1.447	20.44
71	0.95	0.05	1.06	19.40	1.287	-1.613	17.53	-1.613	19.61	-1.289	20.09	-1.293	20.06	-1.545	19.94
72	0.96	0.04	1.04	19.00	1.278	-1.751	16.45	-1.751	18.95	-1.362	19.52	-1.356	19.55	-1.663	19.36
73	0.97	0.03	1.03	18.00	1.255	-1.932	15.02	-1.932	18.11	-1.454	18.79	-1.434	18.94	-1.818	18.63
74	0.99	0.01	1.01	17.60	1.245	-2.216	12.78	-2.216	16.87	-1.590	17.71	-1.541	18.10	-2.055	17.56

Donde: T = Período de retorno [años]
 $P(X > x)$ = Probabilidad de excedencia
 $P(X \leq x)$ = Probabilidad de no excedencia
 $P_{\max 24}$ = Precipitación máxima en 24 horas [mm]
 P_{Teo} = Precipitación teórica [mm]

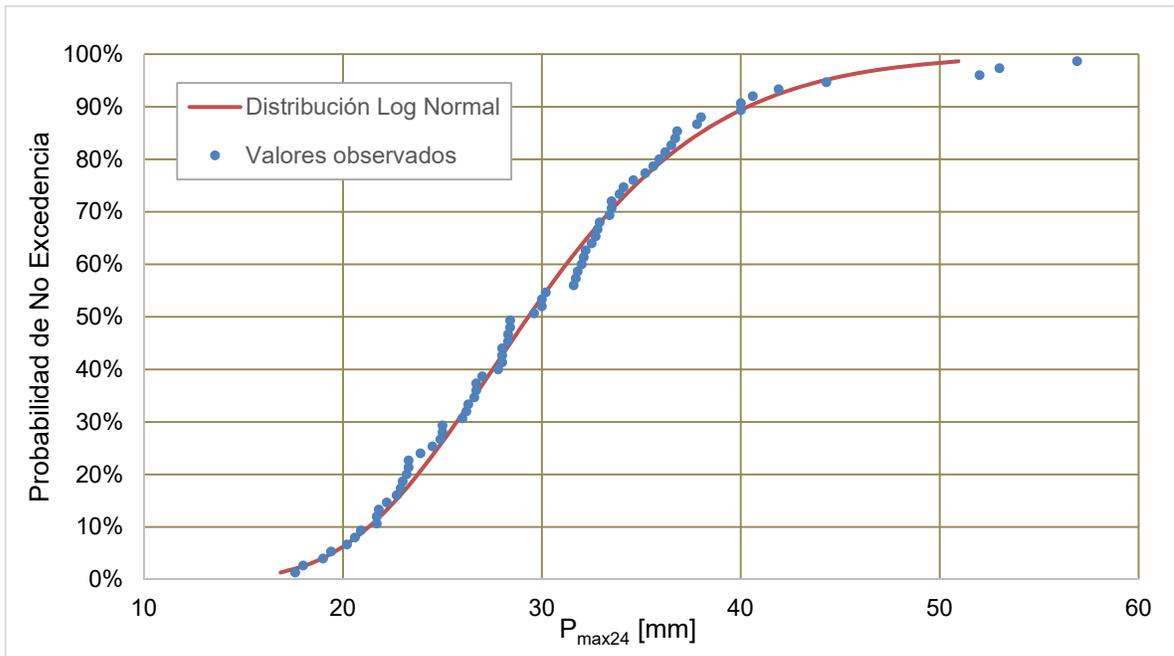
A partir de los valores calculados en la Tabla 13, en los gráficos siguientes se presenta el ajuste de los registros de precipitación a las diferentes funciones de distribución de probabilidades.

Gráfico 2. Ajuste de datos – Función de Distribución Normal



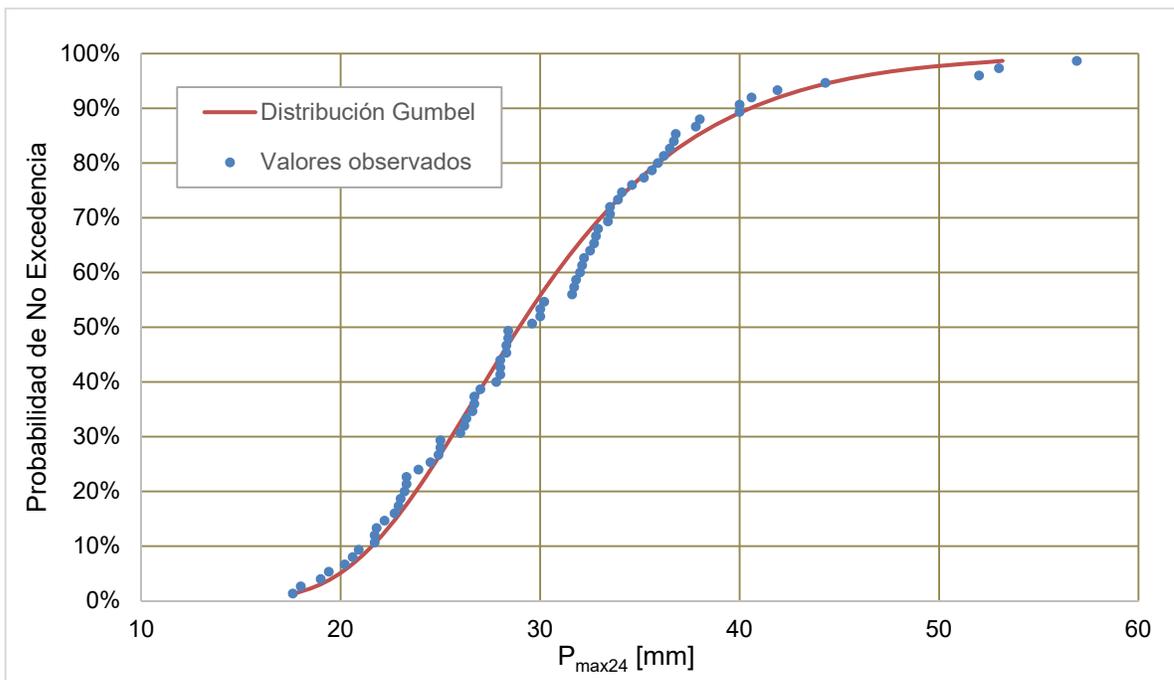
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3. Ajuste de datos – Función de Distribución Log Normal



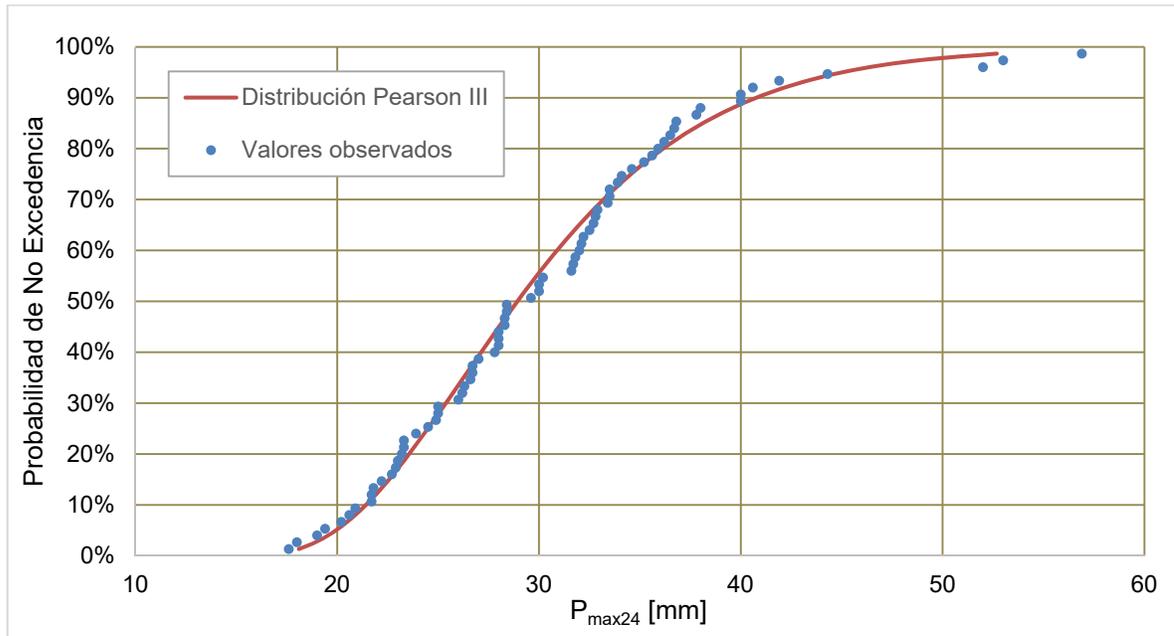
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. Ajuste de datos – Función de Distribución Gumbel



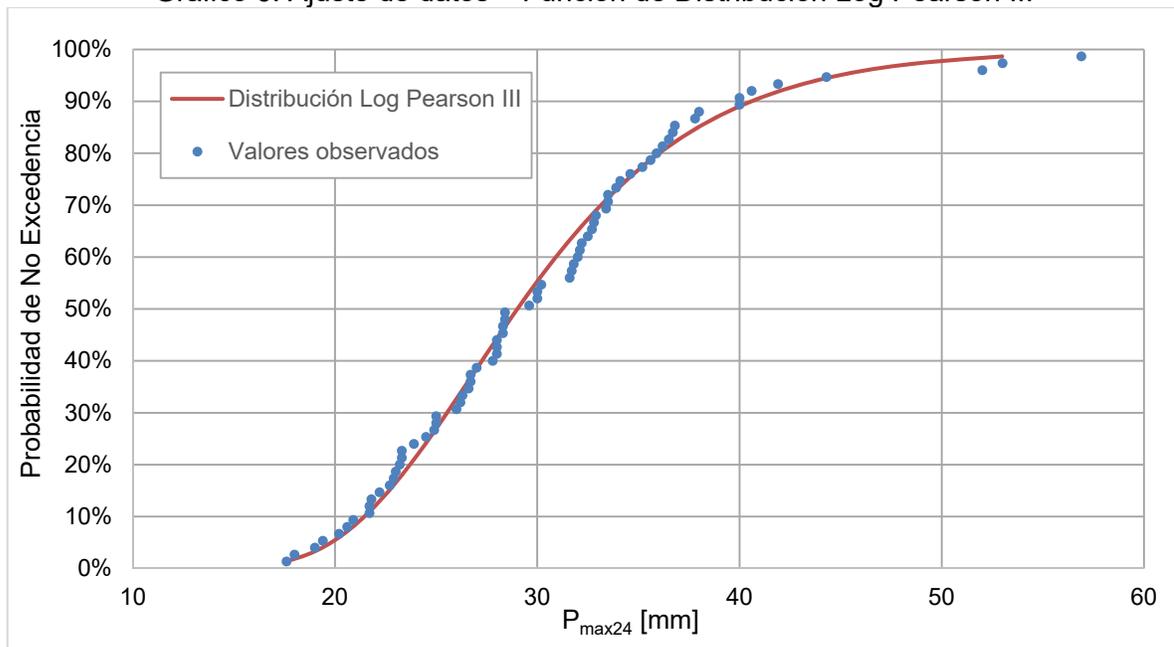
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Ajuste de datos – Función de Distribución Pearson III



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Ajuste de datos – Función de Distribución Log Pearson III



Fuente: Elaboración propia

Para identificar la distribución de probabilidades de mejor ajuste a los registros de la estación El Alto Aeropuerto, se realizó una prueba de Bondad de Ajuste utilizando el método de Kolmogorov Smirnov, mismo que se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14. Prueba de Bondad de Ajuste

Orden	P _{max24}	log(P)	P _{Emp}	NORMAL		LOG NORMAL		GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
				P _{Teo}	Dif								
1	56.90	1.7551	0.9867	0.9996	0.0130	0.9961	0.0094	0.9898	0.0031	0.9956	0.0089	0.9926	0.0059
2	53.00	1.7243	0.9733	0.9981	0.0247	0.9912	0.0179	0.9816	0.0083	0.9908	0.0174	0.9860	0.0127
3	52.00	1.7160	0.9600	0.9971	0.0371	0.9893	0.0293	0.9787	0.0187	0.9889	0.0289	0.9835	0.0235
4	44.30	1.6464	0.9467	0.9628	0.0161	0.9512	0.0045	0.9335	0.0132	0.9556	0.0089	0.9424	0.0043
5	41.90	1.6222	0.9333	0.9305	0.0029	0.9241	0.0092	0.9059	0.0274	0.9333	0.0001	0.9156	0.0177
6	40.60	1.6085	0.9200	0.9056	0.0144	0.9044	0.0156	0.8867	0.0333	0.9172	0.0028	0.8965	0.0235
7	40.00	1.6021	0.9067	0.8922	0.0145	0.8938	0.0129	0.8766	0.0300	0.9087	0.0020	0.8864	0.0202
8	40.00	1.6021	0.8933	0.8922	0.0011	0.8938	0.0005	0.8766	0.0167	0.9087	0.0154	0.8864	0.0069
9	38.00	1.5798	0.8800	0.8375	0.0425	0.8511	0.0289	0.8369	0.0431	0.8744	0.0056	0.8460	0.0340
10	37.80	1.5775	0.8667	0.8312	0.0354	0.8462	0.0205	0.8324	0.0343	0.8704	0.0037	0.8413	0.0254
11	36.80	1.5658	0.8533	0.7973	0.0560	0.8193	0.0341	0.8079	0.0455	0.8488	0.0046	0.8159	0.0374
12	36.70	1.5647	0.8400	0.7937	0.0463	0.8164	0.0236	0.8053	0.0347	0.8464	0.0064	0.8132	0.0268
13	36.50	1.5623	0.8267	0.7864	0.0402	0.8105	0.0162	0.7999	0.0267	0.8417	0.0150	0.8076	0.0190
14	36.20	1.5587	0.8133	0.7752	0.0382	0.8014	0.0119	0.7917	0.0216	0.8343	0.0210	0.7991	0.0143
15	35.90	1.5551	0.8000	0.7636	0.0364	0.7920	0.0080	0.7832	0.0168	0.8267	0.0267	0.7902	0.0098
16	35.60	1.5514	0.7867	0.7517	0.0350	0.7822	0.0045	0.7744	0.0123	0.8188	0.0321	0.7809	0.0057
17	35.20	1.5465	0.7733	0.7353	0.0380	0.7686	0.0047	0.7622	0.0112	0.8077	0.0344	0.7681	0.0052
18	34.60	1.5391	0.7600	0.7098	0.0502	0.7471	0.0129	0.7428	0.0172	0.7901	0.0301	0.7477	0.0123
19	34.10	1.5328	0.7467	0.6877	0.0589	0.7280	0.0186	0.7257	0.0210	0.7744	0.0278	0.7296	0.0170
20	33.90	1.5302	0.7333	0.6787	0.0546	0.7201	0.0132	0.7186	0.0147	0.7679	0.0346	0.7221	0.0112
21	33.50	1.5250	0.7200	0.6603	0.0597	0.7039	0.0161	0.7040	0.0160	0.7544	0.0344	0.7067	0.0133
22	33.50	1.5250	0.7067	0.6603	0.0464	0.7039	0.0028	0.7040	0.0027	0.7544	0.0477	0.7067	0.0000
23	33.40	1.5237	0.6933	0.6557	0.0377	0.6997	0.0064	0.7002	0.0069	0.7509	0.0576	0.7027	0.0094
24	32.90	1.5172	0.6800	0.6320	0.0480	0.6784	0.0016	0.6810	0.0010	0.7330	0.0530	0.6822	0.0022
25	32.80	1.5159	0.6667	0.6272	0.0395	0.6740	0.0073	0.6770	0.0103	0.7293	0.0626	0.6780	0.0114
26	32.70	1.5145	0.6533	0.6224	0.0309	0.6696	0.0162	0.6730	0.0197	0.7256	0.0722	0.6738	0.0204
27	32.50	1.5119	0.6400	0.6127	0.0273	0.6606	0.0206	0.6649	0.0249	0.7180	0.0780	0.6652	0.0252
28	32.20	1.5079	0.6267	0.5981	0.0286	0.6469	0.0202	0.6524	0.0258	0.7063	0.0796	0.6519	0.0253
29	32.10	1.5065	0.6133	0.5931	0.0202	0.6422	0.0289	0.6482	0.0349	0.7023	0.0889	0.6474	0.0341
30	32.00	1.5051	0.6000	0.5882	0.0118	0.6375	0.0375	0.6440	0.0440	0.6983	0.0983	0.6429	0.0429
31	31.80	1.5024	0.5867	0.5783	0.0084	0.6281	0.0414	0.6353	0.0487	0.6901	0.1034	0.6337	0.0471
32	31.70	1.5011	0.5733	0.5733	0.0000	0.6233	0.0499	0.6310	0.0576	0.6860	0.1126	0.6291	0.0558
33	31.60	1.4997	0.5600	0.5684	0.0084	0.6184	0.0584	0.6266	0.0666	0.6818	0.1218	0.6244	0.0644
34	30.20	1.4800	0.5467	0.4978	0.0489	0.5476	0.0009	0.5613	0.0147	0.6191	0.0724	0.5550	0.0084
35	30.00	1.4771	0.5333	0.4877	0.0456	0.5370	0.0037	0.5515	0.0181	0.6095	0.0762	0.5446	0.0112
36	30.00	1.4771	0.5200	0.4877	0.0323	0.5370	0.0170	0.5515	0.0315	0.6095	0.0895	0.5446	0.0246
37	29.60	1.4713	0.5067	0.4675	0.0392	0.5156	0.0089	0.5314	0.0248	0.5899	0.0832	0.5233	0.0166

Orden	P _{max24}	log(P)	P _{Emp}	NORMAL		LOG NORMAL		GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
				P _{Teo}	Dif	P _{Teo}	Dif	P _{Teo}	Dif	P _{Teo}	Dif	P _{Teo}	Dif
38	28.40	1.4533	0.4933	0.4075	0.0858	0.4495	0.0438	0.4688	0.0246	0.5275	0.0342	0.4569	0.0364
39	28.40	1.4533	0.4800	0.4075	0.0725	0.4495	0.0305	0.4688	0.0112	0.5275	0.0475	0.4569	0.0231
40	28.30	1.4518	0.4667	0.4026	0.0641	0.4439	0.0228	0.4634	0.0033	0.5221	0.0555	0.4512	0.0154
41	28.30	1.4518	0.4533	0.4026	0.0507	0.4439	0.0094	0.4634	0.0101	0.5221	0.0688	0.4512	0.0021
42	28.00	1.4472	0.4400	0.3879	0.0521	0.4271	0.0129	0.4472	0.0072	0.5057	0.0657	0.4341	0.0059
43	28.00	1.4472	0.4267	0.3879	0.0387	0.4271	0.0004	0.4472	0.0205	0.5057	0.0790	0.4341	0.0075
44	28.00	1.4472	0.4133	0.3879	0.0254	0.4271	0.0137	0.4472	0.0339	0.5057	0.0924	0.4341	0.0208
45	27.80	1.4440	0.4000	0.3783	0.0217	0.4158	0.0158	0.4363	0.0363	0.4946	0.0946	0.4226	0.0226
46	27.00	1.4314	0.3867	0.3403	0.0464	0.3708	0.0159	0.3923	0.0056	0.4491	0.0624	0.3764	0.0103
47	26.70	1.4265	0.3733	0.3265	0.0469	0.3540	0.0193	0.3756	0.0023	0.4317	0.0583	0.3590	0.0143
48	26.70	1.4265	0.3600	0.3265	0.0335	0.3540	0.0060	0.3756	0.0156	0.4317	0.0717	0.3590	0.0010
49	26.60	1.4249	0.3467	0.3219	0.0248	0.3484	0.0018	0.3701	0.0234	0.4258	0.0791	0.3532	0.0065
50	26.30	1.4200	0.3333	0.3084	0.0250	0.3318	0.0016	0.3534	0.0201	0.4081	0.0748	0.3359	0.0025
51	26.20	1.4183	0.3200	0.3039	0.0161	0.3262	0.0062	0.3479	0.0279	0.4022	0.0822	0.3301	0.0101
52	26.00	1.4150	0.3067	0.2951	0.0116	0.3152	0.0086	0.3368	0.0302	0.3903	0.0837	0.3186	0.0119
53	25.00	1.3979	0.2933	0.2529	0.0404	0.2616	0.0317	0.2821	0.0112	0.3305	0.0372	0.2622	0.0312
54	25.00	1.3979	0.2800	0.2529	0.0271	0.2616	0.0184	0.2821	0.0021	0.3305	0.0505	0.2622	0.0178
55	24.90	1.3962	0.2667	0.2488	0.0178	0.2564	0.0103	0.2768	0.0101	0.3245	0.0578	0.2567	0.0100
56	24.50	1.3892	0.2533	0.2330	0.0203	0.2359	0.0174	0.2555	0.0022	0.3006	0.0472	0.2350	0.0184
57	23.90	1.3784	0.2400	0.2104	0.0296	0.2064	0.0336	0.2245	0.0155	0.2650	0.0250	0.2036	0.0364
58	23.30	1.3674	0.2267	0.1891	0.0376	0.1785	0.0481	0.1949	0.0318	0.2302	0.0035	0.1739	0.0528
59	23.30	1.3674	0.2133	0.1891	0.0242	0.1785	0.0348	0.1949	0.0184	0.2302	0.0169	0.1739	0.0394
60	23.20	1.3655	0.2000	0.1857	0.0143	0.1741	0.0259	0.1901	0.0099	0.2245	0.0245	0.1691	0.0309
61	23.00	1.3617	0.1867	0.1790	0.0077	0.1653	0.0214	0.1807	0.0060	0.2132	0.0265	0.1598	0.0269
62	22.90	1.3598	0.1733	0.1757	0.0023	0.1610	0.0123	0.1760	0.0027	0.2076	0.0343	0.1552	0.0181
63	22.70	1.3560	0.1600	0.1692	0.0092	0.1525	0.0075	0.1669	0.0069	0.1965	0.0365	0.1462	0.0138
64	22.20	1.3464	0.1467	0.1537	0.0070	0.1324	0.0142	0.1451	0.0016	0.1696	0.0230	0.1249	0.0218
65	21.80	1.3385	0.1333	0.1420	0.0086	0.1174	0.0159	0.1287	0.0047	0.1491	0.0157	0.1090	0.0243
66	21.70	1.3365	0.1200	0.1391	0.0191	0.1138	0.0062	0.1247	0.0047	0.1441	0.0241	0.1052	0.0148
67	21.70	1.3365	0.1067	0.1391	0.0325	0.1138	0.0072	0.1247	0.0180	0.1441	0.0374	0.1052	0.0015
68	20.90	1.3201	0.0933	0.1179	0.0245	0.0874	0.0059	0.0955	0.0021	0.1065	0.0132	0.0776	0.0157
69	20.60	1.3139	0.0800	0.1105	0.0305	0.0785	0.0015	0.0856	0.0056	0.0937	0.0137	0.0685	0.0115
70	20.20	1.3054	0.0667	0.1012	0.0346	0.0676	0.0010	0.0735	0.0068	0.0777	0.0110	0.0574	0.0093
71	19.40	1.2878	0.0533	0.0844	0.0311	0.0489	0.0045	0.0526	0.0007	0.0501	0.0032	0.0388	0.0145
72	19.00	1.2788	0.0400	0.0768	0.0368	0.0410	0.0010	0.0438	0.0038	0.0387	0.0013	0.0313	0.0087
73	18.00	1.2553	0.0267	0.0601	0.0334	0.0252	0.0015	0.0263	0.0004	0.0171	0.0096	0.0170	0.0097
74	17.60	1.2455	0.0133	0.0543	0.0410	0.0204	0.0070	0.0210	0.0076	0.0112	0.0022	0.0129	0.0004
				D _{max}	0.0858		0.0584		0.0666		0.1218		0.0644
				D _{crit} > D _{max}	Ok		Ok		Ok		Ok		Ok

Donde: P_{Emp} = Probabilidad empírica

P_{Teo} = Probabilidad teórica

$Dif = |P_{Teo} - P_{Emp}|$

D_{max} = Diferencia máxima entre la probabilidad teórica y probabilidad empírica

D_{crit} = Diferencia crítica para un grado de significancia

Considerando un nivel de confianza del 95% y entonces una significancia del 5% para el tamaño de registro con el que se cuenta tenemos que $D_{crit} = 0.1552$, en este caso se observa que la diferencia máxima entre probabilidad teórica y empírica de todas las funciones de distribución de probabilidades es menor a la diferencia crítica, por lo que todas las funciones se ajustan correctamente a los registros de la Estación El Alto Aeropuerto. Asimismo, observamos que las funciones de distribución de probabilidades Gumbel y Log Normal las que presentan las menores diferencias, siendo esta última la utilizada en el proyecto.

4.2.9. PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE

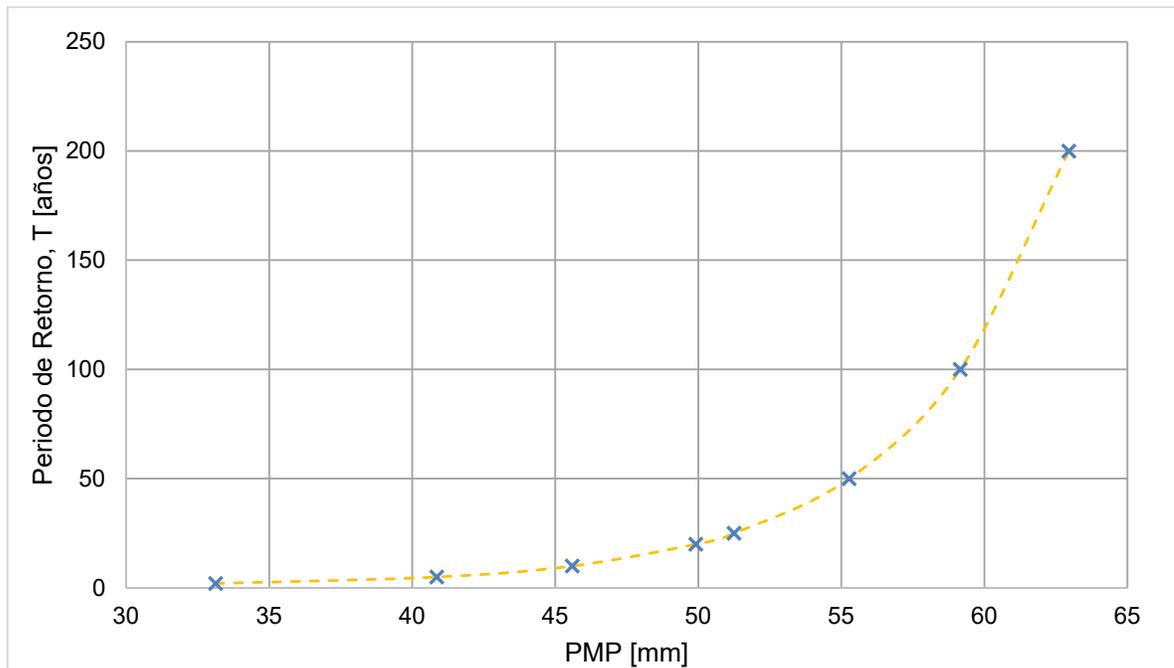
La precipitación máxima probable se determina de acuerdo con lo indicado en 2.2.1 considerando la función de distribución de probabilidades de Gumbel. Asimismo, dado que los datos registrados en la estación El Alto Aeropuerto corresponden a mediciones puntuales realizadas dos veces por día, se corrige el valor calculado por un factor de 1.13 que recomienda la OMM (Organización Mundial de Meteorología). Los resultados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Precipitación Máxima Probable

T [años]	P(X>x)	P(X≤x)	NORMAL		LOG NORMAL		GUMBEL		PEARSON III		Log PEARSON III		PMP [mm]	PMP (Corr) [mm]
			K_s	x_T	K_s	x_T	K_s	x_T	K_s	x_T	K_s	x_T		
2	0.500	0.500	0.000	30.24	0.000	29.31	-0.164	28.95	-0.167	28.93	-0.041	29.02	29.31	33.12
5	0.200	0.800	0.842	36.87	0.842	36.16	0.719	35.91	0.750	36.15	0.827	36.03	36.16	40.86
10	0.100	0.900	1.282	40.34	1.282	40.35	1.305	40.52	1.335	40.76	1.305	40.58	40.35	45.59
20	0.050	0.950	1.645	43.20	1.645	44.17	1.866	44.94	1.878	45.04	1.712	44.91	44.17	49.91
25	0.040	0.960	1.751	44.04	1.751	45.35	2.044	46.35	2.046	46.37	1.832	46.28	45.35	51.25
50	0.020	0.980	2.054	46.43	2.054	48.91	2.592	50.67	2.557	50.39	2.183	50.51	48.91	55.27
100	0.010	0.990	2.326	48.57	2.326	52.35	3.137	54.96	3.052	54.29	2.506	54.74	52.35	59.15
200	0.005	0.995	2.576	50.54	2.576	55.71	3.679	59.23	3.536	58.10	2.807	59.01	55.71	62.95

A partir de los resultados de Precipitación Máxima Probable corregida se elabora el gráfico 7 que presenta la relación entre la Precipitación Máxima Probable y el Periodo de Retorno.

Gráfico 7. Precipitación Máxima Probable vs Periodo de Retorno



Fuente: Elaboración propia

4.2.10. CURVAS INTENSIDAD FRECUENCIA DURACION

Para la determinación de las curvas Intensidad Frecuencia Duración, previamente se desagregó los registros de precipitación que corresponde a un día (24 horas) utilizando los coeficientes de desagregación indicados en la Tabla 16.

Tabla 16. Coeficientes de desagregación de precipitación

Horas	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Coefficiente	0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Considerando los datos calculados de Precipitación Máxima Probable presentados en el Tabla 15 y los coeficientes de desagregación de precipitación mostrada en la Tabla 16, se determinaron los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno.

Tabla 17. Precipitación Máxima Probable desagregada

Duración [hr]	Periodo de Retorno [años]							
	2	5	10	20	25	50	100	200
24	33.12	40.86	45.59	49.91	51.25	55.27	59.15	62.95
18	30.14	37.18	41.49	45.42	46.63	50.29	53.83	57.28
12	26.50	32.68	36.47	39.93	41.00	44.21	47.32	50.36
8	22.52	27.78	31.00	33.94	34.85	37.58	40.22	42.81
6	20.21	24.92	27.81	30.45	31.26	33.71	36.08	38.40
5	18.88	23.29	25.99	28.45	29.21	31.50	33.72	35.88
4	17.22	21.24	23.71	25.95	26.65	28.74	30.76	32.73
3	15.24	18.79	20.97	22.96	23.57	25.42	27.21	28.96
2	12.92	15.93	17.78	19.47	19.99	21.55	23.07	24.55
1	9.94	12.26	13.68	14.97	15.37	16.58	17.75	18.88

A partir de los datos de precipitación y la duración desagregada se determinó la intensidad máxima que se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Intensidad Máxima [mm/hr]

Duración [min]	Periodo de Retorno [años]							
	2	5	10	20	25	50	100	200
1440	1.38	1.70	1.90	2.08	2.14	2.30	2.46	2.62
1080	1.67	2.07	2.30	2.52	2.59	2.79	2.99	3.18
720	2.21	2.72	3.04	3.33	3.42	3.68	3.94	4.20
480	2.82	3.47	3.88	4.24	4.36	4.70	5.03	5.35
360	3.37	4.15	4.64	5.07	5.21	5.62	6.01	6.40
300	3.78	4.66	5.20	5.69	5.84	6.30	6.74	7.18
240	4.31	5.31	5.93	6.49	6.66	7.18	7.69	8.18
180	5.08	6.26	6.99	7.65	7.86	8.47	9.07	9.65
120	6.46	7.97	8.89	9.73	9.99	10.78	11.54	12.28
60	9.94	12.26	13.68	14.97	15.37	16.58	17.75	18.88

Considerando los datos de la Tabla 18 y por medio de una regresión lineal múltiple se determina la ecuación Intensidad Frecuencia Duración.

$$i_{max} = 122.166 \frac{T^{0.1343}}{D^{0.6164}}$$

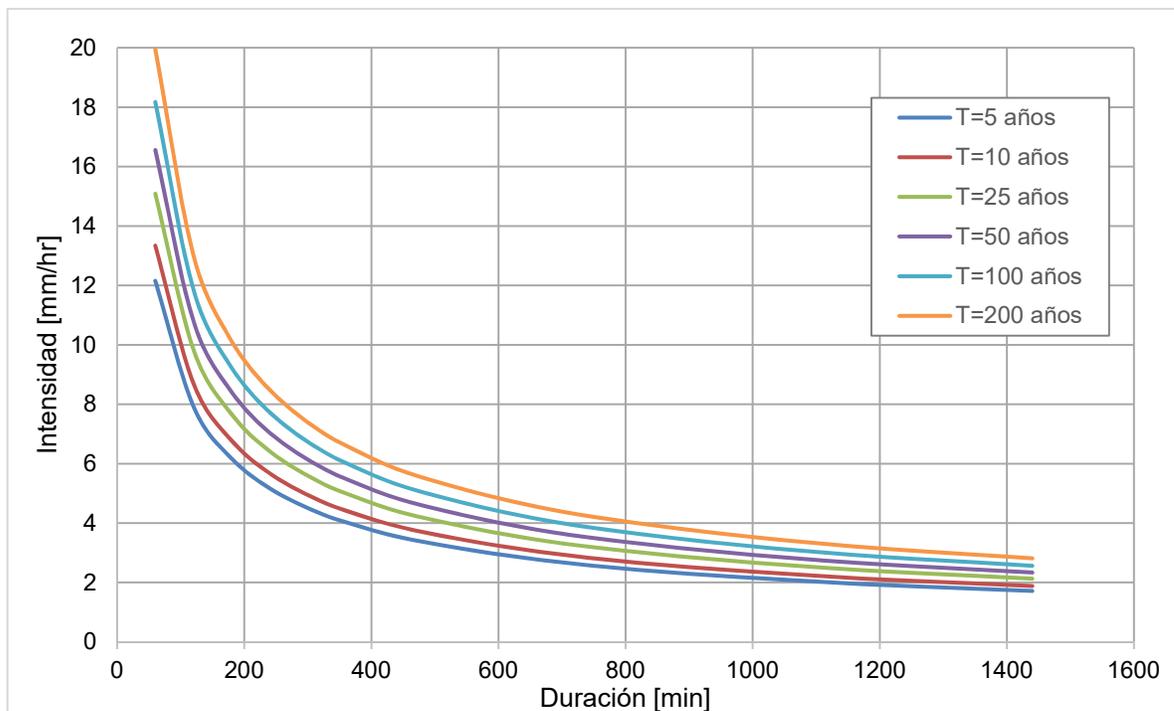
Donde: i_{\max} = Intensidad máxima [mm/hr]
 T = Periodo de Retorno [años]
 D = Duración de precipitación [min]

Utilizando la ecuación de Intensidad Frecuencia Duración antes determinada se construye la Tabla 19 y finalmente se elaboran las curvas IDF en un gráfico de escala aritmética como escala logarítmica.

Tabla 19. Intensidad Máxima [mm/hr]

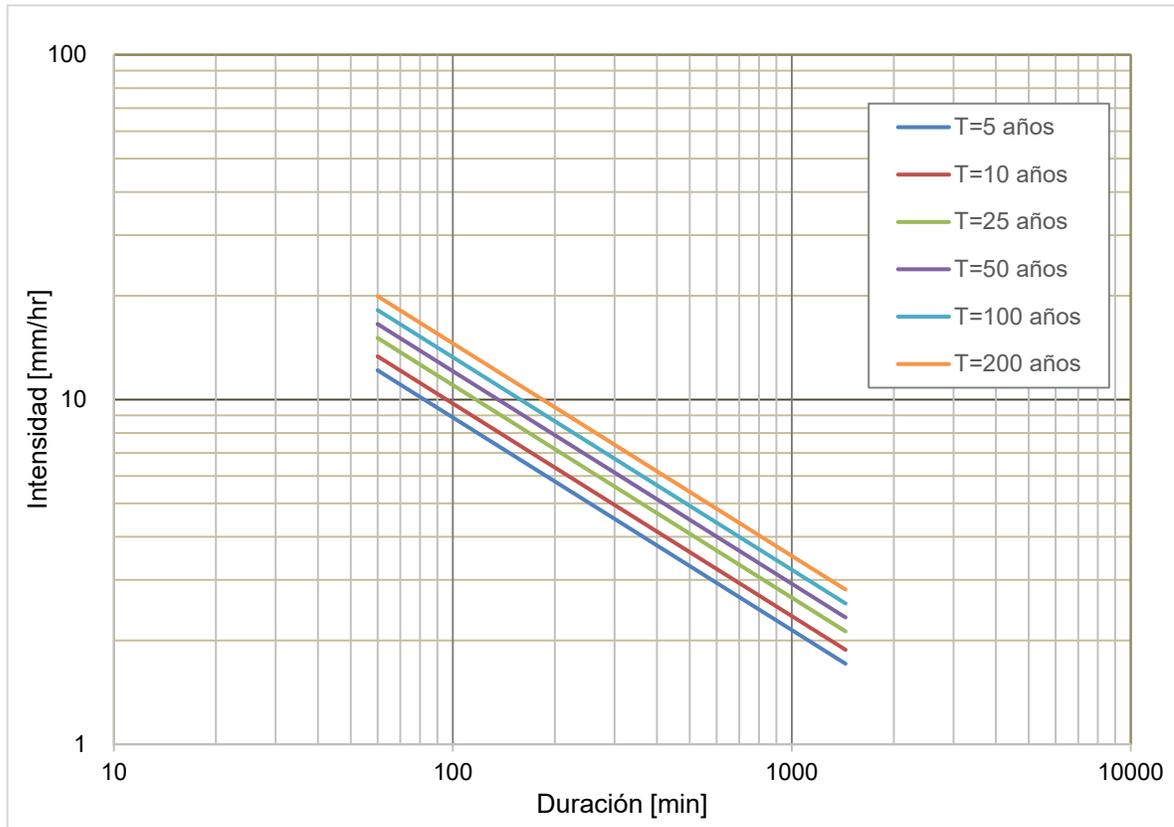
T [años]	Duración [min]									
	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
5	12.16	7.93	6.18	5.17	4.51	4.03	3.37	2.63	2.05	1.71
10	13.34	8.70	6.78	5.68	4.95	4.42	3.70	2.88	2.25	1.88
25	15.09	9.84	7.66	6.42	5.59	5.00	4.19	3.26	2.54	2.13
50	16.56	10.80	8.41	7.05	6.14	5.49	4.60	3.58	2.79	2.33
100	18.17	11.85	9.23	7.73	6.74	6.02	5.04	3.93	3.06	2.56
200	19.95	13.01	10.13	8.49	7.40	6.61	5.54	4.31	3.36	2.81

Gráfico 8. Curvas Intensidad Frecuencia Duración - IDF



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9. Curvas Intensidad Frecuencia Duración - IDF



Fuente: Elaboración propia

4.2.11. CAUDAL MÁXIMO DE AVENIDA

Para la determinación del caudal máximo de avenida se recurre al modelo HEC-HMS mismo que requiere principalmente el ingreso de los datos de precipitación en forma de Hietograma, para esto se recurre al método de Bloques Alternos considerando periodos de retorno de 50 y 100 años conforme indica la Tabla 1.

Asimismo, el modelo HEC-HMS requiere la selección de un método de cálculo de pérdidas por infiltración como una metodología de transformación precipitación en escorrentía P-Q, para nuestro caso se considera el método de la Soil Conservation Service SCS, tanto para la determinación de la infiltración como de transformación P-Q.

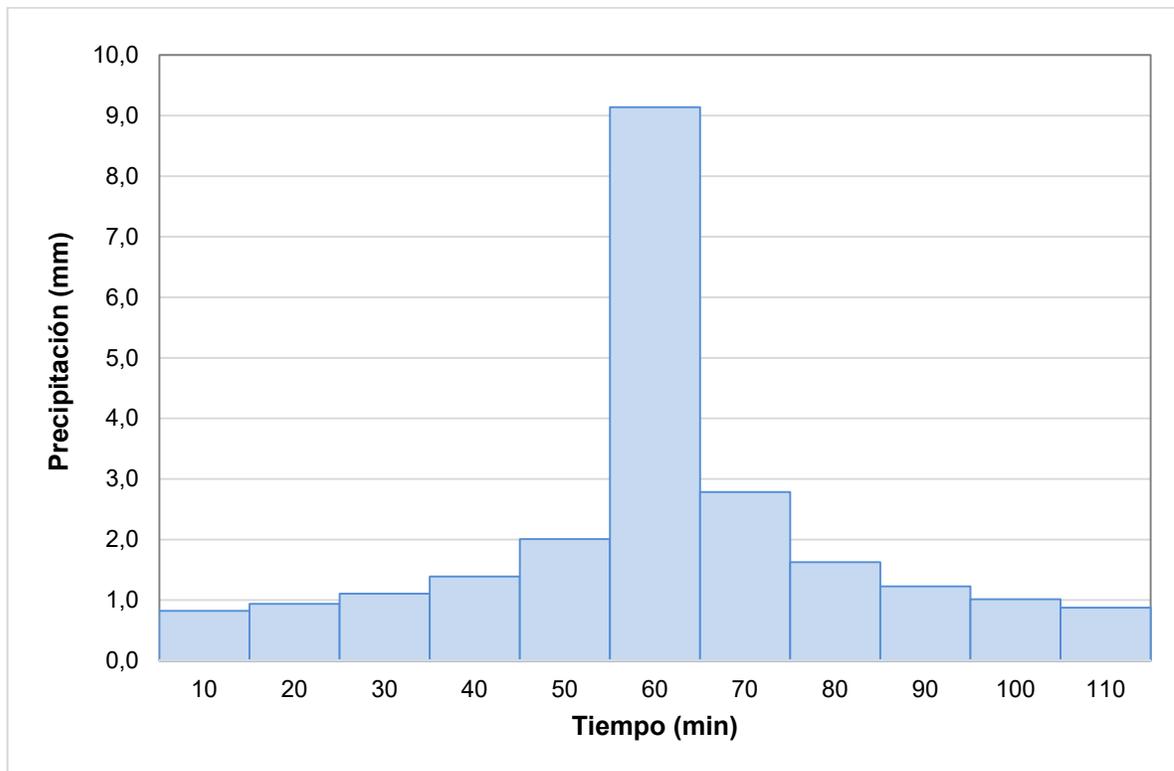
De acuerdo al Plan Maestro de Drenaje Pluvial de la ciudad de El Alto, a la cuenca del río Larkajauira le corresponde un número de curva CN = 95 y Imp.= 0%.

Tabla 20. Cálculo del hietograma para T = 100 años

Tiempo (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación Acum. (mm)	Precipitación (mm)	Tormenta de diseño (mm)
10	54.84	9.14	9.14	0.82
20	35.77	11.92	2.78	0.94
30	27.86	13.93	2.01	1.11
40	23.33	15.56	1.63	1.39
50	20.33	16.95	1.39	2.01
60	18.17	18.17	1.23	9.14
70	16.53	19.28	1.11	2.78
80	15.22	20.29	1.01	1.63
90	14.15	21.23	0.94	1.23
100	13.26	22.11	0.88	1.01
110	12.51	22.93	0.82	0.88

A partir de la Tabla 20 se construye el Hietograma para un periodo de retorno de 100 años.

Gráfico 10. Hietograma para T = 100 años



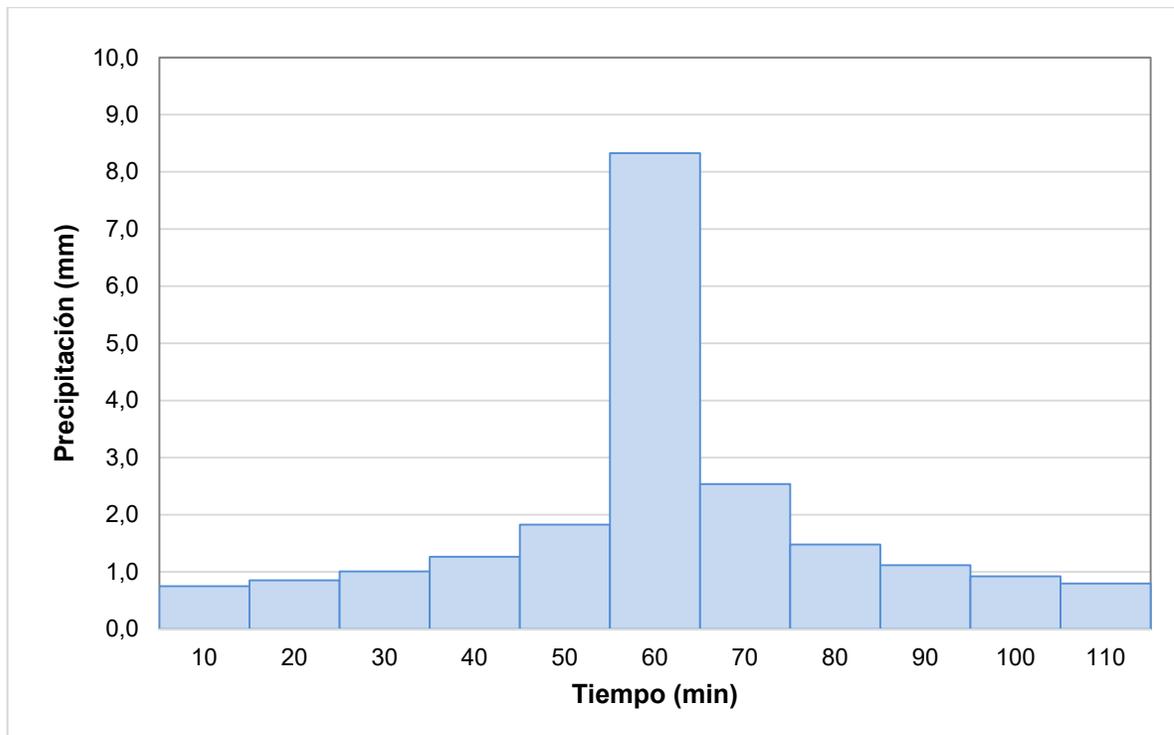
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Cálculo del hietograma para T = 50 años

Tiempo (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación Acum. (mm)	Precipitación (mm)	Tormenta de diseño (mm)
10	49.96	8.33	8.33	0.75
20	32.59	10.86	2.54	0.85
30	25.38	12.69	1.83	1.01
40	21.26	14.17	1.48	1.27
50	18.53	15.44	1.27	1.83
60	16.56	16.56	1.12	8.33
70	15.06	17.57	1.01	2.54
80	13.87	18.49	0.92	1.48
90	12.90	19.35	0.85	1.12
100	12.09	20.14	0.80	0.92
110	11.40	20.89	0.75	0.80

A partir de la Tabla 21 se construye el Hietograma para un periodo de retorno de 50 años.

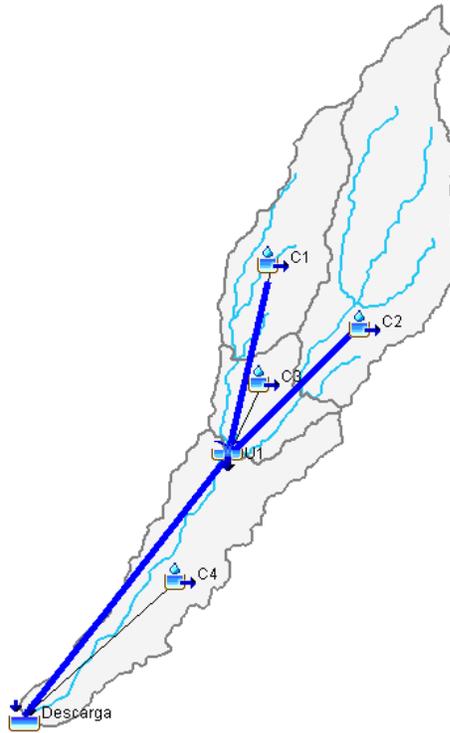
Gráfico 11. Hietograma para T = 50 años



Fuente: Elaboración propia

Con base en la cuenca y subcuencas definidas a partir del modelo digital de elevación, se definió el modelo en HEC-HMS como se observa en la figura 4.

Figura 4. Modelo hidrológico en HEC-HMS



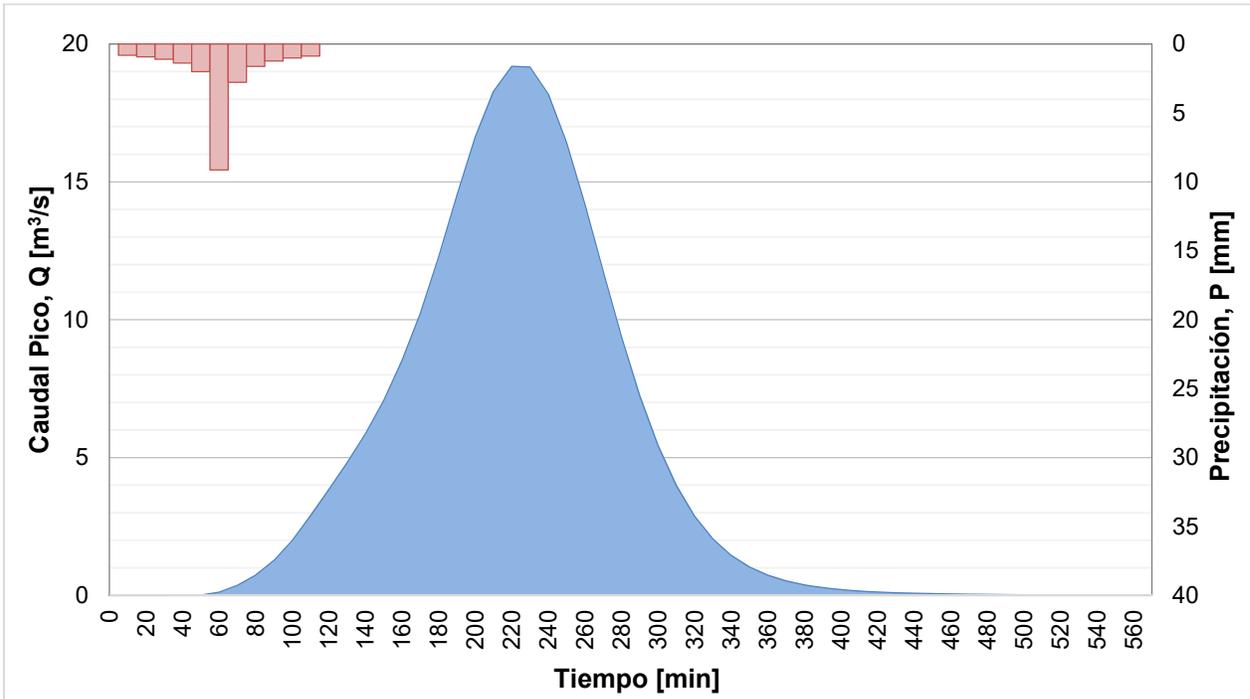
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22 se presenta los resultados del modelo hidrológico para la cuenca y subcuencas definidas considerando los periodos de retorno $T=100$ años y $T=50$ años.

Tabla 22. Resultados Modelo Hidrológico

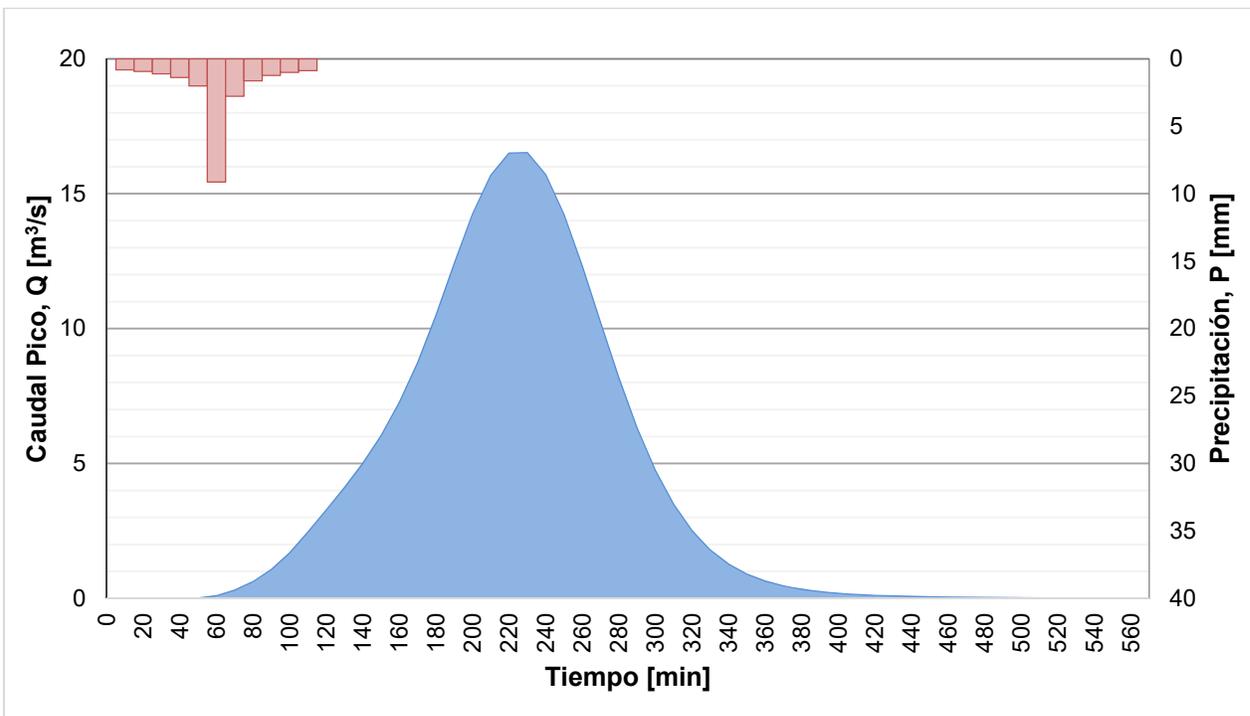
Sub-Cuenca Unión	A (km ²)	T = 50 años		T = 100 años	
		Qd (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Qd (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)
C1	2.30	7.76	8.15	9.05	9.50
C2	4.94	12.59	13.22	14.61	15.34
C3	1.26	5.41	5.68	6.32	6.34
U1	8.50	19.91	20.90	23.22	24.38
C4	3.53	4.53	4.76	5.26	5.52
Descarga	12.03	16.52	17.35	19.19	20.15

Gráfico 12. Hidrograma de Avenida T = 100 años



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13. Hidrograma de Avenida T = 50 años



Fuente: Elaboración propia

4.3. MODELO HIDRÁULICO

El modelo hidráulico del río Larkajauira se realizó en el modelo HEC-RAS mismo que requiere como datos de ingreso los siguientes:

- Secciones transversales del Río
- Caudales Pico o caudales máximos de avenida
- Rugosidad del cauce del río
- Obras hidráulicas que modifican la sección del río (Puentes, canales, alcantarillas)

4.3.1. SECCIONES TRANSVERSALES

Las secciones transversales se obtuvieron a partir del modelo digital de terreno DTM, que forma parte del Plan Maestro de Drenaje Pluvial de El Alto, mismo que fue previamente procesado en el software ARCMAP y posteriormente se obtuvieron las secciones transversales en el aplicativo RAS MAPPER que pertenece a HEC RAS. En la figura XX se aprecia una vista de las secciones obtenidas del río Larkajauira en una longitud de 8 km medidos desde la intersección del eje del río y el límite del Distrito 14.

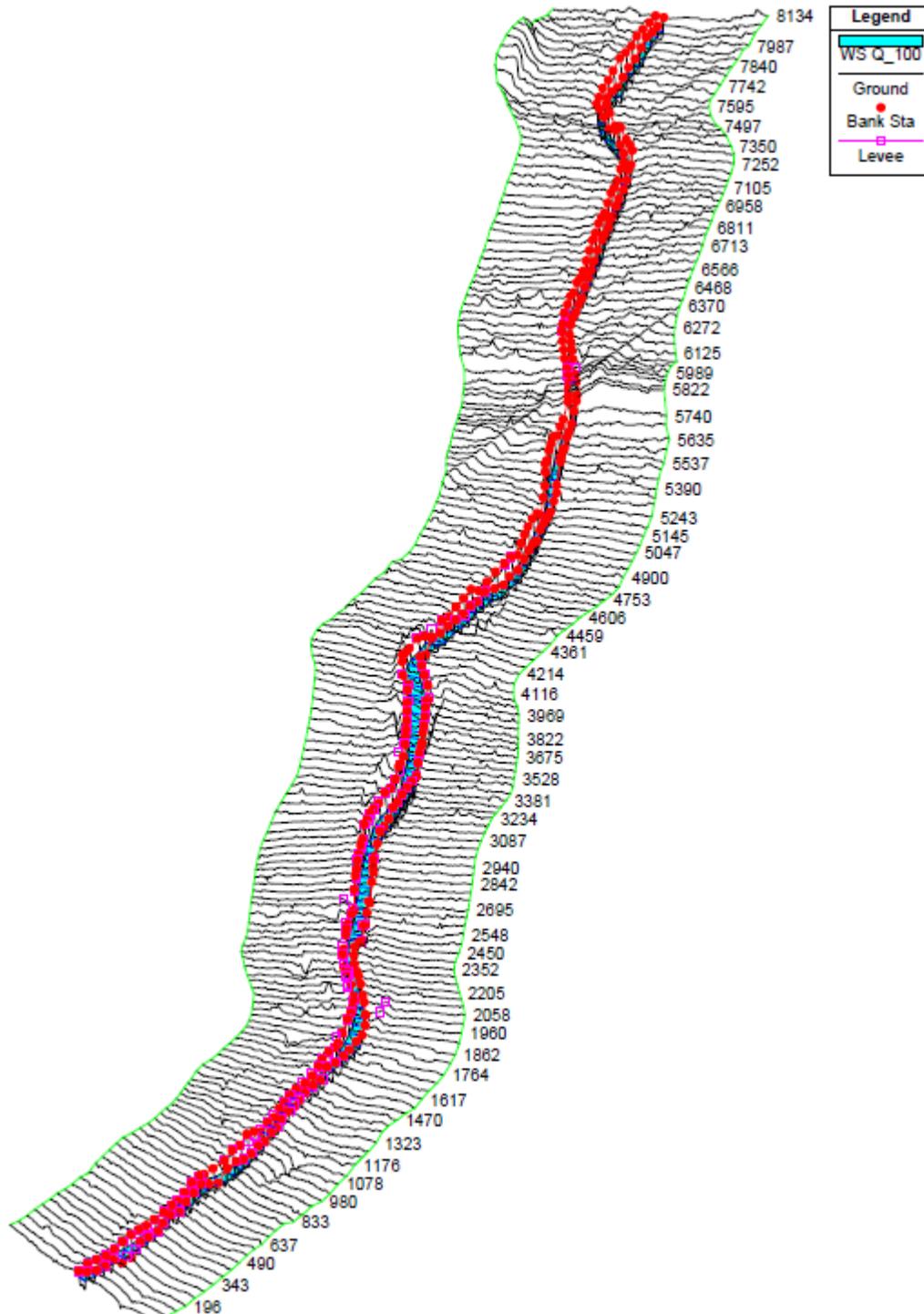
4.3.2. RUGOSIDAD DEL CAUCE Y CANALES

Como parte de los datos de ingreso al software HEC RAS se tiene los coeficientes de rugosidad de Manning 'n' de los diferentes tramos. En el proyecto se considera 3 zonas específicas con diferentes rugosidades, a decir:

- Sección del río canalizada (Mampostería de piedra) $n = 0.025$
- Sección del río sin revestir (Cauce natural con material granular de fondo) $n = 0.030$
- Llanuras de inundación (Sin vegetación) $n = 0.050$

Los valores anteriores corresponden a los recomendados para la modelación hidráulica por Chow (2004).

Figura 5. Secciones tansversales río Larkajauira



Fuente: Elaboración propia

4.3.3. OBRAS HIDRÁULICAS QUE MODIFICAN EL CAUCE DEL RÍO

En el caso de las obras hidráulicas que modifican la sección del río, mediante trabajo de campo se realizó el levantamiento de los detalles planialtimétricos que inciden en el cauce del río, el levantamiento de campo se sistematizó en fichas de levantamiento que se presentan en el Anexo 1. En las figuras siguientes se presenta imágenes del trabajo realizado.

Figura 6. Puente peatonal levantado



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Puente vehicular levantado



Fuente: Elaboración propia

4.3.4. RESULTADOS DEL MODELO HIDRAULICO

Como resultado de la modelación hidráulica se han obtenido los niveles máximos que alcance el nivel del río Larkajauira debido a los caudales de máxima avenida para periodos de retorno de 50 y 100 años.

La modelación se realizó considerando dos tramos de análisis, siendo estos los tramos del río Larkajauira que no están embovedados, el Tramo 1 corresponde al comprendido entre el punto de descarga (límite D14 y eje río Larkajauira) y la salida del embovedado ubicado en inmediaciones de oficinas de la empresa RALCORP (Ver Anexo 1). El segundo tramo corresponde al comprendido entre la Avenida hacia Copacabana y el ingreso al embovedado del río ubicado en las inmediaciones del Cementerio Bautista Saavedra.

En la tabla 23, se puede observar los resultados tabulados de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 100 años para el tramo 1. En la citada tabla se puede observar la columna 'Ancho de Río', que establece el ancho total del cauce del río para el caudal de máximo de avenida, se observa además que este ancho es variable y en general supera la separación entre las orillas naturales del Río Larkajauira, por lo que se confirma la existencia de áreas inundadas.

Tabla 23. Resultados modelación hidráulica Tramo 1 – Río Larkajauira

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Área mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
8134	20.15	3964.74	3965.60	3966.24	0.014511	3.54	5.69	8.53	1.39
8085	20.15	3964.54	3965.55	3966.02	0.009443	3.05	6.62	8.79	1.12
8036	20.15	3964.44	3965.30	3965.85	0.012475	3.27	6.16	9.38	1.29
7987	20.15	3963.50	3964.32	3965.50	0.033098	4.82	4.18	7.27	2.03
7938	20.15	3963.33	3964.10	3964.99	0.024363	4.17	4.84	8.36	1.75
7889	20.15	3962.90	3963.91	3964.63	0.017164	3.75	5.38	8.27	1.48
7840	20.15	3962.90	3963.78	3964.37	0.012885	3.39	5.94	8.63	1.31
7791	20.15	3962.01	3962.68	3963.97	0.042935	5.04	4.00	8.04	2.28
7742	20.15	3961.71	3963.17	3963.38	0.003015	2.05	9.83	9.98	0.66
7693	20.15	3961.65	3962.87	3963.29	0.007561	2.87	7.02	8.57	1.01
7644	20.15	3961.53	3962.51	3963.13	0.012894	3.48	5.79	7.89	1.3
7595	20.15	3961.31	3962.17	3962.89	0.018222	3.75	5.37	8.73	1.53
7546	20.15	3961.01	3961.85	3962.58	0.022439	3.8	5.3	10.1	1.68
7497	20.15	3960.57	3961.51	3962.22	0.024645	3.73	5.4	11.38	1.73

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Área mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
7448	20.15	3960.39	3961.26	3961.88	0.018122	3.47	5.81	10.73	1.5
7399	20.15	3960.34	3961.10	3961.63	0.012442	3.22	6.25	9.73	1.28
7350	20.15	3959.95	3960.86	3961.43	0.01404	3.32	6.07	9.63	1.33
7301	20.15	3959.75	3960.98	3961.28	0.004635	2.41	8.38	9.07	0.8
7252	20.15	3959.63	3960.75	3961.18	0.007577	2.89	6.96	8.28	1.01
7203	20.15	3959.59	3960.55	3961.05	0.008858	3.12	6.46	7.73	1.09
7154	20.15	3958.78	3959.44	3960.72	0.04164	5.01	4.02	7.88	2.24
7105	20.15	3958.60	3959.43	3960.17	0.017672	3.82	5.28	8.1	1.51
7056	20.15	3958.48	3959.62	3959.98	0.005595	2.67	7.55	8.12	0.88
7007	20.15	3958.34	3959.44	3959.88	0.007458	2.93	6.87	7.91	1.01
6958	20.15	3958.18	3959.08	3959.71	0.013754	3.52	5.72	8.14	1.34
6909	20.15	3958.16	3959.18	3959.60	0.007008	2.85	7.07	8.2	0.98
6860	20.15	3958.11	3959.07	3959.49	0.007379	2.88	6.99	8.25	1
6811	20.15	3957.16	3957.87	3959.18	0.040249	5.08	3.97	7.54	2.23
6762	20.15	3957.23	3958.02	3958.65	0.013721	3.53	5.72	8.11	1.34
6713	20.15	3957.04	3958.04	3958.48	0.007481	2.91	6.91	8.05	1
6664	20.15	3956.94	3957.85	3958.35	0.009354	3.13	6.45	7.99	1.11
6615	20.15	3956.79	3957.62	3958.18	0.011552	3.33	6.06	8.33	1.25
6566	20.15	3956.59	3957.47	3958.01	0.010811	3.25	6.19	8.4	1.21
6517	20.15	3956.41	3957.42	3957.85	0.007565	2.89	6.97	8.49	1.02
6468	20.15	3956.36	3957.21	3957.71	0.010406	3.13	6.44	9.12	1.19
6419	20.15	3956.21	3957.19	3957.59	0.007451	2.81	7.17	9.03	1.01
6370	20.15	3955.96	3957.14	3957.44	0.004996	2.46	8.19	9.29	0.84
6321	20.15	3955.93	3956.94	3957.35	0.007054	2.82	7.14	8.5	0.98
6272	20.15	3955.87	3956.72	3957.22	0.009753	3.11	6.48	8.53	1.14
6223	20.15	3954.95	3955.62	3956.89	0.035446	4.98	4.05	7.08	2.1
6174	20.15	3954.60	3955.22	3956.33	0.033063	4.67	4.32	7.94	2.02
6125	20.15	3954.43	3955.68	3955.95	0.003616	2.3	8.76	8.32	0.72
6076	20.15	3954.29	3955.71	3955.88	0.001983	1.81	11.11	9.75	0.54
6026	20.15	3954.19	3955.69	3955.85	0.001825	1.8	11.21	9.27	0.52
5989	20.15	3954.04	3955.69	3955.82	0.001337	1.61	12.53	9.55	0.45
5953	20.15	3953.86	3955.70	3955.80	0.000985	1.43	14.1	9.96	0.38
5885	Puente Vehicular								
5822	20.15	3952.31	3953.22	3954.13	0.032164	4.22	4.77	7.71	1.71
5740	20.15	3952.16	3953.44	3953.85	0.010452	2.87	7.02	8.47	1.01
5682	20.15	3952.11	3953.22	3953.66	0.011057	2.94	6.85	8.41	1.04
5635	20.15	3952.04	3953.03	3953.49	0.012887	3.02	6.68	8.97	1.12
5586	20.15	3951.97	3952.74	3953.26	0.018327	3.19	6.32	10.38	1.3
5537	20.15	3951.85	3952.62	3952.99	0.012522	2.68	7.51	12	1.08
5488	20.15	3951.59	3952.23	3952.72	0.023483	3.12	6.46	13.25	1.43
5439	20.15	3951.47	3952.22	3952.54	0.010795	2.51	8.04	12.68	1.01
5390	20.15	3951.15	3952.08	3952.34	0.007501	2.23	9.02	12.74	0.85
5341	20.15	3950.99	3951.85	3952.20	0.010534	2.6	7.75	11.24	1
5292	20.15	3950.66	3951.57	3952.00	0.015043	2.92	6.91	11.07	1.18
5243	20.15	3950.62	3951.43	3951.81	0.011379	2.72	7.42	10.67	1.04
5194	20.15	3950.33	3951.24	3951.63	0.012012	2.77	7.27	10.61	1.07

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Área mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
5145	20.15	3950.15	3951.02	3951.44	0.013428	2.84	7.09	10.87	1.12
5096	20.15	3950.13	3950.79	3951.22	0.015845	2.89	6.97	11.88	1.2
5047	20.15	3949.74	3950.56	3950.97	0.016581	2.81	7.17	13.13	1.22
4998	20.15	3949.62	3950.28	3950.70	0.019398	2.85	7.07	14.4	1.3
4949	20.15	3949.32	3950.22	3950.49	0.008359	2.31	8.72	12.77	0.89
4900	20.15	3949.21	3950.01	3950.34	0.010743	2.53	7.95	12.34	1.01
4851	20.15	3948.91	3949.64	3950.11	0.021357	3.04	6.63	13.06	1.36
4802	20.15	3948.67	3949.45	3949.80	0.015461	2.61	7.73	15	1.16
4753	20.15	3948.43	3949.30	3949.59	0.011912	2.39	8.43	15.41	1.03
4704	20.15	3948.31	3948.86	3949.30	0.03058	2.96	6.8	18.55	1.56
4655	20.15	3947.89	3948.85	3948.99	0.004466	1.65	12.21	18.73	0.65
4606	20.15	3947.82	3948.65	3948.89	0.008326	2.15	9.37	15.29	0.88
4557	20.15	3947.76	3948.46	3948.74	0.010635	2.33	8.65	15.29	0.99
4508	20.15	3947.49	3948.12	3948.52	0.019175	2.79	7.21	14.97	1.28
4459	20.15	3947.30	3947.95	3948.25	0.013422	2.43	8.31	16.44	1.09
4410	20.15	3946.96	3947.80	3948.08	0.011022	2.35	8.59	15.29	1
4361	20.15	3946.68	3947.32	3947.79	0.033566	3.02	6.67	18.96	1.62
4312	20.15	3946.71	3947.42	3947.57	0.005225	1.72	11.71	19.02	0.7
4263	20.15	3946.33	3947.15	3947.44	0.010144	2.43	8.31	13.23	0.98
4214	20.15	3946.23	3946.75	3947.19	0.027884	2.94	6.85	17.7	1.51
4165	20.15	3946.06	3946.72	3946.99	0.011181	2.31	8.72	16.18	1
4116	20.15	3945.75	3946.27	3946.70	0.035931	2.89	6.98	22.44	1.65
4067	20.15	3945.33	3945.97	3946.25	0.020631	2.33	8.65	25.28	1.27
4018	20.15	3945.06	3945.54	3945.87	0.032508	2.51	8.04	29.74	1.54
3969	20.15	3944.80	3945.49	3945.69	0.011442	1.96	10.29	25.13	0.98
3920	20.15	3944.37	3944.95	3945.40	0.031483	2.95	6.82	19.14	1.58
3871	20.15	3944.14	3944.78	3945.06	0.013174	2.33	8.66	18.08	1.07
3822	20.15	3943.66	3944.40	3944.78	0.025466	2.74	7.35	19.61	1.43
3773	20.15	3943.50	3944.31	3944.55	0.010672	2.19	9.21	17.9	0.97
3724	20.15	3943.43	3944.07	3944.37	0.013864	2.39	8.43	17.48	1.1
3675	20.15	3943.15	3943.78	3944.12	0.018566	2.58	7.82	17.99	1.25
3626	20.15	3942.99	3943.61	3943.88	0.011966	2.31	8.72	16.88	1.03
3577	20.15	3942.69	3943.43	3943.71	0.011907	2.34	8.62	16.5	1.03
3528	20.15	3942.49	3943.13	3943.48	0.018675	2.61	7.72	17.6	1.26
3479	20.15	3942.30	3942.94	3943.23	0.013023	2.37	8.51	17.09	1.07
3430	20.15	3942.02	3942.74	3943.03	0.013585	2.39	8.45	17.32	1.09
3381	20.15	3941.80	3942.54	3942.83	0.012539	2.39	8.43	16.19	1.06
3332	20.15	3941.48	3942.21	3942.59	0.02014	2.72	7.41	16.81	1.31
3283	20.15	3941.26	3942.13	3942.36	0.01106	2.12	9.51	19.86	0.98
3234	20.15	3941.31	3941.89	3942.16	0.015406	2.31	8.74	20.75	1.13
3185	20.15	3940.99	3941.90	3942.05	0.004804	1.68	11.98	18.94	0.68
3136	20.15	3940.82	3941.65	3941.93	0.010619	2.33	8.64	15.11	0.99
3087	20.15	3940.66	3941.54	3941.74	0.006646	1.98	10.2	15.99	0.79
3038	20.15	3940.47	3941.47	3941.65	0.004872	1.88	10.71	14.37	0.7
2989	20.15	3940.39	3941.23	3941.53	0.010592	2.42	8.32	13.7	0.99
2940	20.15	3940.25	3940.91	3941.31	0.019519	2.8	7.18	15.15	1.3

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Área mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
2891	20.15	3940.09	3940.78	3941.06	0.012079	2.36	8.55	16.25	1.04
2842	20.15	3939.77	3940.45	3940.82	0.020697	2.7	7.47	17.49	1.32
2793	20.15	3939.59	3940.36	3940.60	0.010743	2.2	9.14	17.57	0.98
2744	20.15	3939.52	3940.23	3940.43	0.008915	2.01	10.03	19.94	0.89
2695	20.15	3939.14	3940.04	3940.28	0.010687	2.2	9.19	18.28	0.98
2646	20.15	3939.01	3939.87	3940.09	0.007699	2.05	9.83	16.52	0.85
2597	20.15	3938.88	3939.68	3939.95	0.010684	2.29	8.82	16.08	0.99
2548	20.15	3938.61	3939.29	3939.70	0.024733	2.83	7.11	17.64	1.42
2499	20.15	3938.55	3939.33	3939.48	0.005448	1.72	12.2	26.35	0.71
2450	20.15	3938.11	3939.23	3939.40	0.004863	1.86	10.82	14.67	0.69
2401	20.15	3938.08	3939.07	3939.31	0.006585	2.17	9.29	12.45	0.8
2352	20.15	3937.81	3938.83	3939.18	0.010181	2.62	7.71	10.68	0.98
2303	20.15	3937.68	3938.63	3939.01	0.012539	2.74	7.36	11.39	1.09
2254	20.15	3937.62	3938.63	3938.81	0.004703	1.9	10.59	13.45	0.69
2205	20.15	3937.42	3938.53	3938.74	0.004786	2	10.09	11.73	0.69
2156	20.15	3937.10	3938.25	3938.62	0.010139	2.69	7.5	9.79	0.98
2107	20.15	3937.07	3937.97	3938.43	0.015179	2.99	6.74	10.51	1.19
2058	20.15	3937.03	3937.91	3938.25	0.010129	2.59	7.79	11.06	0.98
2009	20.15	3936.84	3937.44	3937.98	0.03123	3.26	6.18	14.81	1.61
1960	20.15	3936.63	3937.27	3937.60	0.015194	2.53	7.95	16.12	1.15
1911	20.15	3936.35	3937.01	3937.35	0.019158	2.55	7.9	18.91	1.26
1862	20.15	3935.94	3936.57	3936.97	0.03338	2.79	7.23	23.15	1.59
1813	20.15	3935.71	3936.42	3936.60	0.00753	1.85	10.91	21.11	0.82
1764	20.15	3935.50	3936.27	3936.48	0.007324	2.01	10.01	16.62	0.83
1715	20.15	3935.11	3936.27	3936.39	0.002975	1.55	13.01	16.11	0.55
1666	20.15	3934.94	3936.25	3936.35	0.001909	1.41	14.34	14.18	0.45
1617	20.15	3934.71	3935.85	3936.26	0.009911	2.85	7.07	8.29	0.98
1568	20.15	3934.51	3935.78	3936.02	0.005027	2.16	9.34	10.01	0.71
1519	20.15	3934.48	3935.52	3935.90	0.009885	2.71	7.44	9.68	0.99
1470	20.15	3934.27	3935.49	3935.69	0.00409	1.96	10.27	11.1	0.65
1421	20.15	3933.80	3935.48	3935.62	0.002911	1.65	12.24	13.73	0.55
1372	20.15	3933.72	3935.44	3935.57	0.002966	1.62	12.52	14.83	0.55
1323	20.15	3933.72	3935.08	3935.47	0.010361	2.76	7.3	9.41	1
1274	20.15	3933.51	3934.70	3935.27	0.01463	3.34	6.04	7.47	1.18
1225	20.15	3933.46	3934.80	3935.02	0.006134	2.11	9.56	12.66	0.78
1176	20.15	3933.46	3934.60	3934.90	0.010787	2.4	8.38	14.07	0.99
1127	20.15	3933.12	3933.69	3934.55	0.043385	4.11	4.9	10.54	1.93
1078	20.15	3932.83	3933.60	3934.03	0.017456	2.89	6.97	12.87	1.25
1029	20.15	3932.48	3933.32	3933.76	0.018885	2.91	6.93	13.49	1.3
980	20.15	3932.15	3933.04	3933.47	0.018919	2.91	6.94	13.53	1.3
931	20.15	3932.23	3932.95	3933.23	0.011079	2.33	8.64	15.74	1.01
882	20.15	3931.92	3932.58	3932.97	0.028411	2.74	7.36	21.48	1.49
833	20.15	3931.74	3932.70	3932.81	0.004041	1.49	13.49	22.52	0.62
784	20.15	3931.58	3932.53	3932.74	0.00545	2.02	10	13	0.73
735	20.15	3931.40	3932.30	3932.62	0.010138	2.48	8.12	12.41	0.98
686	20.15	3931.11	3931.93	3932.40	0.017939	3.05	6.61	11.41	1.28

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Área mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
637	20.15	3931.09	3932.03	3932.24	0.005797	2.03	9.91	13.48	0.76
588	20.15	3930.85	3931.97	3932.16	0.004575	1.96	10.29	12.07	0.68
539	20.15	3930.57	3931.64	3932.04	0.010188	2.81	7.17	8.68	0.99
490	20.15	3930.39	3931.09	3931.77	0.031395	3.64	5.54	11.21	1.65
441	20.15	3930.39	3931.08	3931.38	0.01181	2.42	8.33	15.08	1.04
392	20.15	3930.11	3930.83	3931.18	0.014606	2.64	7.64	14.15	1.15
343	20.15	3929.86	3930.69	3930.99	0.01089	2.45	8.23	13.63	1.01
294	20.15	3929.76	3930.59	3930.76	0.005175	1.87	11.42	18.32	0.72
245	20.15	3929.48	3930.56	3930.69	0.003206	1.66	13.58	20.02	0.58
196	20.15	3929.31	3930.24	3930.59	0.01083	2.61	7.73	11.58	1.02
147	20.15	3929.25	3929.98	3930.38	0.016265	2.81	7.16	13.1	1.22
98	20.15	3928.95	3929.74	3930.14	0.015877	2.81	7.17	12.86	1.2
49	20.15	3928.70	3929.56	3929.92	0.012732	2.66	7.57	12.17	1.08

En la tabla 24, se puede observar los resultados tabulados de la modelación hidráulica para un periodo de retorno de 100 años para el tramo 2. En la citada tabla se puede observar la columna 'Ancho de Río', que establece el ancho total del cauce del río para el caudal de máximo de avenida, además que este ancho es variable se observa que en general el ancho supera la separación entre las orillas naturales del Río Larkajauira, por lo que se confirma la existencia de áreas inundadas principalmente aguas abajo en la parte final del Río Larkajauira.

Tabla 24. Resultados modelación hidráulica Tramo 2 – Río Larkajauira

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Area mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
4557	20.15	4002.92	4004.06	4004.66	0.018026	3.62	7.65	22.26	1.29
4508	20.15	4002.63	4003.31	4004.17	0.059038	4.13	4.88	13.25	2.17
4459	20.15	4002.23	4003.42	4003.48	0.001215	1.08	18.86	21.56	0.36
4410	20.15	4001.91	4003.24	4003.43	0.00429	1.95	10.36	12.69	0.66
4361	20.15	4001.46	4002.89	4003.31	0.010335	2.89	7.03	9.72	0.99
4312	20.15	4000.96	4001.88	4002.97	0.046374	4.62	4.36	8	2
4263	20.15	4000.86	4001.97	4002.46	0.012764	3.08	6.53	8.07	1.1
4214	20.15	4000.57	4001.69	4002.24	0.014677	3.28	6.14	7.87	1.19
4165	20.15	4000.32	4001.23	4001.96	0.022653	3.76	5.35	7.81	1.45
4116	20.15	3999.94	4000.98	4001.64	0.017746	3.59	5.62	7.16	1.29
4067	20.15	3999.73	4000.99	4001.4	0.010358	2.85	7.07	8.59	1

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Area mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
4018	20.15	3999.57	4000.61	4001.19	0.01687	3.35	6.01	8.4	1.27
3969	20.15	3999.32	4000.18	4000.88	0.02329	3.71	5.52	11.27	1.47
3920	20.15	3999.13	3999.83	4000.49	0.026794	3.61	5.59	10.17	1.55
3871	20.15	3998.87	4000.17	4000.3	0.002876	1.62	12.49	14.66	0.55
3822	20.15	3998.61	3999.92	4000.22	0.007656	2.49	9.75	19.96	0.86
3773	20.15	3998.34	3999.31	4000	0.021476	3.68	5.53	9.24	1.42
3724	20.15	3998.1	3999.12	3999.67	0.017339	3.3	6.13	10.2	1.28
3675	20.15	3997.96	3999.28	3999.51	0.006493	2.23	11.88	36.41	0.8
3626	20.15	3997.77	3998.39	3999.23	0.056962	4.1	5.23	18.58	2.14
3577	20.15	3997.55	3998.28	3998.61	0.020041	2.59	8.38	23.58	1.29
3528	20.15	3996.37	3996.93	3998.06	0.057517	4.71	4.28	9.27	2.21
3479	20.15	3996.02	3997.18	3997.63	0.010442	2.98	6.75	7.58	1.01
3430	20.15	3995.73	3996.6	3997.37	0.02483	3.89	5.18	7.69	1.51
3381	20.15	3995.52	3996.67	3997.1	0.010343	2.89	6.96	8.22	1
3332	20.15	3995.25	3996.22	3996.86	0.021091	3.54	5.69	8.7	1.4
3283	20.15	3994.99	3995.81	3996.49	0.028465	3.65	5.64	12.42	1.6
3234	20.15	3994.66	3995.47	3996.11	0.02201	3.56	5.74	9.76	1.43
3185	20.15	3994.35	3995.07	3995.71	0.032686	3.56	5.79	14.33	1.68
3136	20.15	3994.03	3994.89	3995.34	0.014525	3.02	7.2	15.37	1.18
3087	20.15	3993.32	3994.99	3995.08	0.001342	1.41	18.34	29.28	0.39
3038	20.15	3992.87	3994.76	3995.03	0.006998	2.4	10.64	21.12	0.81
2989	20.15	3992.04	3992.82	3994.62	0.078982	5.94	3.39	6.43	2.61
2940	20.15	3991.84	3992.99	3993.75	0.021617	3.86	5.21	6.94	1.42
2891	20.15	3991.6	3992.5	3993.34	0.034968	4.06	4.96	9.19	1.77
2842	20.15	3991.42	3992.97	3993.07	0.002085	1.41	15.39	19.77	0.47
2793	20.15	3991.05	3992.54	3992.97	0.010456	2.93	6.88	7.87	1
2744	20.15	3990.83	3992.69	3992.8	0.001799	1.53	15.19	15.88	0.45
2695	20.15	3990.65	3992.27	3992.71	0.009005	3.01	7.41	9.43	0.91
2646	20.15	3990.45	3991.42	3992.42	0.035753	4.43	4.55	7.4	1.8
2597	20.15	3990.22	3991.2	3991.82	0.027903	3.81	6.34	11.21	1.58
2548	20.15	3989.93	3990.85	3991.46	0.020167	3.46	5.82	8.97	1.37
2499	20.15	3989.43	3990.6	3991.19	0.015214	3.4	5.93	7.16	1.19
2450	20.15	3989.31	3990.2	3990.9	0.023869	3.69	5.46	8.63	1.48
2401	20.15	3989.01	3990.43	3990.65	0.00435	2.06	10.72	15.91	0.67
2352	20.15	3988.75	3990.05	3990.52	0.010408	3.05	6.61	7.02	1
2303	20.15	3988.44	3989.63	3990.3	0.017506	3.69	6.21	13.24	1.28
2254	20.15	3988.22	3989.81	3989.97	0.004078	1.97	14.1	25.69	0.64
2205	20.15	3988.07	3989.45	3989.85	0.009929	2.87	7.72	10.19	0.98
2156	20.15	3987.93	3989.06	3989.64	0.017244	3.54	6.65	10.27	1.27

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Area mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
2107	20.15	3987.83	3988.86	3989.34	0.018087	3.22	7.14	12.77	1.28
2058	20.15	3987.7	3988.74	3989.13	0.011195	2.77	7.26	10.05	1.04
2009	20.15	3987.51	3988.42	3988.92	0.015231	3.14	6.42	9.3	1.21
1960	20.15	3987.29	3987.98	3988.62	0.025547	3.53	5.71	10.26	1.51
1911	20.15	3986.9	3988.29	3988.38	0.001451	1.33	15.21	15.49	0.4
1862	20.15	3986.58	3987.97	3988.31	0.006452	2.6	7.78	8.02	0.79
1813	20.15	3986.33	3988.02	3988.18	0.003986	2.07	18.64	62.24	0.61
1764	20.15	3986.1	3987.69	3988.08	0.008144	2.87	10.42	36.87	0.83
1715	20.15	3985.75	3987.47	3987.93	0.010311	3.15	9.59	37.13	0.92
1666	20.15	3985.4	3987.24	3987.36	0.001985	1.68	20.84	63.16	0.45
1617	20.15	3985.11	3987.13	3987.31	0.003627	2.11	17.66	61.93	0.54
1568	20.15	3984.95	3985.98	3987.1	0.027622	4.83	4.6	5.46	1.63
1519	20.15	3984.71	3986.62	3986.73	0.002191	1.84	26.86	78.05	0.48
1470	20.15	3984.59	3985.98	3986.61	0.012561	3.77	6.28	5.37	1.08
1421	20.15	3984.5	3985.55	3986.37	0.018451	4.02	5.18	6.86	1.35
1372	20.15	3984.21	3985.04	3985.99	0.032901	4.32	4.67	7.32	1.73
1323	20.15	3984.04	3984.77	3985.48	0.026595	3.73	5.4	9.19	1.55
1274	20.15	3983.75	3984.68	3985.11	0.013926	2.91	7.06	14.6	1.14
1225	20.15	3983.48	3984.18	3984.8	0.029673	3.48	5.79	12.14	1.61
1176	20.15	3983.1	3983.72	3984.35	0.029734	3.51	5.74	11.83	1.61
1127	20.15	3982.94	3983.83	3984.12	0.013294	2.42	9.2	21.15	1.08
1078	20.15	3982.79	3983.5	3983.87	0.019894	2.76	7.87	19.75	1.31
1029	20.15	3982.59	3983.19	3983.55	0.022232	2.68	7.68	20.62	1.35
980	20.15	3982.28	3982.93	3983.25	0.016999	2.49	8.08	18.38	1.2
931	20.15	3981.92	3982.77	3983.09	0.010658	2.52	8.01	13.11	1
882	20.15	3981.56	3982.42	3982.86	0.022554	2.92	6.9	15.16	1.38
833	20.15	3981.32	3982.04	3982.47	0.029533	2.89	7.15	22.94	1.54
784	20.15	3980.92	3981.87	3982.14	0.012894	2.33	8.83	20.86	1.06
735	20.15	3980.72	3981.65	3981.94	0.013857	2.41	8.8	21.69	1.1
686	20.15	3980.45	3981.17	3981.65	0.024298	3.08	6.55	14.24	1.45
637	20.15	3980.16	3981.23	3981.39	0.004364	1.8	11.21	14.76	0.66
588	20.15	3979.87	3980.9	3981.28	0.010449	2.72	7.41	9.96	1.01
539	20.15	3979.63	3980.91	3981.12	0.00485	2.04	9.86	11.42	0.7
490	20.15	3979.26	3980.57	3981	0.010427	2.88	6.99	8.24	1
441	20.15	3979.09	3979.86	3980.71	0.029533	4.08	4.94	7.79	1.64
392	20.15	3978.79	3980.04	3980.46	0.010288	2.85	7.07	8.62	1.01
343	20.15	3978.57	3979.74	3980.27	0.013447	3.24	6.22	7.52	1.14
294	20.15	3978.3	3979.77	3980.11	0.007427	2.56	7.86	8.67	0.86
245	20.15	3977.94	3979.54	3979.96	0.011085	2.89	7	8.93	1.01

Estación	Q pico (m ³ /s)	Cota mínima Río (m)	Nivel Agua (m)	Cota Línea Energía (m)	Pendiente Línea Energía (m/m)	Velocidad Río (m/s)	Area mojada (m ²)	Ancho Río (m)	Fr
196	20.15	3977.8	3979.13	3979.75	0.01563	3.48	5.78	6.67	1.2
147	20.15	3977.67	3978.59	3979.42	0.026281	4.06	5.02	7.85	1.58
98	20.15	3977.53	3978.15	3978.95	0.03732	3.94	5.11	10.42	1.8
49	20.15	3977.21	3977.84	3978.34	0.032317	3.13	6.43	16.83	1.62

Los resultados anteriores se plasman en el plano de inundaciones mostrado en el Anexo 3 del presente trabajo, donde se sobrepone las llanuras de inundación determinadas sobre una imagen satelital de la zona del proyecto que permite identificar de forma clara que sectores inundables.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Como resultado del presente proyecto se arribó a las siguientes conclusiones:

- La recopilación de información muestra que en la zona del proyecto se presentan precipitaciones moderadas como se observa en los registros pluviométricos, siendo el máximo histórico de 56.9 mm de altura de precipitación.
- Debido a la carencia de información hidrométrica, los caudales máximos de avenida se han determinado a través de relaciones precipitación-escorrentía, concretamente se ha utilizado el método establecido por la SCS (Soil Conservation Service).
- Las relaciones precipitación escorrentía arrojan como resultado los siguientes caudales máximos para periodos de retorno de 50 y 100 años:

Cuenca	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
C1	8.15	9.50
C2	13.22	15.34
C3	5.68	6.34
C4	4.76	5.52
Descarga	17.35	20.15

Los mismos corresponden a las cuencas definidas para el proyecto, siendo el punto denominado 'Descarga' el punto sobre el que se generó la cuenca del proyecto, por lo que el diseño de obras de encauzamiento de drenaje pluvial debe encararse considerando estos caudales máximos de avenida.

- La determinación de las llanuras de inundación se realizó para un periodo de retorno de 100 años, el mismo indica la existencia de sectores del río Larkajauira donde el nivel del agua sobrepasa el nivel máximo de la sección natural del río invadiendo propiedades privadas, estas zonas se identifican en los planos de inundación que se encuentran en el Anexo 3.

5.2. RECOMENDACIONES

Como consecuencia de la existencia de zonas de inundación se recomienda realizar actividades para evitar o mitigar la amenaza de inundación:

- Construcción de obras de encauzamiento del río Larkajauira, considerando canales con materiales del sitio (Mampostería de Piedra), para esto se debe considerar: i) las características hidrológicas del río y los caudales máximos de avenida indicados en la Tabla 22 para un periodo de retorno de 100 años.
- Implementación del sistema de drenaje pluvial urbano que sean dirigidas al canal principal construido sobre el cauce del río Larkajauira considerando: red de drenaje pluvial, cunetas, sumideros y cámaras de inspección.
- El Gobierno Autónomo Municipal de El Alto – GAMEA debe restringir el uso de suelos en la zonas identificadas como inundables (Ver Anexo 3), principalmente en el límite del Distrito 14 con el Distrito 11, esta zona inundable se extiende en una longitud lineal sobre el cauce del río de aproximadamente 800 m.
- El Gobierno Autónomo Municipal de El Alto – GAMEA a través de las unidades correspondientes debe prohibir, bajo sanción, el arrojo de basura en el cauce del río Larkajauira.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aragón-Durand, F. (2014). Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina. *instname:Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*.
<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19850>
- Ayala, J. (2014). *Modelamiento Hidráulico Bidimensional para la determinación de planos de inundación de Quillacollo (Cochabamba—Bolivia)*.
https://www.academia.edu/10212008/Modelamiento_Hidr%C3%A1ulico_Bidimensional_para_la_determinaci%C3%B3n_de_planos_de_inundaci%C3%B3n_de_Quillacollo_Cochabamba_-_Bolivia_
- Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de investigación: (Para los Estudios formulativos o Exploratorios, Descriptivos, Diagnósticos, Evaluativos, Formulación de Hipótesis Causales, Experimentales y los Proyectos Factibles)*. Consultores Asociados BL.
- Balica, S. F., Douben, N. N., & Wright, N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.183>
- Balica, S., Popescu, I., Beevers, L., & Wright, N. (2013). Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: A comparison. *Environmental Modelling and Software*, 41, 84-92.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.002>
- BID. (2016). *Perfil de riesgo de desastres para Bolivia: Informe nacional | Publications*.
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Perfil-de-riesgo-de-desastres-para-Bolivia-Informe-nacional.pdf>
- Cabrera Alvarez, J. C., & Bermejo Franco, V. E. (2014). *Estudio Geotécnico del Distrito Municipal 14 de la Ciudad de El Alto*. 45-55. <http://iem.umsa.bo/wp->

content/uploads/2017/08/LIBRO8.pdf?fbclid=IwAR0FykDtI9VZ-npT-

ICKYSQeOHkoqnYZn6YiY_w3APRTrmfPckBApl877VY

CENEPRED. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Inundaciones Fluviales* – CENEPRED. <https://cenepred.gob.pe/web/manuales/>

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (2013). *Applied Hydrology, 2nd Edition*. McGraw-Hill Companies, Incorporated.

Clague, J. J., & Stead, D. (2012). *Landslides: Types, Mechanisms and Modeling*. Cambridge University Press.

Díez-Herrero, A., Llorente, M., Ballesteros-Canovas, J., & Ruiz-Villanueva, V. (2009). *Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales*.

Falcon, J. C., & Herrera, R. (2005, marzo). *Análisis del dato estadístico, Guía didáctica*.

https://www.google.com/search?rlz=1C1CHZL_esBO727BO727&sxsrf=ALeKk02y0fvT18zfHY2jp30BrP1BmMf4xg%3A1595005603543&ei=o9oRX5TVILq85OUIJulKA&q=AN%C3%81LISIS+DEL+DATO+ESTAD%C3%8DSTICO+falcon+herrera&oq=AN%C3%81LISIS+DEL+DATO+ESTAD%C3%8DSTICO+falcon+herrera&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzIFCCEQoAEyBQghEKABOgQIABBHOgcIIXCuAhAnOggIIRAWEB0QHjjoECCEQFToHCCEQChCgAVC_L1jXTGDZTWgAcAF4AoABrgKIAa4VkgEHMC44LjUuMZgBAKABAaoBB2d3cy13aXo&sclient=psy-ab&ved=0ahUKEwjUsqfz4tTqAhU6HrkGHZRNcQUQ4dUDCAw&uact=5

Fernandez, C., & Buss, S. (2016). *Ocurrencia y gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe: Factores claves y experiencia adquirida* | Publications.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Ocurrencia-y-gesti%C3%B3n-de-inundaciones-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-Factores-claves-y-experiencia-adquirida.pdf>

- GAMEA. (2017). *PLAN TERRITORIAL DE DESARROLLO INTEGRAL EL ALTO 2016-2020*. <http://www.elalto.gob.bo/blog/2017/04/28/plan-territorial-de-desarrollo-integral-el-alto-2016-2020/>
- GAMEA, P. (2016). *PLAN MAESTRO DE DRENAJE PLUVIAL DE EL ALTO*.
- Hernandez. (2014). *Metodología De La Investigacion* (Edición: 6). MCGRAW HILL EDUCATION.
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., Ramírez, A. I., Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: Metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(3), 5-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Herrero, A. D., Huerta, L. L., & Isidro, M. L. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración*. IGME.
- Mijares, F. J. A. (2015). *Fundamentos de hidrología de superficie* (Edición: 1). LIMUSA.
- NB 688. (2007). *Norma Diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales (Tercera revisión)*. <https://www.ibnorca.org/tienda/catalogo/detalle-norma/nb-688:2007-nid=2355-12>
- Organization (WMO), W. M., & World Meteorological Organization (WMO). (2009). *Manual on estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*. WMO.
- Reyes-Olvera, A. L., Gutiérrez-González, E., Reyes-Olvera, A. L., & Gutiérrez-González, E. (2016). Modelación del riesgo de inundaciones en el estado de Tabasco en el periodo 1961-2007. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(2), 99-114. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-24222016000200099&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- UNDRO. (1980). *Natural disasters and vulnerability analysis*: Expert Group Meeting on Vulnerability Analysis (1979 : Geneva). <http://digitallibrary.un.org/record/95986>

UNESCO-WMO. (2012). *International Glossary of Hydrology*.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862>

UNISDR. (2015). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR15) 2015 |*

UNDP in Sri Lanka. UNDP.

https://www.lk.undp.org/content/srilanka/en/home/library/environment_energy/Global-Assessment-Report-on-Disaster-Risk-Reduction-2015.html

ANEXO 1. FICHAS DE LEVANTAMIENTO

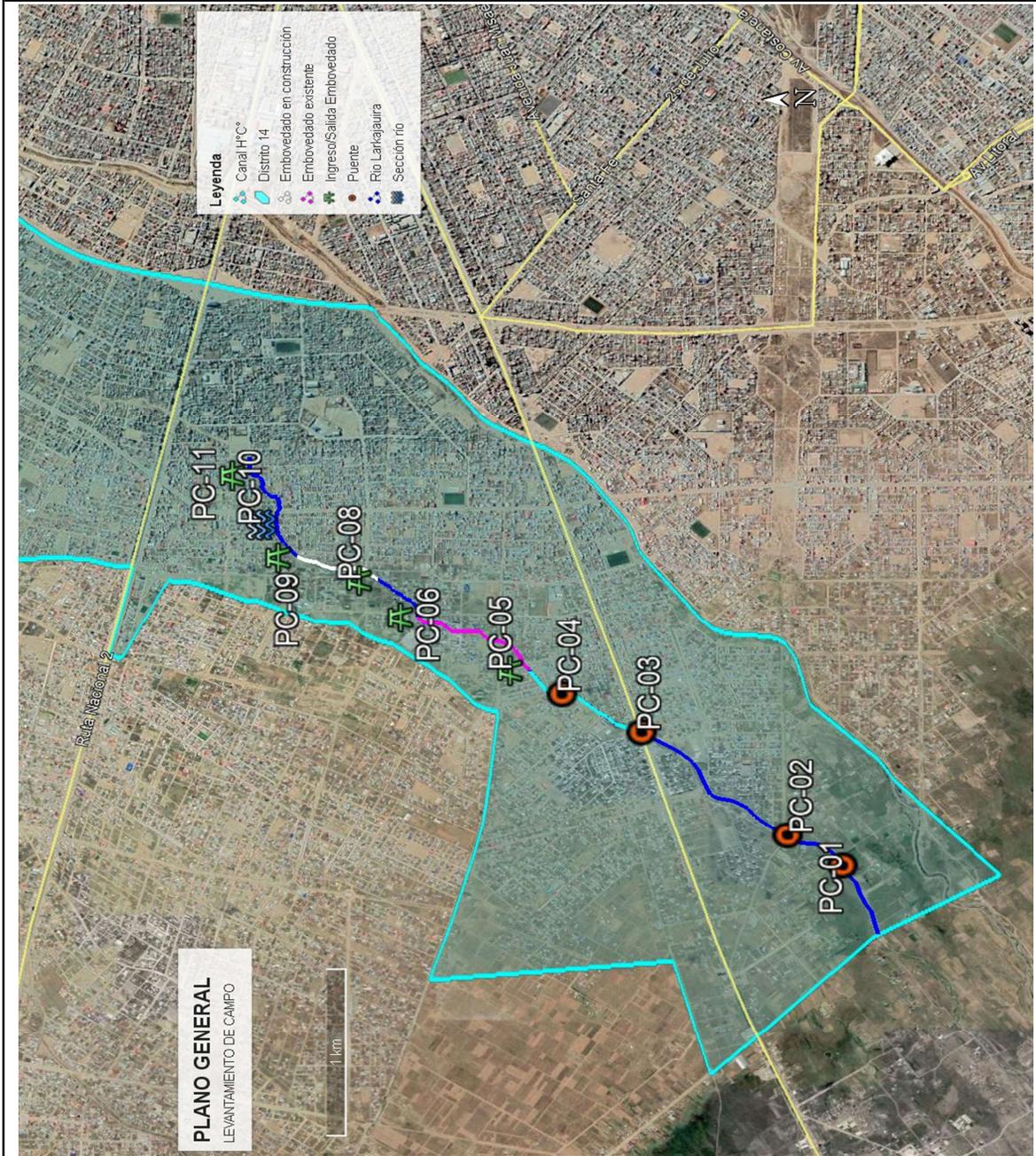


FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. PLANO GENERAL



2. RESUMEN DE LEVANTAMIENTO

PC-01	Puente peatonal de H°A°	PC-07	Sección bajo puente metálico
PC-02	Puente peatonal de Est Metalica	PC-08	Salida embovedado en construcción
PC-03	Puente vehicular de H°A°	PC-09	Entrada embovedado en construcción
PC-04	Puente vehicular de H°A°	PC-10	Sección bajo río propied privada
PC-05	Salida embovedado existente	PC-11	Salida embovedado existente
PC-06	Entrada embovedado existente		



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Puente de H°A°

Codigo:

PC-01

DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A una cuadra de la Iglesia Congregación Vida y Paz, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

5.82 m

PERALTE (D):

0.50 m

NORTE:

8174019 m

ALTURA (H):

2.76 m

NIVEL AGUA(*):

1.70 m

ESTE:

578922 m

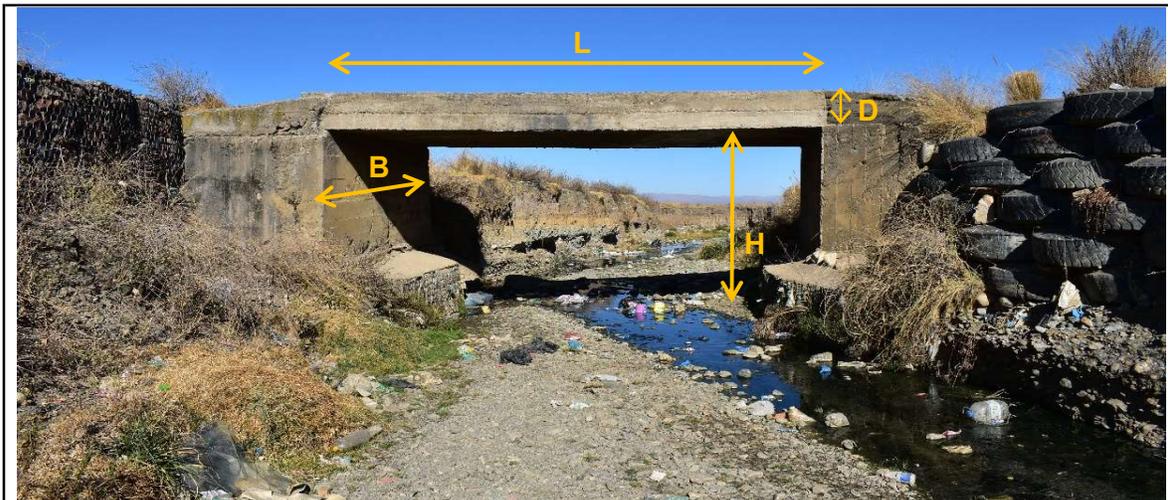
ANCHO (B):

3.96 m

COTA:

3953 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Puente losa peatonal de hormigon armado, estribos de hormigón armado. Muros de gaviones para encauzamiento del río. Lecho de río presenta material granular.

(*) Nivel máximo probable del río en la sección de control



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Puente Metálico

Codigo:

PC-02

DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A dos cuadras de la Iglesia Congregación Vida y Paz, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

6.00 m

PERALTE (D):

0.10 m

NORTE:

8174294 m

ALTURA (H):

2.90 m

NIVEL AGUA(*):

1.20 m

ESTE:

579103 m

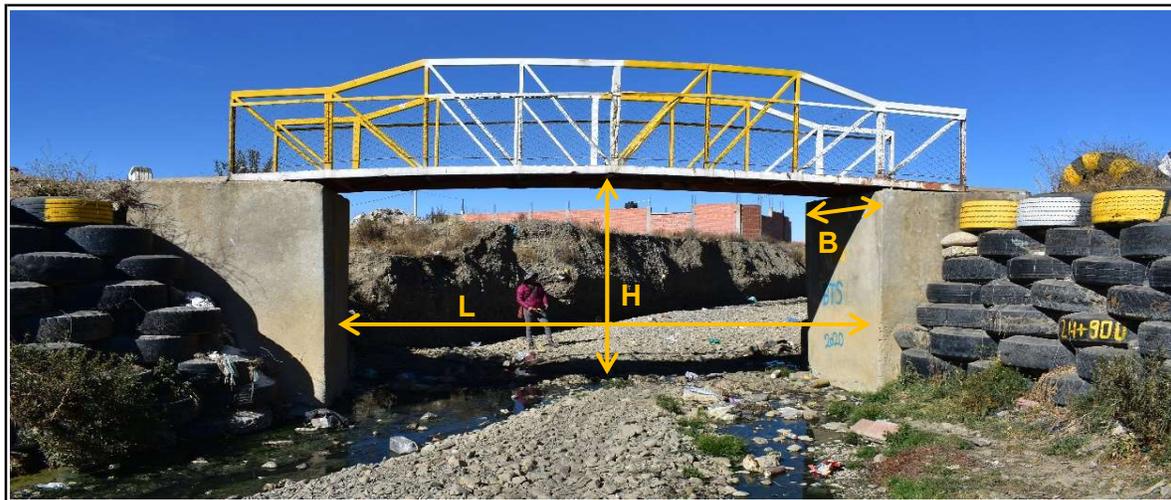
ANCHO (B):

2.02 m

COTA:

3959 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Puente peatonal de estructura metálica, estribos de hormigón armado. Muros de neumáticos para encauzamiento del río. Lecho de río presenta material granular.

(*): Nivel máximo probable del río en la sección de control



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Puente H° A°

Codigo:

PC-03

DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

Camino a Laja a dos cuadras Casa Amarilla, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

6.00 m

PERALTE (D):

0.70 m

NORTE:

8175025 m

ALTURA (H):

2.60 m

NIVEL AGUA(*):

1.70 m

ESTE:

579714 m

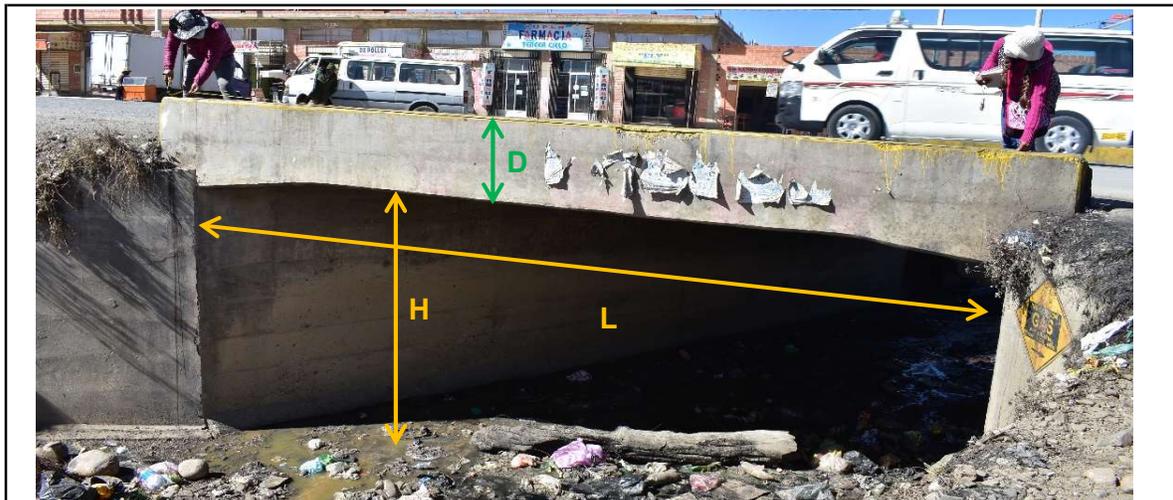
ANCHO (B):

8.00 m

COTA:

3973 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Puente cajon vehicular de Hormigón Armado, estructura de hormigón armado. Muros de H°A° para encauzamiento del río. Lecho de río presenta material de arrastre , principalmente residuos sólidos.

(* Nivel máximo probable del río en la sección de control



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Puente H° A°

Codigo:

PC-04

DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A tres cuadras Oficina RALCORP, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

4.02 m

PERALTE (D):

0.60 m

NORTE:

8175424 m

ALTURA (H):

2.53 m

NIVEL AGUA(*):

1.94 m

ESTE:

579940 m

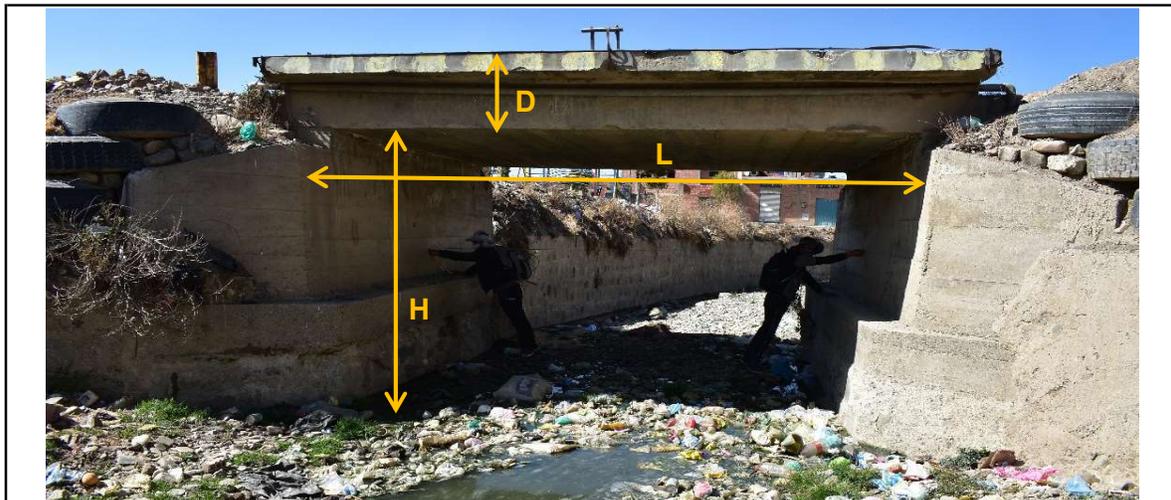
ANCHO (B):

5.43 m

COTA:

3983 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Puente losa vehicular de Hormigón Armado, estribos de hormigón armado. Lecho de río presenta material granular.
 (*) Nivel máximo probable del río en la sección de control



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Salida Embovedado

Codigo:

PC-05

DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A media cuadra de Oficina RALCORP, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

4.04 m

PERALTE (D):

0.93 m

NORTE:

8175583 m

ALTURA (H):

1.64 m

NIVEL AGUA(*):

1.12 m

ESTE:

580071 m

ANCHO (B):

-- m

COTA:

3986 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Salida de obra de conducción y encauzamiento (Embovedado). Muros laterales de Hormigón Ciclopeo. Solera Hormigón Ciclopeo, losa superior de hormigón Armado. Lecho de río presenta material de arrastre, RRSS.

(*). Nivel máximo probable del río en la sección de control



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Entrada Embovedado

Codigo:

PC-06

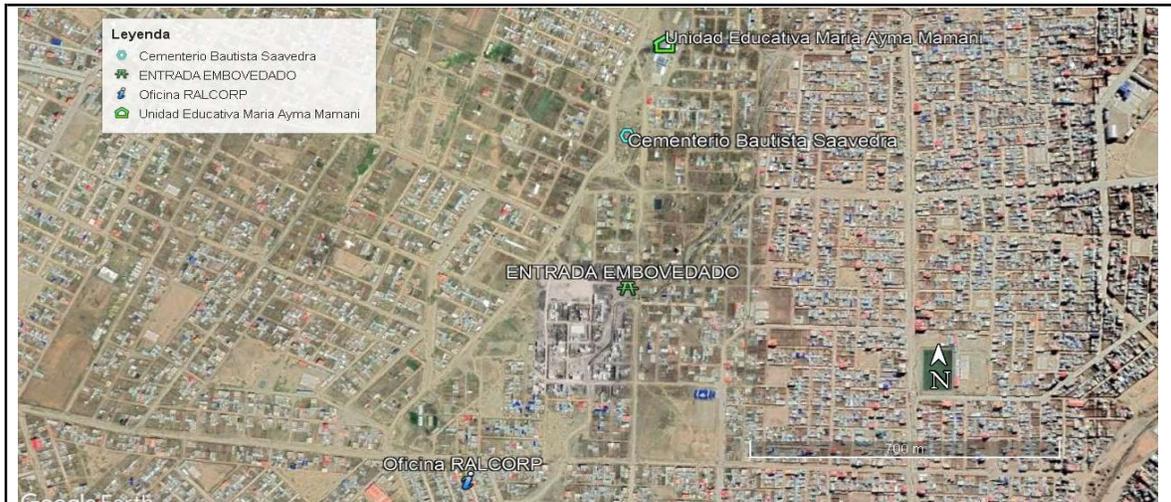
DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A cuatro cuadras del Cementerio Bautista Saavedra, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

3.97 m

PERALTE (D):

1.10 m

NORTE:

8176132 m

ALTURA (H):

2.01 m

NIVEL AGUA(*):

1.35 m

ESTE:

580389 m

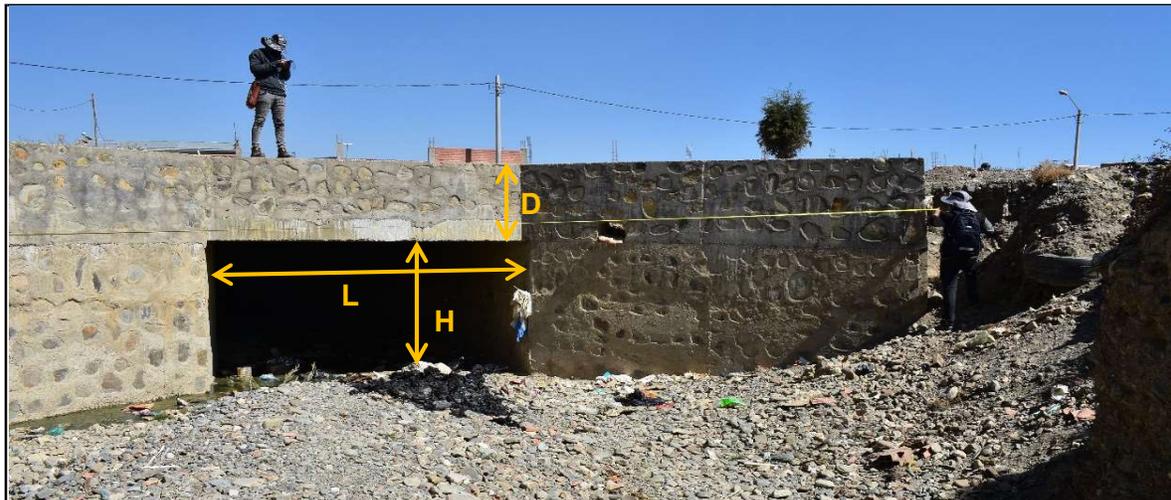
ANCHO (B):

-- m

COTA:

3997 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Entrada de obra de conducción y encauzamiento (Embovedado). Muros laterales de Hormigón Ciclopeo. Solera Hormigón Ciclopeo, losa superior de hormigón Armado. Lecho de río presenta material granular.

(*). Nivel máximo probable del río en la sección de control



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Puente Metalico

Codigo:

PC-07

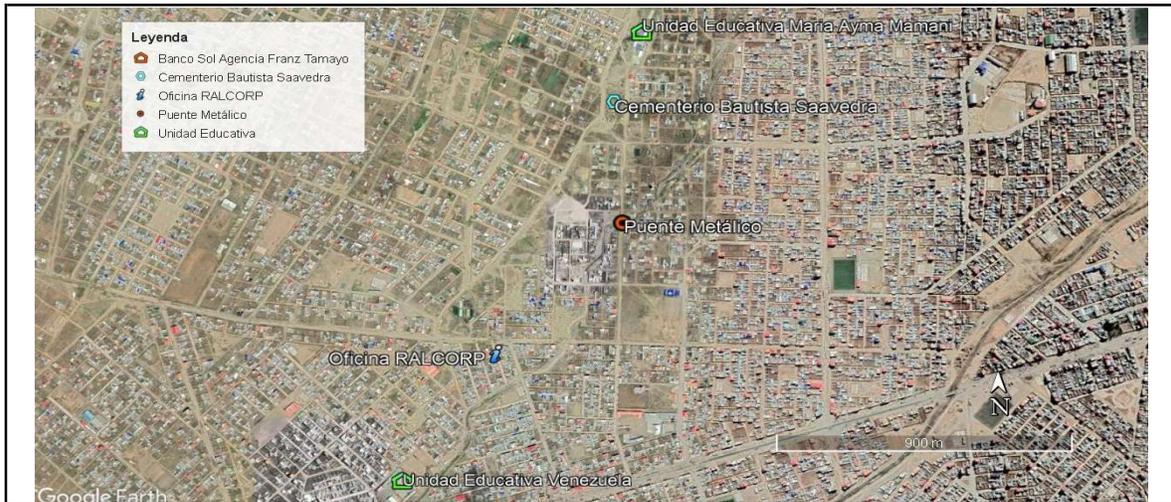
DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A cuatro cuadras del Cementerio Bautista Saavedra, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

3.78 m

PERALTE (D):

-- m

NORTE:

8176134 m

ALTURA (H):

1.90 m

NIVEL AGUA(*):

-- m

ESTE:

580416 m

ANCHO (B):

-- m

COTA:

3998 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Sección del río bajo puente metálico. Paredes laterales verticales y presencia de material granular con matriz cohesiva. Lecho de río presenta material granular.

(* Nivel máximo probable del río en la sección de control)

FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Salida Embovedado

Codigo:

PC-08

DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A cuatro cuadras de la Unidad Educativa Habana Cuba, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

3.00 m

PERALTE (D):

0.30 m

NORTE:

8176339 m

ALTURA (H):

2.50 m

NIVEL AGUA(*):

1.90 m

ESTE:

580609 m

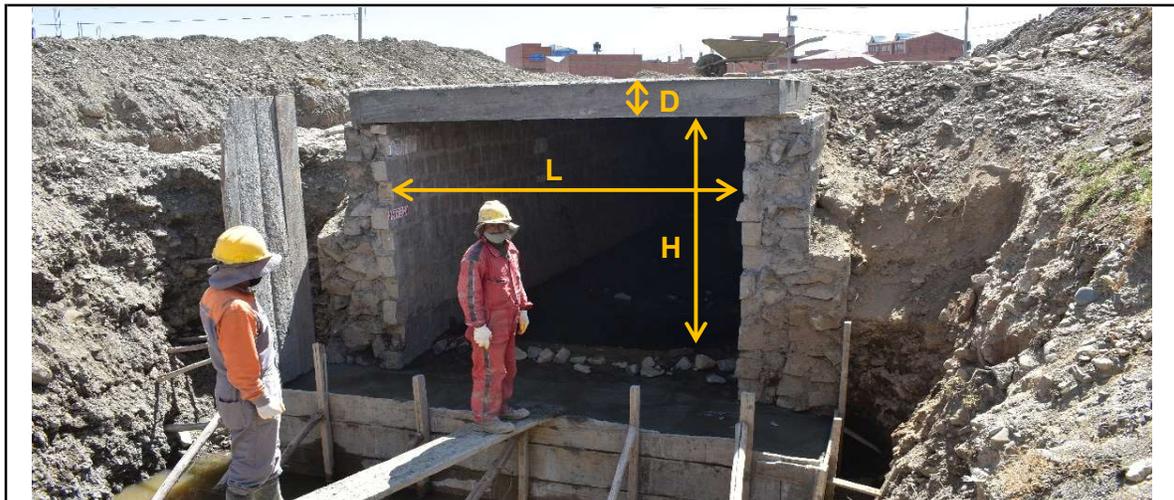
ANCHO (B):

-- m

COTA:

4004 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Salida de obra de conducción y encauzamiento (Embovedado). Muros laterales de Hormigón Ciclopeo. Solera Hormigón Ciclopeo, losa superior de hormigón Armado. Lecho de río presenta material granular.

(*): Nivel máximo probable del río en la sección de control

FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Entrada Embovedado

Codigo:

PC-09

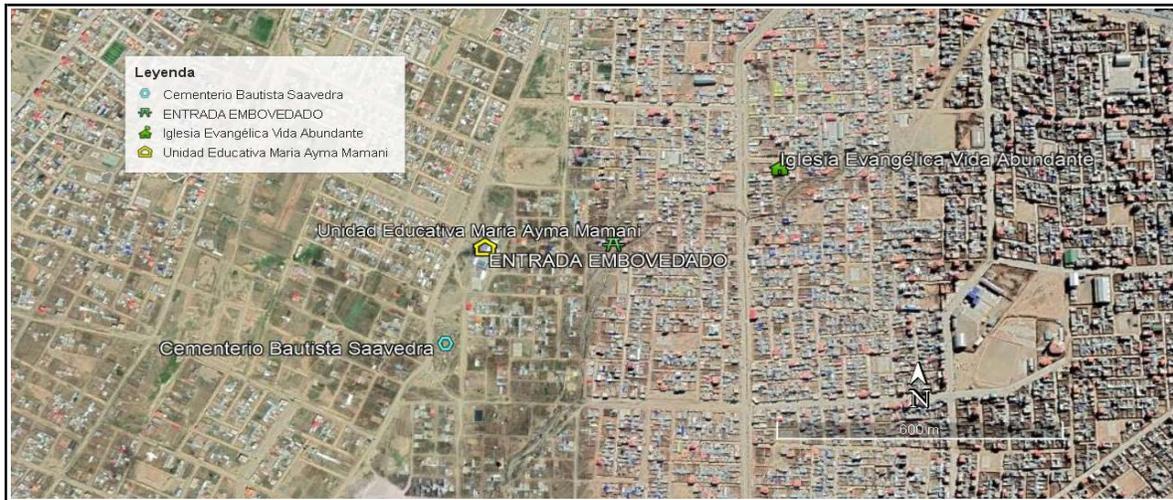
DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A cuatro cuadras de la Unidad Educativa Maria Ayma, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

3.00 m

PERALTE (D):

0.30 m

NORTE:

8176745 m

ALTURA (H):

2.50 m

NIVEL AGUA(*):

1.90 m

ESTE:

580745 m

ANCHO (B):

-- m

COTA:

4011 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Entrada de obra de conducción y encauzamiento (Embovedado). Muros laterales de Hormigón Ciclopeo. Solera Hormigón Ciclopeo, losa superior de hormigón Armado. Lecho de río presenta material granular.

(*). Nivel máximo probable del río en la sección de control



FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Sección Río en Propiedad Privada

Codigo:

PC-010

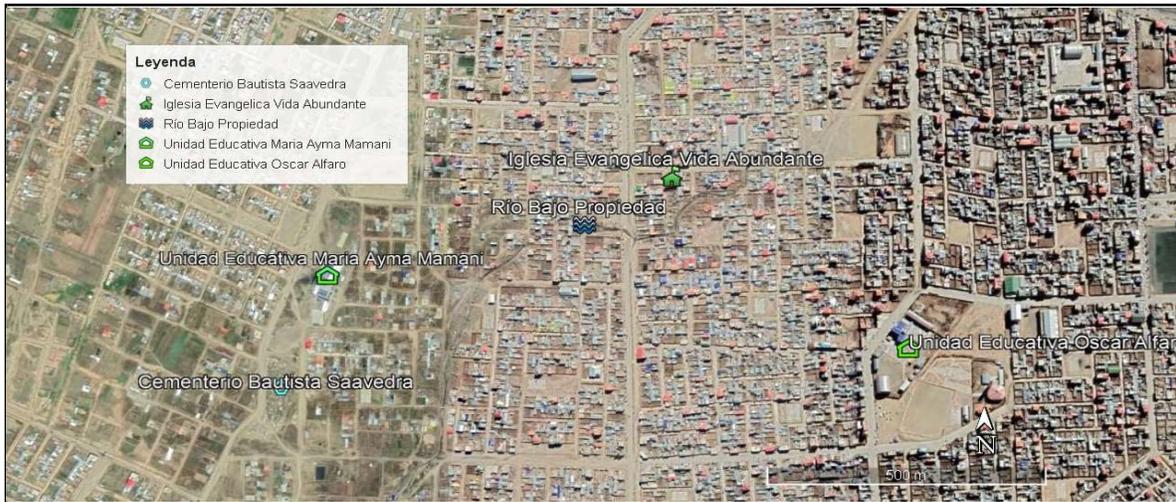
DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A dos cuadras de la Iglesia Evangelica Vida Abundante, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

5.10 m

PERALTE (D):

-- m

NORTE:

8176839 m

ALTURA (H):

-- m

NIVEL AGUA(*):

1.80 m

ESTE:

580938 m

ANCHO (B):

-- m

COTA:

4018 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Sección del río bajo propiedad privada. Paredes laterales verticales y presencia de material granular con matriz cohesiva. Lecho de río presenta residuo sólidos.

(*): Nivel máximo probable del río en la sección de control

FICHA TECNICA DE LEVANTAMIENTO

NOMBRE PROYECTO:

Análisis o estudio de contingencias hidráulicas en los ríos y/o canales de drenaje pluvial en base a los planes maestros y directores de la ciudad de El Alto

1. DATOS GENERALES

TIPO DE ESTRUCTURA:

Salida Embovedado

Codigo:

PC-011

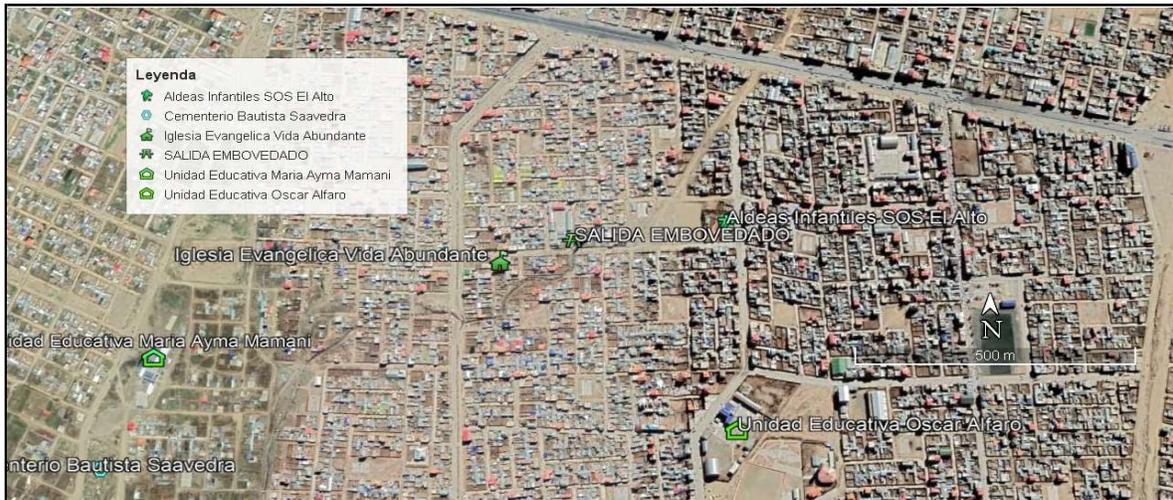
DISTRITO:

14

UBICACIÓN:

A tres cuadras de Aldeas Infantiles SOS, Urb. Franz Tamayo

2. PLANO DE UBICACIÓN



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

LONGITUD (L):

2.52 m

PERALTE (D):

1.12 m

NORTE:

8176972 m

ALTURA (H):

1.40 m

NIVEL AGUA(*):

1.40 m

ESTE:

581230 m

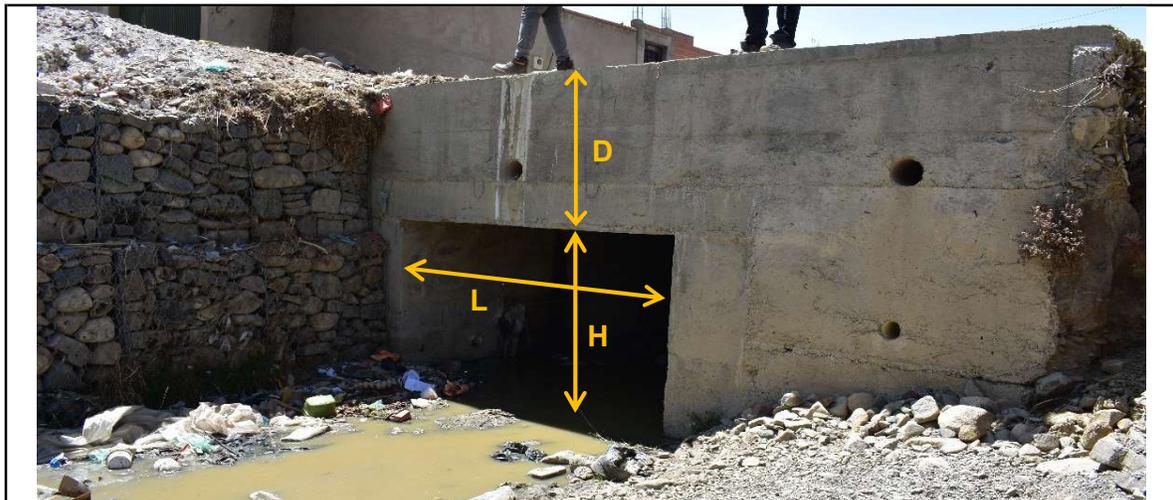
ANCHO (B):

-- m

COTA:

4027 msnm

4. MEMORIA FOTOGRAFICA



5. DESCRIPCIÓN

Salida de obra de conducción y encauzamiento (Embovedado). Muros laterales de Hormigón Ciclopeo. Solera Hormigón Ciclopeo, losa superior de hormigón Armado. Lecho de río presenta material granular.

(*). Nivel máximo probable del río en la sección de control

ANEXO 2. RESOLUCION ADMINISTRATIVA SENAPI



2020-TLIT-907-D-1

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-1240/2020
La Paz, 2 de Diciembre del 2020**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **26 de Noviembre del 2020**, por **JORGE FELIX CHAVEZ VISCARRA** con C.I. N° **2445557 LP.**, con número de trámite **DA-656/2020**, señala la pretensión de inscripción de la Compilación de Obras Escritas titulada: "**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2020 - INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL**", conformada por las Obras Escritas: "**ANÁLISIS O ESTUDIO DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO**", "**ANÁLISIS O ESTUDIO DE VÍAS EN AVENIDAS DE LA CIUDAD DE EL ALTO**" y "**ANÁLISIS O ESTUDIO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE EL ALTO**", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en los Formularios de Solicitud, documentación que tiene la calidad de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "*Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración*".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "*Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión*". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "*la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios*".

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "*No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial*".

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "*... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...*", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.



POR TANTO:

La Directora de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

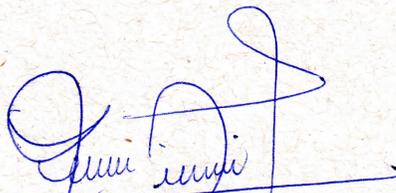
INSCRIBIR en el Registro de Obras Escritas de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Compilación de Obras Escritas titulada: "**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2020 - INSTITUTO DE INVESTIGACION DE INGENIERÍA CIVIL**", conformada por:

- "**ANÁLISIS O ESTUDIO DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO**", a favor de los autores: **ROGER LAURA CALLE**, con C.I. N° 6029650 LP., **JUAN ANDRES TICONA CARDENAS** con C.I. N° 9219033 LP., **FLOR LIZETH CHAMIZO PUÑA**, con C.I. N° 8327673 LP., **JUAN DANIEL FERNANDEZ MAMANI** con C.I. N° 11544177 LP., y **ISRAEL MENDOZA PAUCARA**, con C.I. N° 9214105 LP., y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO – UPEA** con NIT N° 122025022, representado legalmente por **FREDDY GUALBERTO MEDRANO ALANOCA**.
- "**ANÁLISIS O ESTUDIO DE VÍAS EN AVENIDAS DE LA CIUDAD DE EL ALTO**", a favor de los autores: **CARLOS MAURICIO RAMOS GARZOFINO** con C.I. N° 3372060 LP., **DINA SEFORA TICONA QUISPE** con C.I. N° 4875967 LP., y **ROSIO HERMOZA CALLE CHOQUE** con C.I. N° 8352750 LP., y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO – UPEA**, con NIT 122025022, representado legalmente por **FREDDY GUALBERTO MEDRANO ALANOCA**.
- "**ANÁLISIS O ESTUDIO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE EL ALTO**", a favor de los autores: **VICTOR SARZURI QUISPE** con C.I. N° 5996045 LP., **WALTHER LUIS VILA FLORES** con C.I. N° 8360312 LP., y **EFRAIN FREDDY VARGAS CHUQUIMIA** con C.I. N° 7029884 LP., y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO – UPEA**, con NIT 122025022, representado legalmente por **FREDDY GUALBERTO MEDRANO ALANOCA**.



Quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

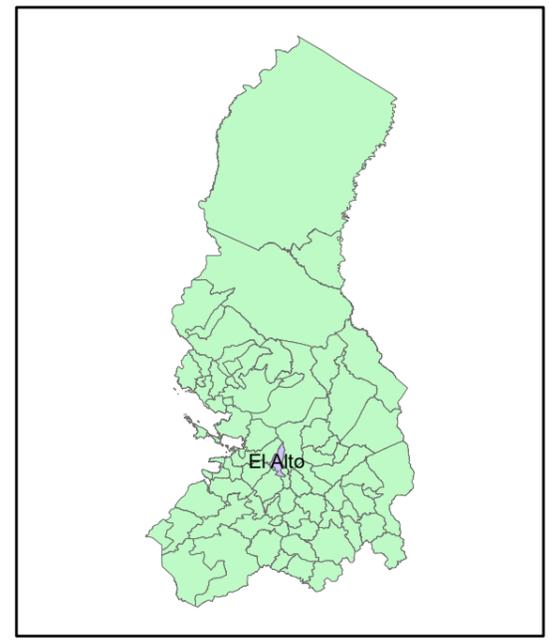
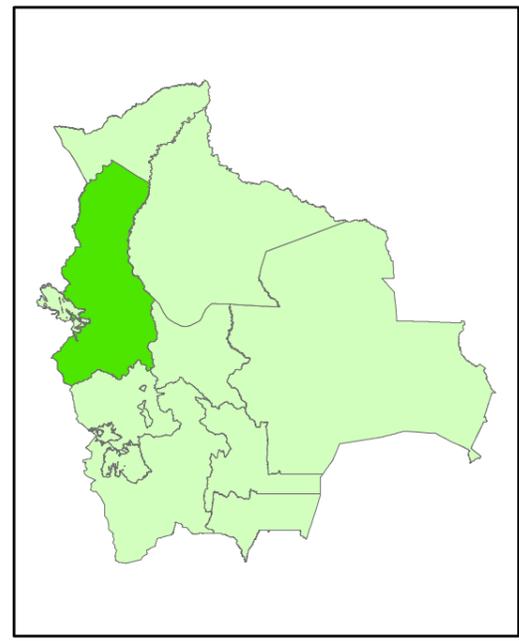
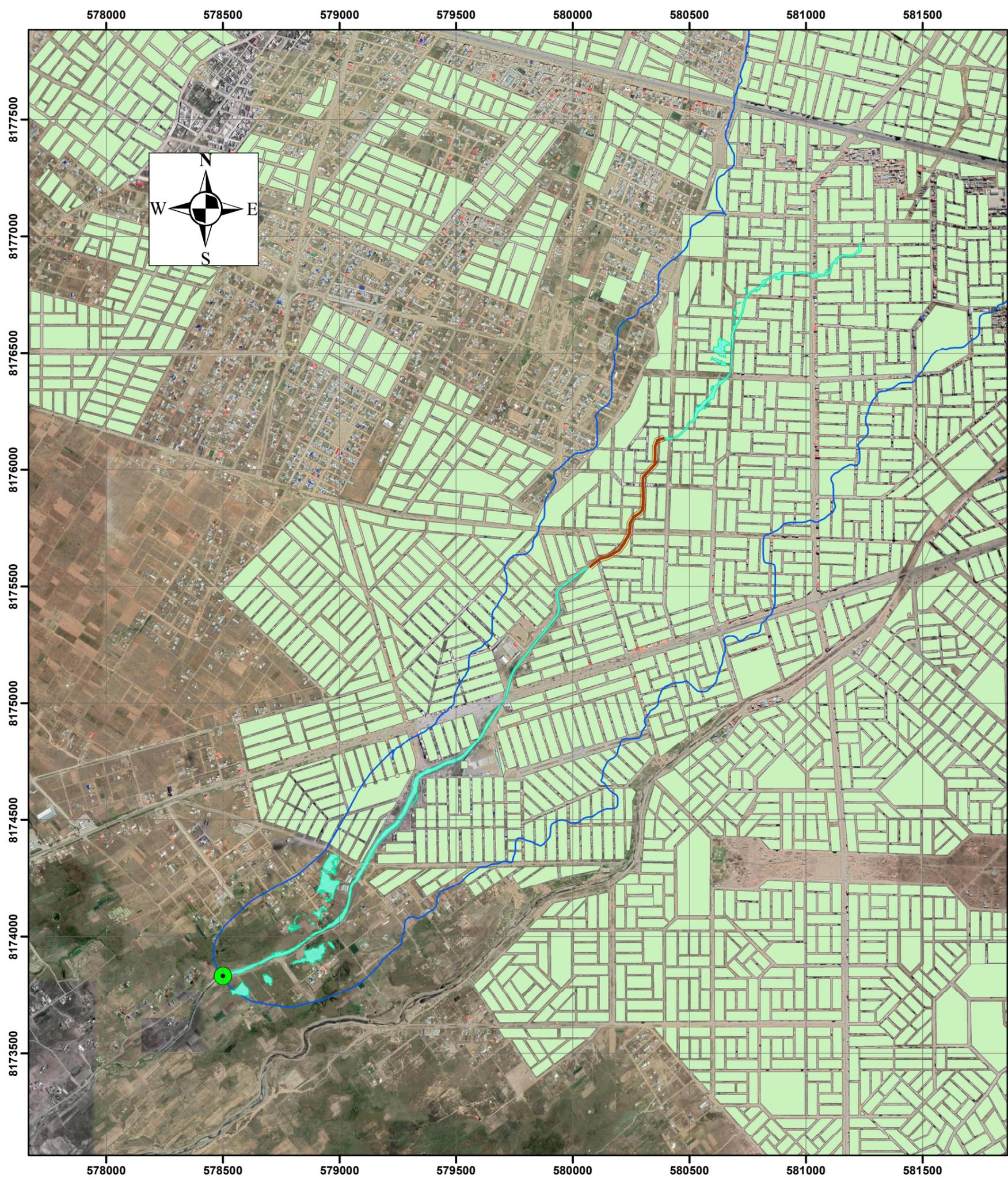
Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abog. Gabriela Arancibia Peredo
**DIRECTORA DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

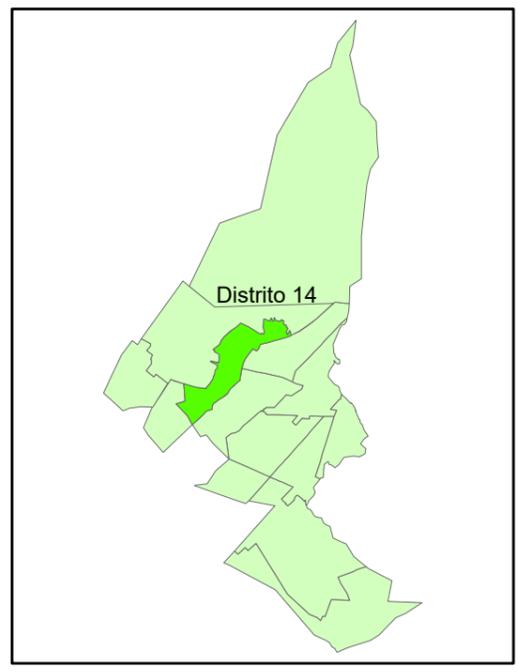
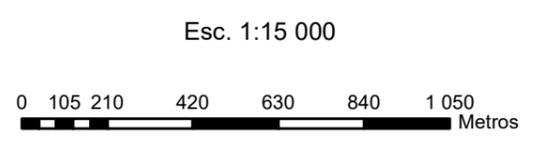
GAP/dmar
c.c.Arch.

ANEXO 3. PLANOS



Leyenda

-  Embovedado Existente
-  Cuenca
-  Manzanos
-  Punto de Control
-  Zona Inundable





Universidad Pública De El Alto

AREA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION

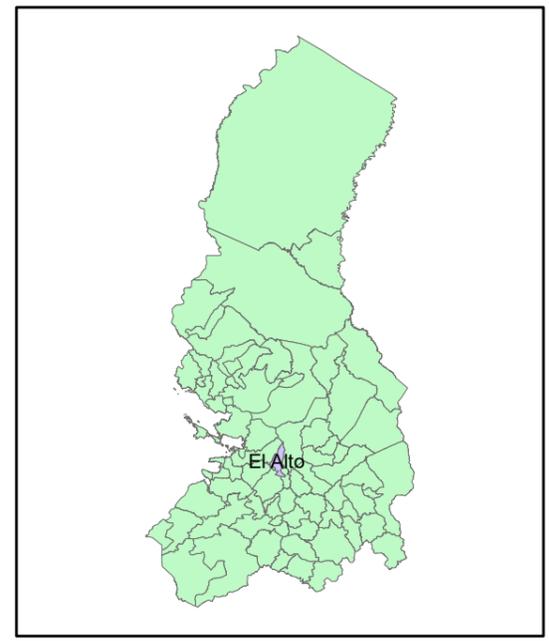
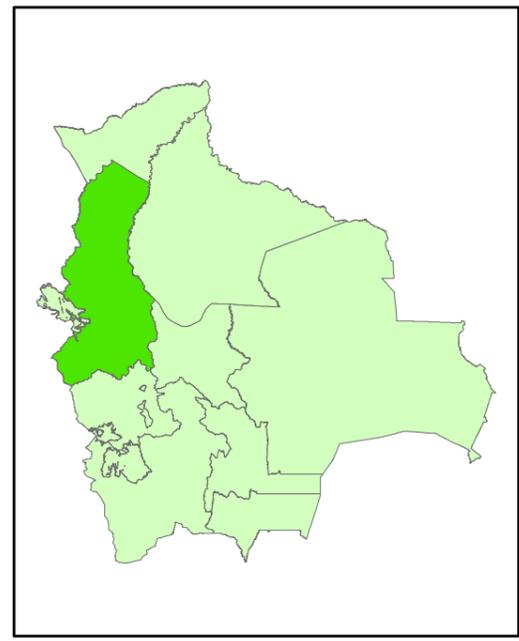
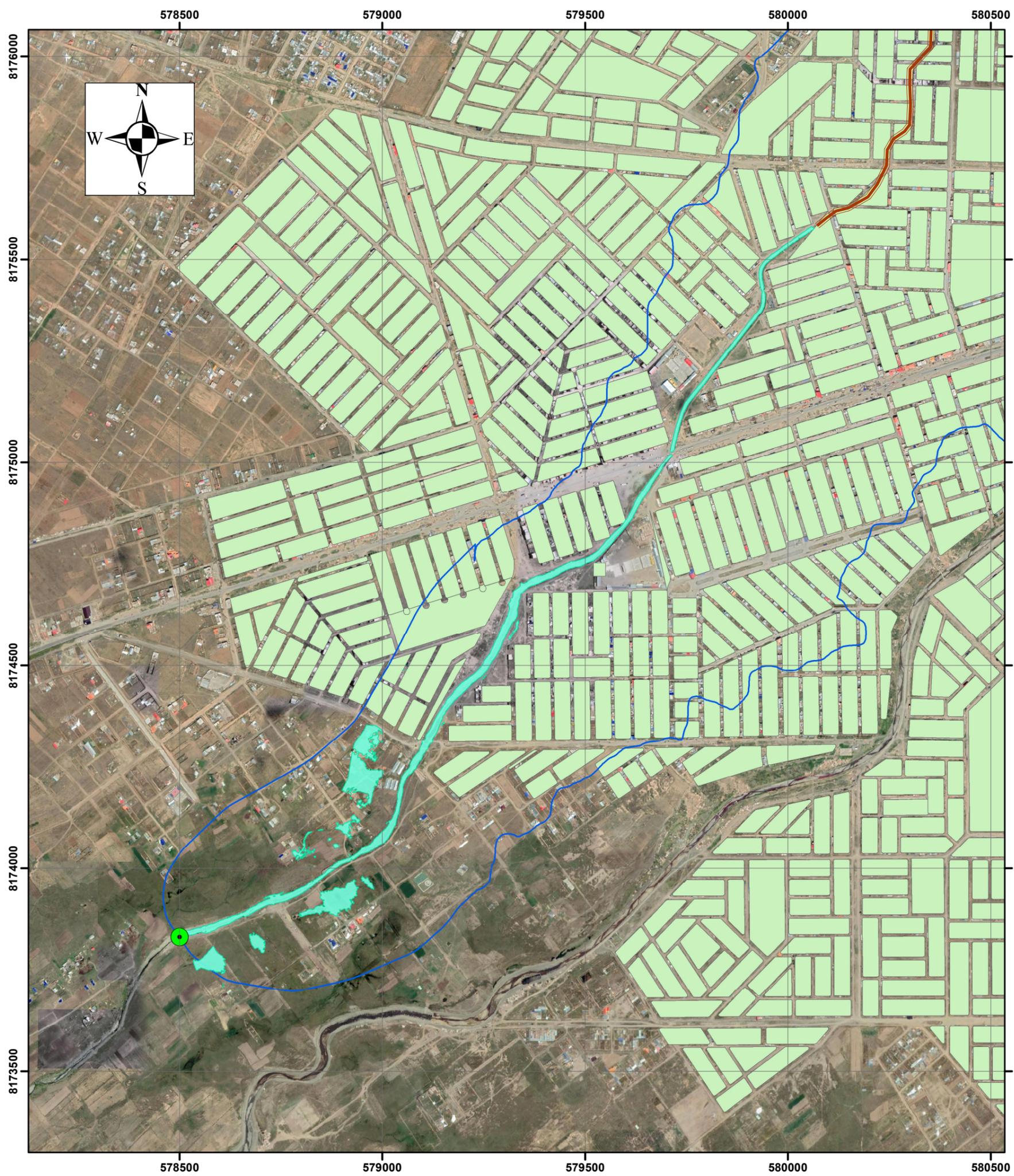


PLANO DE INUNDACION

Elaborado por: Roger Laura Calle	Fecha: Noviembre de 2020
---	---------------------------------

Proyecto: **“ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO”**

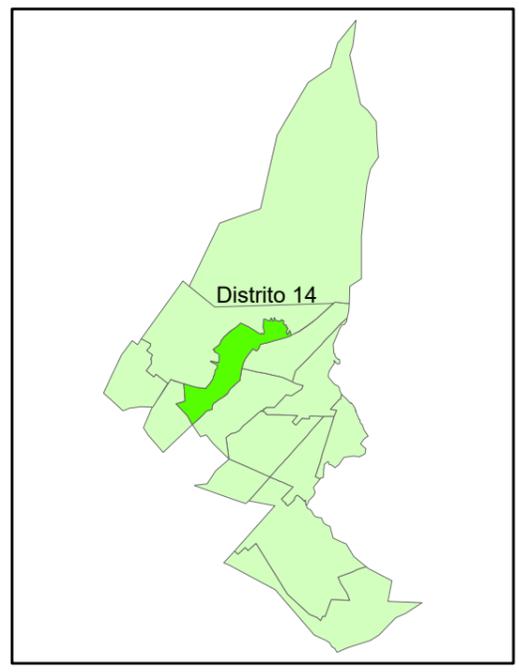
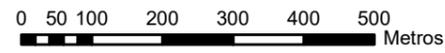
Proyección UTM Zona 19 Sur
Datum Horizontal de Referencia WGS84



Leyenda

-  Embovedado Existente
-  Punto de Control
-  Zona Inundable
-  Cuenca
-  Manzanos

Esc. 1:10 000





Universidad Pública De El Alto

AREA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION



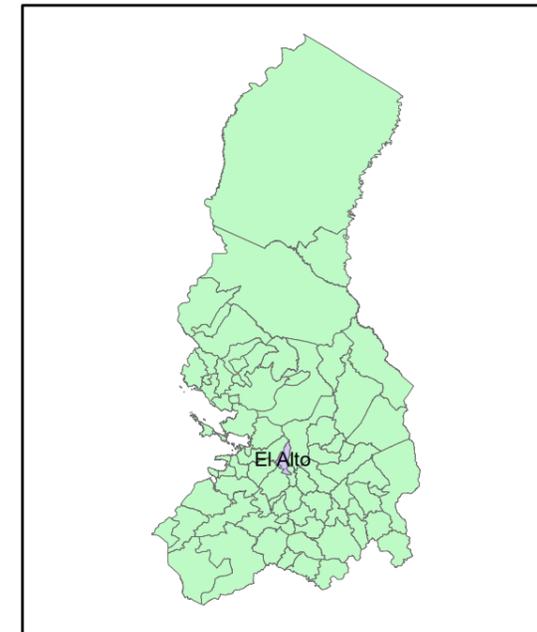
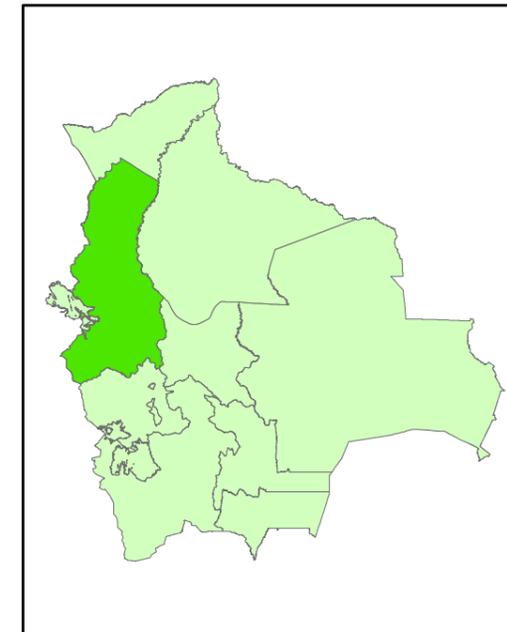
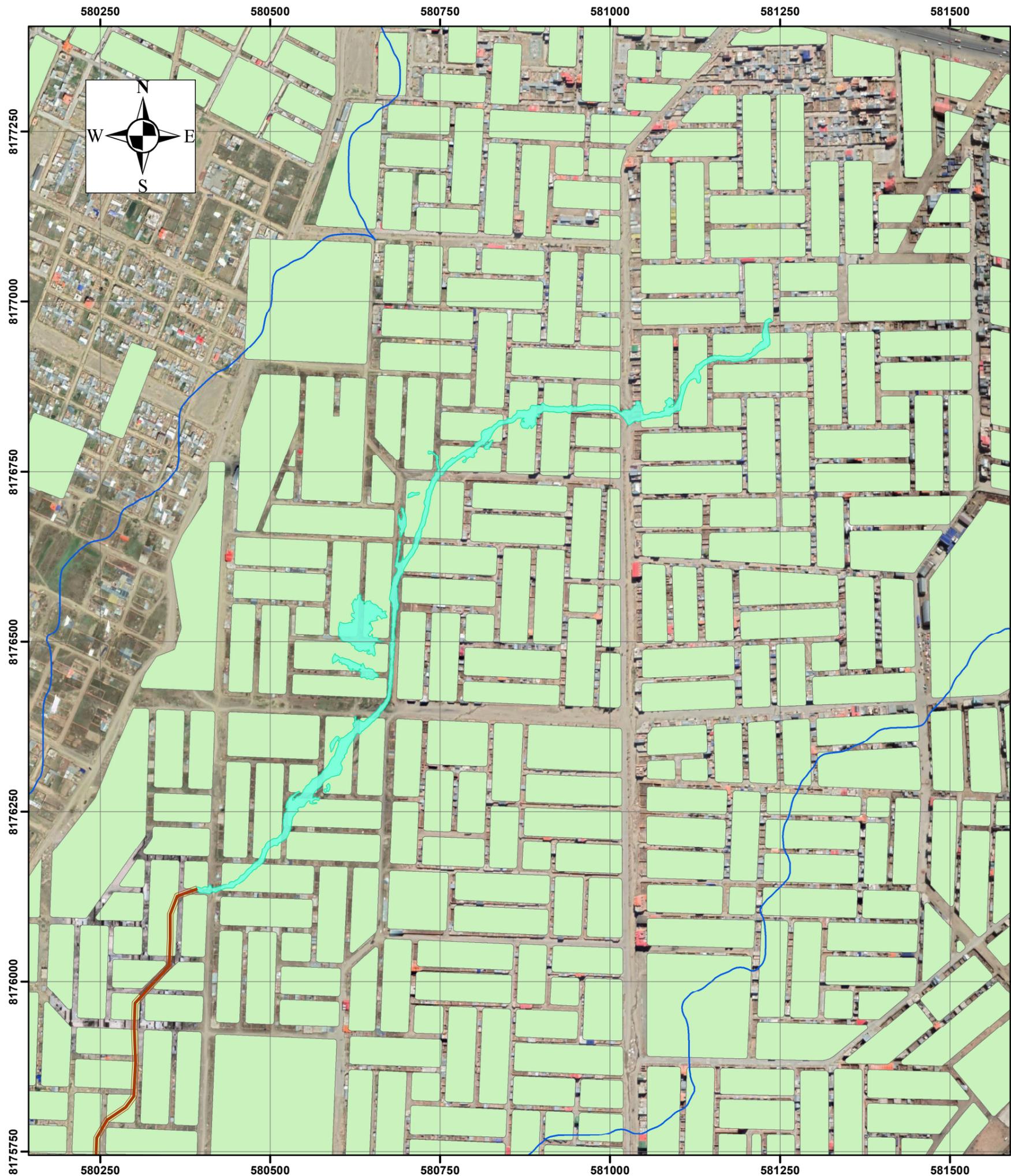
PLANO DE INUNDACION – TRAMO 1

Elaborado por: Roger Laura Calle	Fecha: Noviembre de 2020
---	---------------------------------

Proyecto: **“ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O CANALES DE DRENAJE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO”**

Proyección UTM Zona 19 Sur

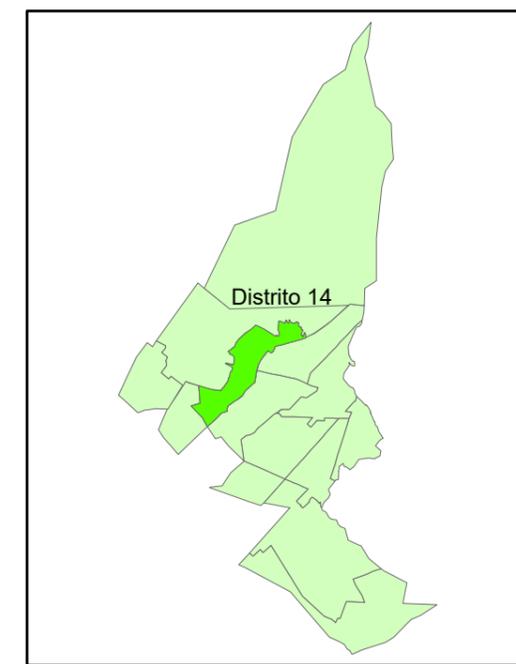
Datum Horizontal de Referencia WGS84



Leyenda

-  Embovedado Existente
-  Punto de Control
-  Zona Inundable
-  Cuenca
-  Manzanos

Esc. 1:6 000





Universidad Pública De El Alto

AREA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

INSTITUTO DE INVESTIGACION



PLANO DE INUNDACION – TRAMO 2

Elaborado por: Roger Laura Calle	Fecha: Noviembre de 2020
---	---------------------------------

Proyecto: “ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS HIDRÁULICAS EN LOS RÍOS Y/O CANALES DE DRENAGE PLUVIAL EN BASE A LOS PLANES MAESTROS Y DIRECTORES DE LA CIUDAD DE EL ALTO”

Proyección UTM Zona 19 Sur
Datum Horizontal de Referencia WGS84