

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



CALIBRACIÓN DEL MODELO LUTZ SCHOLTZ Y
GENERACIÓN DE CAUDALES EXTENDIDOS APLICADO A
LA CUENCA DEL RÍO CHACCO

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

BACH. DAVID NAJARRO SOTO

ASESOR:

ING. EDMUNDO CANCHARI GUTIÉRREZ

AYACUCHO - PERÚ

2015

Tesis
CIV 442
Nº.
E. 1

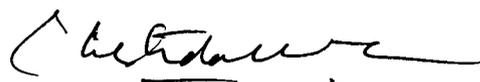
**“CALIBRACIÓN DEL MODELO LUTZ SCHOLTZ
Y GENERACIÓN DE CAUDALES EXTENDIDOS
APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO CHACCO”.**

RECOMENDADO : 13 DE NOVIEMBRE DEL 2015

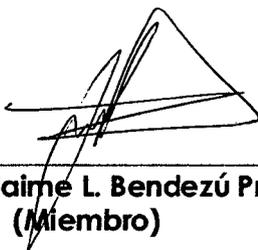
APROBADO : 24 DE NOVIEMBRE DEL 2015



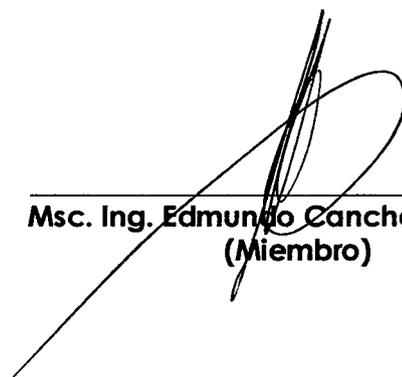
**Msc. Ing. Carlos A. Prado Prado
(Presidente)**



**Msc. Ing. José E. Estrada Cárdenas
(Miembro)**



**Msc. Ing. Jaime L. Bendezú Prado
(Miembro)**

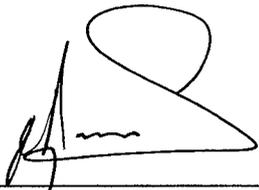


**Msc. Ing. Edmundo Canchari Gutiérrez
(Miembro)**



**Ing. Floro Nivaldo Yangali Guerra
(Secretario Docente)**

Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 24 de Noviembre del 2015, en la Sustentación de Tesis Profesional presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil Sr. David Najarro Soto, con el Trabajo Títulado: "CALIBRACIÓN DEL MODELO LUTZ SCHOLTZ Y GENERACIÓN DE CAUDALES EXTENDIDOS APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO CHACCO", fue calificado con la nota de Quince (15), por lo que se da la respectiva APROBACIÓN.



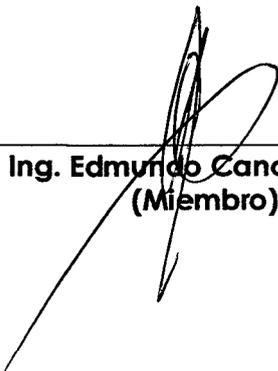
Msc. Ing. Carlos A. Prado Prado
(Presidente)



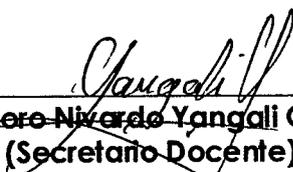
Msc. Ing. José E. Estrada Cárdenas
(Miembro)



Msc. Ing. Jaime L. Bendezú Prado
(Miembro)



Msc. Ing. Edmundo Canchari Gutiérrez
(Miembro)



Ing. Flore Nivaldo Yangali Guerra
(Secretario Docente)

CALIBRACIÓN DEL MODELO LUTZ SCHOLTZ Y GENERACIÓN DE
CAUDALES EXTENDIDOS APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO CHACCO

DAVID NAJARRO SOTO

Presentado a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de
Ingeniería de Minas, Geología y Civil, en cumplimiento parcial de los
requerimientos para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

2015

Autor : David Najarro Soto
Recomendado : Ing. Edmundo Canchari Gutiérrez
Asesor de Tesis
Aceptado por : M.Sc. Ing. Carlos Prado Prado
Decano de la FIMGC

© 2015; Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), todos los derechos reservados. El autor de la investigación autoriza a la UNSCH - Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil (FIMGC), la reproducción de la tesis en su totalidad o en partes.

*A Dios, mi fuente de fé, esperanza y todo cuanto me ha
dado, por todos los milagros que ha hecho en mi vida.*

*Al amor de mi vida, Luz Consuelo Quispe Chuchón, por
apoyarme constantemente sin desmayar.*

Agradecimientos

- A mi familia. En especial a mi esposa, mi hijo Caleb Leonel y mi hija Zuri Alba quienes me acompañan y caminan diariamente a mi lado y me brindan todo su apoyo en todo momento.
- A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, alma mater y orgullo de Ayacucho, donde recibí mi formación académica.
- A los docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por los conocimientos transmitidos que contribuyeron de manera determinante en mi formación profesional.
- Y a mi amigo el Ing. Edmundo Canchari Gutiérrez, por su apoyo incondicional y constante en la realización del presente trabajo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Ayacucho, 1 de diciembre de 2015

David Najarro Soto

Índice general

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Índice general	IV
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras	IX
Resumen	XI
Introducción	1
Capítulo I: Generalidades	3
1.1. Motivación para el desarrollo de la tesis	3
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.2.1. Antecedentes	4
1.2.2. Problema	5
1.2.2.1. Problema Central	5
1.2.2.2. Problema Específicos	5
1.2.3. Objetivos	5
1.2.3.1. Objetivo General	5
1.2.3.2. Objetivo Específico	5
1.2.4. Hipótesis	6

1.2.4.1.	Hipótesis General	6
1.2.4.2.	Hipótesis Específico	6
1.2.5.	Justificación	6
1.2.6.	Metodología y Plan de trabajo	7
Capítulo II: Marco teórico y marco conceptual		8
2.1.	La cuenca hidrográfica	8
2.2.	El Modelo Lutz Scholtz	9
2.2.1.	Balance hídrico	11
2.2.2.	Coeficiente de escurrimiento	12
2.2.3.	Evapotranspiración	14
2.2.4.	Precipitación efectiva	15
2.2.5.	Retención de la cuenca	17
2.2.6.	Relación entre descargas y retenciones	18
2.2.7.	Coeficiente de agotamiento	18
2.2.8.	Almacenamiento hídrico	20
2.2.9.	Abastecimiento de la retención	22
2.2.10.	Determinación del caudal mensual para el año promedio	23
2.3.	Generación de caudales mensuales para periodos extendidos	23
2.4.	Evaluación de los resultados	25
Capítulo III: Materiales y métodos		26
3.1.	La cuenca del río Chacco	26
3.1.1.	Punto de aforo	26
3.1.2.	Ubicación política	27
3.1.3.	Ubicación geográfica	28
3.1.4.	Autoridad Nacional del Agua	29
3.1.5.	Red Hídrica	30
3.1.6.	Variación altitudinal	31
3.1.7.	Propiedades morfométricas	32

3.1.7.1.	Propiedades morfométricas de la cuenca	32
3.1.7.2.	Propiedades morfométricas de la red hídrica	33
3.1.7.3.	Otras propiedades generadas	33
3.2.	Estaciones meteorológicas	35
3.2.1.	Ubicación	36
3.2.2.	Estaciones SENAMHI	37
3.2.3.	Rango de la disponibilidad de registros	37
3.3.	Creación de estaciones sintéticas	38
3.3.1.	Obtención de registros	40
3.3.2.	Producto 3b42 derivado	42
3.3.3.	Producto 3B43	43
3.4.	Análisis de homogeneidad y consistencia	46
3.5.	Calibración del Modelo Lutz Scholtz para la cuenca Chacco	49
3.5.1.	Componente determinístico	49
3.5.2.	Componente estocástico	52
Capítulo IV: Análisis de los resultados obtenidos		54
4.1.	Resultados de la investigación	54
4.2.	Análisis de los resultados	58
4.3.	Caudales generados	60
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones		61
5.1.	Conclusiones	61
5.2.	Recomendaciones	62
5.3.	Limitaciones del modelo	62
5.4.	Trabajos futuros	63
Bibliografía		64
Anexos		68
Anexo A. Registro de precipitaciones		69

Anexo B. Registro de caudales	74
Anexo C. Desarrollo del modelo Lutz Sholtz	80
Anexo D. Indicadores estadísticos	93
Anexo E. Caudales generados	95
Anexo F. Planos de la cuenca Chacco	100

Índice de tablas

3.1. Punto de Aforo para la cuenca del río Chacco	27
3.2. Límites geográficos de la extensión de la cuenca del río Chacco	29
3.3. Cuadrantes de la Carta Geográfica Nacional contenidas por la Cuenca del río Chacco	29
3.4. Propiedades morfométricas de la cuenca	34
3.5. Propiedades morfométricas de la red hídrica	34
3.6. Propiedades morfométricas generadas	34
3.7. Estaciones meteorológicas identificadas para la cuenca Chacco(sistema de referencias: UTM, Uso 18, Zona L, Datum WGS84)	39
3.8. Estaciones sintéticas (sistema de referencias wgs84), coordenadas expre- sado en grados	45
4.9. Parámetros de los caudales promedios mensuales	55
4.10. Caudales mensuales para el año promedio, componente determinístico .	55
4.11. Relación de los caudales y la precipitación efectiva (en mm/mes)	58
4.12. Estadísticas de la regresión	59
4.13. Coeficientes de la regresión	59

Índice de figuras

2.1. Aplicación de libre distribución para el tratamiento de sistemas de información geográfica	9
2.2. Coeficientes para la obtención de la precipitación efectiva	16
2.3. Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias(valores a_i en porcentajes)	22
3.4. Localización de la cuenca del Río Chacco (sistema de referencia WGS 84)	27
3.5. Ubicación de la cuenca Chacco (sistema de referencia WGS 84)	28
3.6. Cuenca del Río Chacco y su relación con el cuadro de empalmes de la Carta Geográfica Nacional (sistema de referencia WGS 84)	30
3.7. Cuenca del Río Chacco y su ubicación respecto a la Autoridad Administrativa del Agua (sistema de referencia WGS 84)	31
3.8. Cuenca del Río Chacco y su ubicación con las Unidades Hidrográficas(sistema de referencia WGS 84)	32
3.9. Cuenca del Río Chacco y la red hídrica (sistema de referencia WGS 84)	33
3.10. Cuenca del Río Chacco y su variación de la altitud sobre el nivel del mar (sistema de referencia WGS 84)	35
3.11. Cuenca del Río Chacco y estaciones meteorológicas seleccionadas (sistema de referencia WGS 84)	36
3.12. Ubicación de las estaciones meteorológicas para la región Ayacucho, SENAMHI	37
3.13. Rango de la disponibilidad de registros en las estaciones identificadas .	40
3.14. Página principal del proyecto PMM	41

3.15. Página principal del proyecto TRMM	42
3.16. Niveles de productos del proyecto TRMM	43
3.17. Producto 3B42 derivado del proyecto TRMM	44
3.18. Plataforma Giovanni para el acceso a datos del proyecto TRMM y otros	45
3.19. Cuenca del río Chacco y la resolución de las celdas TRMM	46
3.20. Cuenca del río Chacco, resolución de las celdas TRMM y estaciones sintéticas	47
3.21. Precipitación mensual para la estación sintética A	48
3.22. Precipitación mensual para la estación sintética B	49
3.23. Precipitación mensual para la estación sintética C	50
3.24. Calibración del modelo Lutz Scholtz desde MATHCAD PRIME 3.1 . .	52
3.25. Caudales mensuales promedios, obtenido para el año base	53
4.26. Variación del gasto de la retención y el abastecimiento de la retención de la cuenca	56
4.27. Caudales mensuales promedios obtenidos y registrados	57
4.28. Caudales promedios mensuales generados para la cuenca Chacco	59

Resumen

El objetivo de la tesis es desarrollar el modelo Lutz Scholtz calibrando sus parámetros a la cuenca del río Chacco, en el procedimiento fue necesario la determinación de las propiedades morfométricas de la cuenca y la caracterización de la red hídrica, en base a los registros de las precipitaciones promedios mensuales en estaciones identificadas en la cuenca de estudio y los registros directos de caudales en la estación hidrométrica Puente Chacco, se desarrolla el modelo Lutz Scholtz para sus dos componentes: el componente determinístico mediante el cual se obtienen los caudales medios mensuales para el año promedio, mientras el componente estocástico del modelo es utilizado para la generación sintética de caudales mensuales medios, los resultados son contrastados con registros disponibles en el punto de aforo.

Palabras clave: modelo Lutz Scholtz, cuenca Chacco, generación de caudales sintéticos.

Introducción

El desarrollo de la tesis: “Calibración del Modelo Lutz Scholtz y Generación de Caudales Extendidos Aplicado a la Cuenca del Río Chacco”. Se realiza debido a la escasez de registros históricos de variables climáticas, al desconocimiento de los parámetros adecuados para la generación de caudales promedios mensuales y debido a la carencia de registro de caudales diarios para la cuenca Chacco, para realizar estudios en el planeamiento de proyectos concernientes al aprovechamiento de recursos hídricos. Por ello, se desarrolla la presente tesis para validar datos obtenidos del Proyecto Precipitación Measurement Missions (PMM) de la NASA, a través del Proyecto Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM), calibrando para ello el Modelo Matemático (Determinístico – Estocástico) desarrollado por el Alemán Lutz Scholtz para la sierra peruana (en el Marco de la Cooperación Técnica Alemana, a través del Plan Meris II), aplicado a la Cuenca del Río Chacco, tomándose como Punto de Aforo el Puente Chacco. Con el Modelo Matemático Calibrado, se busca Generar Caudales Promedios Mensuales Extendidos, hasta el año que el usuario estime por conveniente. Actualmente, el Modelo Matemático (Determinístico – Estocástico) de Lutz Scholtz, es un Modelo ampliamente utilizado por las Entidades Estatales Peruanas como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y otras Entidades Privadas, dedicadas al rubro de Elaboración de Proyectos Hidráulicos.

Anexos: Contiene los planos de red hídrica y variación altitudinal de la cuenca Chacco, la ubicación de la cuenca con referencia al Perú y la ubicación de las estaciones meteorológicas identificadas, contiene de igual forma el registro de las precipita-

ciones y caudales, además el desarrollo detallado de la calibración del modelo de Lutz Scholtz para la cuenca Chacco.

Capítulo I: Generalidades

1.1. Motivación para el desarrollo de la tesis

Está determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en los ríos de la sierra peruana, el proyecto Plan Meris II(Ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones), en un esfuerzo conjunto entre el *Estado Peruano* y la *Misión Técnica Alemana*, en el año 1980, elaboraron el modelo hidrológico de Lutz Scholtz, éste modelo fue estudiado y calibrado en 19 cuencas de la sierra peruana, ubicadas en las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca, y es aplicable generalmente para pequeñas y medianas cuencas con escasa información hidrométrica. El modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo.

El modelo de Lutz Scholtz, es un modelo hidrológico combinado, porque cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo Determinístico¹); y una estructura estocástica² para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico).

¹Un modelo determinista es un modelo matemático donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia del azar ni el principio de incertidumbre.

²Un proceso estocástico es aquel cuyo comportamiento es no determinista, en la medida que el subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios.

Disponer de la información de los caudales medios mensuales es muy importante para el adecuado planeamiento de todo proyecto de aprovechamiento hídrico y en nuestro entorno - Región Ayacucho - muy pocos ríos disponen de registros hidrológicos, generándose el inconveniente para encontrar el comportamiento promedio mensual de los caudales de las muchas cuencas, desde las cuales se captan el agua para abastecer una determinada necesidad; el Modelo Lutz Scholtz es útil en cuencas donde no se dispone de registros de caudales en el tiempo, propios de la sierra peruana.

La calibración³ del Modelo Lutz Scholtz, consiste en determinar los parámetros del modelo desde datos tomados de la cuenca del Río Chacco, con las cuales será posible generar una serie de tiempo de caudales medios mensuales.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Antecedentes

El modelo Lutz Scholtz es ampliamente utilizado para generar los caudales medios mensuales extendidos prácticamente a todo el territorio nacional, los estudios realizados con fines de obtener el potencial hídrico de las cuencas hidrográficas por las entidades estatales - Autoridad Nacional del Agua(ANA) y SENAMHI(Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), muestran una aplicación detallada de los pormenores del modelo.

³Ajustar la escala de un instrumento de medida con la precisión deseada.

1.2.2. Problema

1.2.2.1. Problema Central

¿Será posible calibrar el modelo determinístico estocástico Lutz Scholtz para estimar caudales medios mensuales en la cuenca del Río Chacco?

1.2.2.2. Problema Específicos

- Escasez registro histórico de variables climáticas para realizar estudios en el planeamiento de proyectos concernientes al aprovechamiento de recursos hídricos.
- Desconocimiento de los parámetros adecuados para la generación de caudales promedios mensuales de la cuenca del río Chacco.
- Carencia de registro de caudales diarios para la cuenca en estudio que dificulta el adecuado aprovechamiento o protección del recurso hídrico.

1.2.3. Objetivos

1.2.3.1. Objetivo General

Calibrar el Modelo determinístico estocástico Lutz Scholtz y Generar los caudales medios mensuales en la Cuenca del Río Chacco.

1.2.3.2. Objetivo Específico

- Evaluar el registro histórico de variables climáticas en la zona de estudio, con la finalidad de realizar estudios en el planeamiento de proyectos concernientes al aprovechamiento de recursos hídricos.

- Obtener los parámetros del modelo para la generación de caudales promedios mensuales de la cuenca del río Chacco.
- Determinar el registro de caudales promedios mensuales extendidos mediante el modelo determinístico estocástico Lutz Scholtz.

1.2.4. Hipótesis

1.2.4.1. Hipótesis General

La calibración del modelo determinístico estocástico Lutz Scholtz permitirá estimar los caudales medios mensuales para la cuenca del Río Chacco.

1.2.4.2. Hipótesis Específico

- El registro histórico de variables climáticas existentes en la zona de estudio son suficientes para implementar el modelo Lutz Scholtz.
- Los parámetros requeridos por el modelos Lutz Scholtz se obtendrán de la información morfométrica de la cuenca y datos climatológicos.
- Los caudales generados mediante el modelo determinístico estocástico Lutz Scholtz representan los promedios mensuales extendidos de la cuenca en estudio.

1.2.5. Justificación

Técnicamente la investigación propuesta es justificada porque en todos los estudios para el aprovechamiento hídrico de una determinada cuenca hidrográfica es necesaria la información de la descarga promedio en un punto de interés de la red hídrica, con

la finalidad de determinar su potencial aprovechable o tomar previsiones para su protección.

Es de interés y de carácter social, porque los proyectos de aprovechamiento hídrico son sustancialmente de carácter primario y fundamental para el hombre - ya sea elevando su nivel de vida o generando y ampliando la fuente laboral.

El resultado obtenido no solo interesa al ámbito académico, es necesaria para todos los involucrados en los Proyectos de Inversión Pública y especialmente para los consultores en la elaboración de perfiles y expedientes técnicos, con los resultados obtenidos del modelo Lutz Scholtz podrán realizar un planeamiento adecuado en el aprovechamiento hídrico.

1.2.6. Metodología y Plan de trabajo

Teniendo en cuenta la clasificación de acuerdo al enfoque de la investigación, la tesis desarrolla un enfoque cuantitativo; el elemento constitutivo del modelo es el cálculo en base a la precipitación mensual teniendo en cuenta las características de la cuenca. En base a los datos disponibles se establece modelos parciales para las influencias de mayor importancia al escurrimiento y la retención de la cuenca. El procedimiento comprende dos etapas:

- Primero se establece el balance hídrico, para determinar la influencia de los parámetros meteorológicos de la cuenca durante el año promedio.
- Posteriormente se determina los caudales para el periodo extendido, mediante un proceso Markoviano (de regresión triple) teniendo en cuenta la precipitación efectiva como variable de impulso para determinar los parámetros estadísticos de la distribución empírica tales como el promedio, la desviación estándar y sesgo.

Capítulo II: Marco teórico y marco conceptual

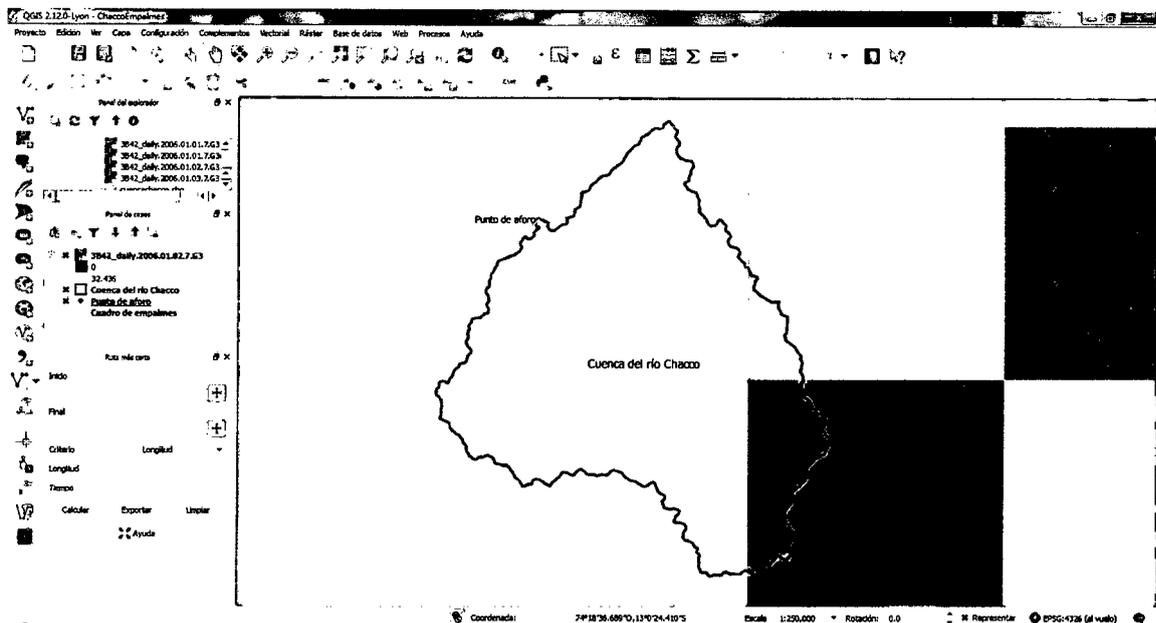
En el presente capítulo se desarrolla la fundamentación teórica necesaria para los fines de la tesis, que es encontrar los parámetros requeridos para el modelo Lutz Scholtz y que generen los caudales promedios mensuales de la cuenca en estudio. Se cuenca con una descripción breve de la cuenca hidrográfica, de los tipos de modelos que abstraen la realidad física y los sistemas de información geográfica.

2.1. La cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es la superficie delimitada de forma natural, de tal manera que toda precipitación ocurrida en dicha superficie genera el caudal de salida a un único punto de drenaje; en los estudios hidrológicos, las cuencas hidrográficas son las unidades fundamentales donde ocurre todo el fenómeno físico de la transformación de la precipitación en escorrentía; su comportamiento es muy complejo, depende de los tipos de suelo, usos de suelo y cobertura, ubicación, etc. Por su naturaleza compleja su análisis se basa en el uso de los sistemas de información geográfica (SIG), en las cuencas mayores sin el uso de los SIG sería muy laborioso obtener sus parámetros e indicadores principales, usualmente las cuencas hidrográficas están formadas por una gran cantidad de superficie y por tanto sus parámetros son de dimensiones mayores, haciendo poco probable el trabajo adecuado sin la utilización de los sistemas de infor-

mación geográfica. La figura 2.1 muestra una aplicación que se corresponde como un componente primordial en los trabajos que atañen la hidrología.

Figura 2.1: Aplicación de libre distribución para el tratamiento de sistemas de información geográfica



Fuente: Adaptado desde el programa Qgis

2.2. El Modelo Lutz Scholtz

El modelo es fundamentalmente utilizado para poder estimar caudales medios mensuales y se origina a falta de los registros históricos en estaciones hidrológicas en ríos de la sierra peruana. Debido a la exclusividad del modelo delimitado espacialmente a la sierra peruana, los textos tomados como referencias son nacionales, principalmente reportes técnicos de las entidades nacionales encargadas de la implementación para el aprovechamiento racional del recurso hídrico, entre estas instituciones tenemos: Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI. Seguidamente se citarán algunas definiciones encontradas en reportes técnicos específicos:

1. El reporte técnico [2], se refiere al modelo de la siguiente manera: el modelo

de Lutz Scholtz, es un modelo hidrológico combinado, por que cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio (Balance Hídrico - Modelo determinístico); y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal (Proceso Markoviano - Modelo Estocástico). Fue desarrollado por el experto en hidrología, Lutz Scholtz para cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

2. La referencia [3] establece lo siguiente: El modelo hidrológico de Lutz Scholtz, ha sido estudiado y calibrado en 19 cuencas de la sierra peruana, ubicadas en las regiones de Cuzco, Huancavelica, Junín y Cajamarca, y es aplicable generalmente para pequeñas y medianas cuencas con escasa información hidrométrica. El modelo de precipitación – escorrentía de Lutz Scholtz fue propuesta por la Misión Técnica Alemana en 1980 para el Ex-Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones - Plan Meris II. El modelo se basa fundamentalmente en el balance hídrico y en parámetros parciales de tipo determinístico. Este método permite combinar los factores que producen e influyen en los caudales, tales como, la precipitación, evaporación, el almacenamiento y la función de agotamiento natural de la cuenca, para el cálculo de las descargas en forma de un modelo matemático.
3. Según la referencias [6, 5], este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo, a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc). Los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.
4. El modelo⁴ [4] se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que puedan ser obtenidos a través de mediciones

⁴Este párrafo está transcrito desde la referencia [4]

cartográficas y de campo. Los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas.

Los procedimientos necesarios a seguir en la implementación del modelo son (en correspondencia a lo establecido en la referencia [7]):

1. Cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escorrentía promedio.
2. Establecimiento de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en cuencas sin información hidrométrica.
3. Calibración del modelo y generación de caudales extendidos por un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes con el caudal del mes anterior.

2.2.1. Balance hídrico

La relación fundamental que establece el balance hídrico en mm/mes está representado por la Ecuación 2.1.

$$CM_i = P_i - D_i + G_i + A_i \quad (2.1)$$

y los componentes de la ecuación 2.1, son:

- CM_i , es el caudal mensual, en mm/mes
- P_i , representa la precipitación mensual sobre la cuenca
- D_i , déficit de escurrimiento, en mm/mes
- G_i , gasto de la retención de la cuenca, en mm/mes

- A_i , abastecimiento de la retención, en mm/mes

En periodos largos(considerando periodos anuales), el Gasto y el Abastecimiento de la retención coinciden en cantidad, que es lo mismo decir $G_i = A_i$, y en periodos de un año en promedio, una parte de la precipitación se transforma en evaporación, reemplazando $P - D$ por $C * D$ en la Ecuación 2.1, y transformando de mm/mes a m^3/s , se obtiene la relación 2.2

$$Q = c * C * P * AR \quad (2.2)$$

La ecuación 2.2 coincide con el método racional, donde:

- Q , es el caudal, en m^3/s
- c , coeficiente del conversión del tiempo, en mes/seg
- C , coeficiente de escurrimiento
- P , precipitación total mensual, en mm/mes
- AR , área de la cuenca, en m^2

2.2.2. Coeficiente de escurrimiento

Se considera el modelo empírico utilizada en la Referencia [8], y está expresado por la ecuación 2.3

$$C = \frac{P - D}{P} \quad (2.3)$$

desde la Ecuación 2.3, cada componente se corresponde:

- C , coeficiente de escurrimiento

- P , precipitación total anual, en $mm/año$
- C , déficit de escurrimiento, en $mm/año$

Para obtener el parámetro D se efectúa mediante la Ecuación 2.4.

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.4)$$

donde:

- L , coeficiente de temperatura
- T , temperatura media anual, en grados centígrados
- $L = 300 + 25(T) + 0.05 * (T)^3$

El coeficiente de escurrimiento no es general para toda la sierra peruana, la ecuación 2.5 es válida para la región sur.

$$C = 3.16E12 (P^{-0.571}) (EP^{-3.686}), \quad r = 0.96 \quad (2.5)$$

$$D = -1380 + 0.872(P) + 1.032(EP), \quad r = 0.96 \quad (2.6)$$

Cada parámetro representa:

- C , coeficiente de escurrimiento
- D , déficit de escurrimiento, en $mm/año$
- P , precipitación total anual, en $mm/año$
- EP , evapotranspiración total anual, según Hargreaves, en $mm/año$

- r , coeficiente de correlación

2.2.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración es la medida conjunta de la pérdida de agua en una cuenca, tomando en cuenta la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Para obtener la evapotranspiración potencial, se obtiene por el modelo empírico establecido por Hargreaves, expresado por la Ecuación 2.7

$$EP = 0.0075 * (RSM) * (TF) * (FA) \quad (2.7a)$$

$$RMS = 0.0075 * (RA) \sqrt{\frac{n}{N}} \quad (2.7b)$$

$$FA = 1 + 0.06(AL) \quad (2.7c)$$

Los parámetros de la ecuación 2.7, son:

- RMS , radiación solar media
- FA , coeficiente de corrección por elevación
- TF , temperatura media anual, en $^{\circ}F$
- RA , radiación extraterrestre, en $mmH_2O/año$
- $\frac{n}{N}$, relación entre insolación actual y posible (en %)
- AL , elevación media de la cuenca

Finalmente, la evapotranspiración se puede obtener por cualquier otro modelo disponible.

2.2.4. Precipitación efectiva

Para el cálculo [9, 14] de la Precipitación Efectiva, se supone que los caudales promedios observados en la cuenca pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención. La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escorrentía.

Para el cálculo rápido de la precipitación efectiva se determina, según la referencia [24], la Ecuación 2.8

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P + a_3P + a_4P + a_5P \quad (2.8)$$

donde, cada componente de la Ecuación 2.8, son:

- PE , precipitación efectiva, en mm/mes
- P , precipitación total mensual, en mm/mes
- a_i , coeficiente del polinomio

Las Ecuaciones 2.9 representan los valores límites de la precipitación efectiva y la Figura 2.2 muestra los coeficientes a_i para cada tipo de curva, lo que permiten alcanzar valores de C comprendidos entre 0.15 y 0.45

$$\text{Curva I } PE = P - 120.6, \quad \text{para } P > 177.8mm/mes \quad (2.9a)$$

$$\text{Curva II } PE = P - 86.4, \quad \text{para } P > 152.4mm/mes \quad (2.9b)$$

$$\text{Curva III } PE = P - 59.7, \quad \text{para } P > 127.0mm/mes \quad (2.9c)$$

Finalmente, la relación entre la precipitación efectiva [27] y la precipitación total, está

Figura 2.2: Coeficientes para la obtención de la precipitación efectiva

COEFICIENTES PARA EL CALCULO SEGÚN			
	<i>CURVA I</i>	<i>CURVA II</i>	<i>CURVA III</i>
a_0	(-0.018)	(-0.021)	(-0.028)
a_1	-0.01850	+0.1358	+0.2756
a_2	+0.001105	-0.002296	-0.004103
a_3	-1204 E - 8	+4349 E - 8	+5534 E - 8
a_4	+144 E - 9	- 89.0 E - 9	+ 124 E - 9
a_5	-285 E - 12	-879 E - 13	- 142 E - 11

Fuente: Coeficientes tomados desde [24]

representado por la ecuación 2.10

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{j=1}^{12} \frac{PE_j}{P} \quad (2.10)$$

donde:

- C , coeficiente de escurrimiento
- Q , caudal anual
- P , precipitación total anual
- $\sum_{j=1}^{12} \frac{PE_j}{P}$ suma de la precipitación efectiva mensual



2.2.5. Retención de la cuenca

Bajo la suposición de que para un año promedio [25, 23, 21] exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las relaciones mostrada en las Ecuaciones 2.11

$$R_i = CM_i - P_i \quad (2.11a)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (2.11b)$$

donde, los parámetros de la ecuación 2.11, son:

- CM_i , caudal mensual, mm/mes
- PE_i , precipitación efectiva mensual mm/mes
- R_i , retención de la cuenca mm/mes
- G_i , gasto de la retención mm/mes
- A_i , abastecimiento de la retención mm/mes
- $R_i = G_i$, para valores mayores que cero mm/mes
- $R_i = A_i$, para valores menores que cero mm/mes

Sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total de la cuenca para el año promedio, que para el caso de las cuencas de la sierra varía de 43 a 188 (mm/año), de acuerdo a las referencia [26].

2.2.6. Relación entre descargas y retenciones

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se obtiene según la Ecuación 2.12.

$$Q_t = Q_0 \exp^{-at} \quad (2.12)$$

donde, los parámetros de la ecuación 2.12, son:

- Q_t , descarga en le tiempo t
- Q_0 , descarga inicial
- a , coeficiente de agotamiento
- t , tiempo

Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento [22] de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. En base a los hidrogramas se ha determinado que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa continuando de forma progresiva pero menos pronunciada, hasta el final de dicha estación.

2.2.7. Coeficiente de agotamiento

Este párrafo está tomado desde [28]. Este coeficiente de agotamiento no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente, pero con fines prácticos se puede despreciar la variación del coeficiente "a" durante la estación seca empleando un valor promedio; se ha demostrado que el coeficiente de agotamiento de

la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área en relación al área de la cuenca, expresada mediante la Ecuación 2.13.

$$a = f(\ln(AR)) \quad (2.13)$$

El análisis de las observaciones disponibles muestran, además, cierta influencia del clima, de la geología y de la cobertura vegetal. Se desarrolló una ecuación empírica para la sierra peruana, expresada por la Ecuación 2.14.

$$a = 3.1249E67(AR)^{-0.1144}(EP)^{-19.336}T^{-3.369}(R)^{-1.429}, \quad r = 0.86 \quad (2.14)$$

Es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas:

- Cuencas con agotamiento muy rápido, debido a temperaturas elevadas ($>10^{\circ}\text{C}$) y retención que va de reducida (50mm/año) a mediana (80 mm/año), expresado por la Ecuación 2.15

$$a = -0.00252(\ln(AR)) + 0.034 \quad (2.15)$$

- Cuencas con agotamiento rápido, cuya retención varía entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada(puna), expresado por la ecuación 2.16

$$a = -0.00252(\ln(AR)) + 0.030 \quad (2.16)$$

- Cuencas con agotamiento mediano, cuya retención es alrededor de 80 mm/año y

vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados), Ecuación 2.17

$$a = -0.00252(\ln(AR)) + 0.026 \quad (2.17)$$

- Cuencas con agotamiento reducido por alta retención (mayores a 100mm/año) y vegetación mezclada, ecuación 2.18

$$a = -0.00252(\ln(AR)) + 0.023 \quad (2.18)$$

y los parámetros de las ecuaciones del coeficiente de agotamiento, tomando en cuenta el uso de suelo de las cuencas, son:

- a , coeficiente de agotamiento por día
- AR , área de la cuenca en km^2
- EP , evapotranspiración potencial anual, $mm/año$
- T , duración de la temporada seca en días
- R , retención total de la cuenca, $mm/año$

2.2.8. Almacenamiento hídrico

Son consideradas tres tipos [31, 32] de almacenamientos hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca, y son: acuíferos, lagunas y pantanos, nevados. La determinación de la lámina L que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

Acuíferos

La lámina de almacenamiento de acuíferos está dado por la Ecuación 2.19, en mm/año.

$$L_A = -7.50(I) + 315 \quad (2.19)$$

donde:

- L_A , lámina específica de acuíferos, mm/año
- I , pendiente de desagüe, $I \leq 15\%$

Lagunas y pantanos

La lámina de almacenamiento de lagunas y pantanos está dado por la Ecuación 2.20, en mm/año.

$$L_L = 500 \quad (2.20)$$

donde:

- L_L , lámina específica de lagunas y pantanos, mm/año

Nevados

La lámina de almacenamiento de nevados está dado por la Ecuación 2.21, en mm/año.

$$L_N = 500 \quad (2.21)$$

donde:

- L_N , lámina específica de nevados, mm/año

En correspondencia a la referencia [33], las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva.

2.2.9. Abastecimiento de la retención

Tomando lo establecido en la referencia [28], el abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cuzco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5 %, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se queda establecido en la Figura 2.3.

Figura 2.3: Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias(valores a_i en porcentajes)

Región	Oct	Nov	Dic	Enc	Feb	Mar	Total
Cuzco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana -Plan MERIS II, 1980

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva PE_i , se calcula mediante la ecuación 2.19

$$A_i = a_i \frac{R}{100} \quad (2.22)$$

Donde sus parámetros, desde la ecuación 2.22, son:

- A_i , abastecimiento mensual, déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)
- a_i , coeficiente de abastecimiento (en %)
- R , retención de la cuenca, en mm/año

2.2.10. Determinación del caudal mensual para el año promedio

Está basado en la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos en las secciones anteriores, y está expresado mediante la Ecuación 2.23.

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (2.23)$$

Donde:

- CM_i , caudal del mes i , (mm/mes)
- PE_i , precipitación efectiva del mes i , en (mm/mes)
- G_i , gasto de la retención del mes, en (mm/mes)
- A_i , abastecimiento del mes i , en (mm/mes)

2.3. Generación de caudales mensuales para periodos extendidos

Luego de haber obtenido los caudales para el año promedio, las mismas son extendidas en el tiempo, en esta parte de la generación sintética de caudales se utilizan los modelos estocásticos. El procedimiento se toma de las referencias [23, 24]. A fin de

generar una serie sintética de caudales para períodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden, según las ecuaciones 2.24 con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva en la ecuación.

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (2.24a)$$

$$Q = g(PE_i) \quad (2.24b)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria, expresada por la Ecuación 2.25.

$$Z = z(S)\sqrt{(1 - r^2)} \quad (2.25)$$

La relación general para la generación de caudales mensuales está dado por la ecuación 2.26

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_i) + z(S)\sqrt{1 - r^2} \quad (2.26)$$

y los parámetros de la ecuación 2.26, son:

- Q_i , caudal del mes t
- Q_{t-1} , caudal del mes anterior
- PE_i , precipitación efectiva del mes
- $B1$, factor constante o caudal básico

Se calcula los parámetros B1, B2, B3, r y S sobre la base de los resultados del modelo

para el año promedio por un cálculo de regresión lineal con Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_i como valores independientes. Los cálculos se realizan en base aplicaciones comerciales de estadística.

En consideración a la referencia [21], el proceso de generación requiere de un valor inicial, el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas:

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo.
- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes.
- Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor Q_0 , sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado.

2.4. Evaluación de los resultados

La calidad y evaluación de los caudales generados necesariamente dependerá de la disponibilidad de los registros históricos disponibles, la referencia [23] recomienda realizar las comprobaciones siguientes:

- Para probar si los promedios salen de la misma población, se utiliza el test de Student (Prueba t). Esta prueba debe ser desarrollada para cada mes. Se compara el valor de t con el valor límite ($t_{p,n}$) que indica el límite superior que, con una probabilidad de error del P %, permite decir que ambos promedios pertenecen a la misma población.
- La comparación estadística de promedios se realiza mediante el test de Fischer (Prueba F), que se compara con el valor límite $F_{p/2}(\%, n1, n2)$

Capítulo III: Materiales y métodos

En el presente capítulo se desarrolla la aplicación de la tesis, inicia con la delimitación de la cuenca del Río Chacco, la ubicación de la cuenca en estudio respecto a la división política del Perú y lo establecido por la Autoridad Nacional de Agua (Autoridad Administrativa del Agua y las Unidades Hidrográficas), seguidamente se obtiene las características morfométricas requeridas y la identificación de la ubicación de las estaciones meteorológicas disponibles en la cuenca y cuencas aledañas, el tratamiento de los datos, finalizando con la calibración de los parámetros del modelo Lutz Scholtz para la cuenca Chacco.

3.1. La cuenca del río Chacco

La cuenca del río Chacco se encuentra ubicado en la Región Ayacucho, altitudinalmente abarca desde los aproximadamente 2350 m.s.n.m. hasta los 4200 m.s.n.m., está delimitada por toda la superficie contribuyente con caudal al punto de aforo seleccionado sobre el Río Chacco, abarca una superficie total de 1096.81km^2 .

3.1.1. Punto de aforo

El punto de interés para obtener los caudales medios mensuales se corresponde con el punto de aforo para la cuenca del Río Chacco, la Tabla 3.1 muestra la ubicación considerada como punto de descarga final para la cuenca en estudio; esto se efectúa

con la finalidad de determinar los caudales promedios como un indicador para cubrir los requerimientos para abastecimiento de agua con fines de irrigación en zonas aledañas al punto de captación considerado.

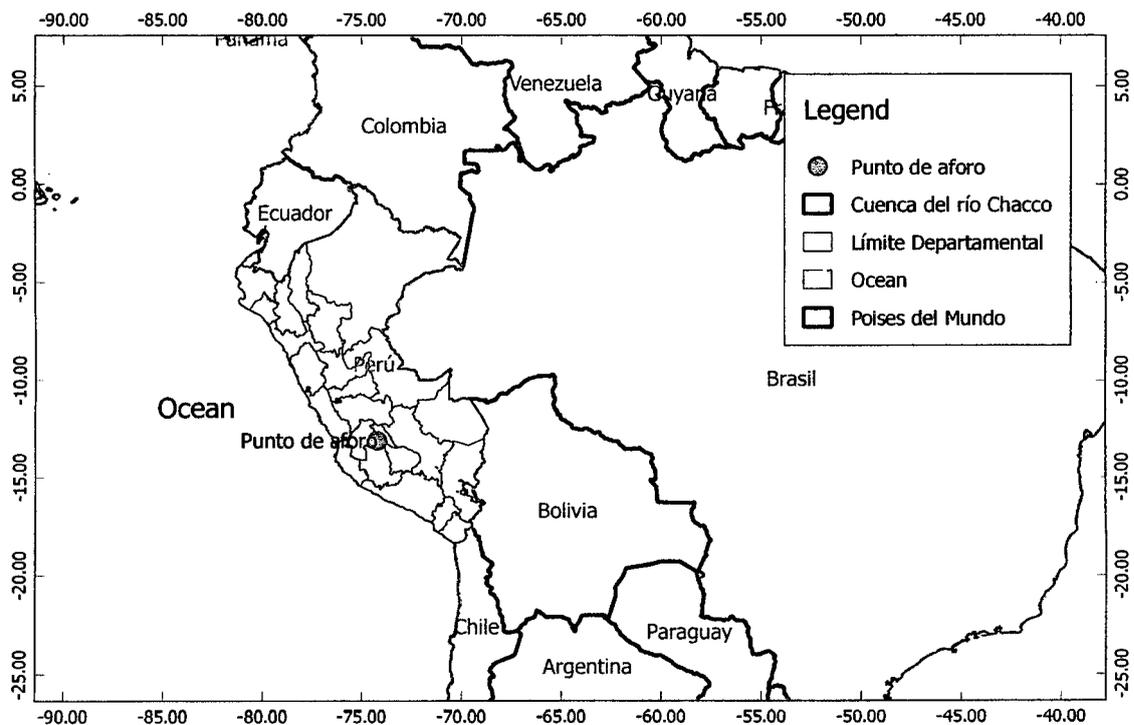
Tabla 3.1: Punto de Aforo para la cuenca del río Chacco

Descripción	Valor	Unidad
Este(m)	585,962.00	m
Norte(m)	8,551,899.00	m
Huso	18	
Zona	L	
Datum	WGS84	

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Ubicación política

Figura 3.4: Localización de la cuenca del Río Chacco (sistema de referencia WGS 84)

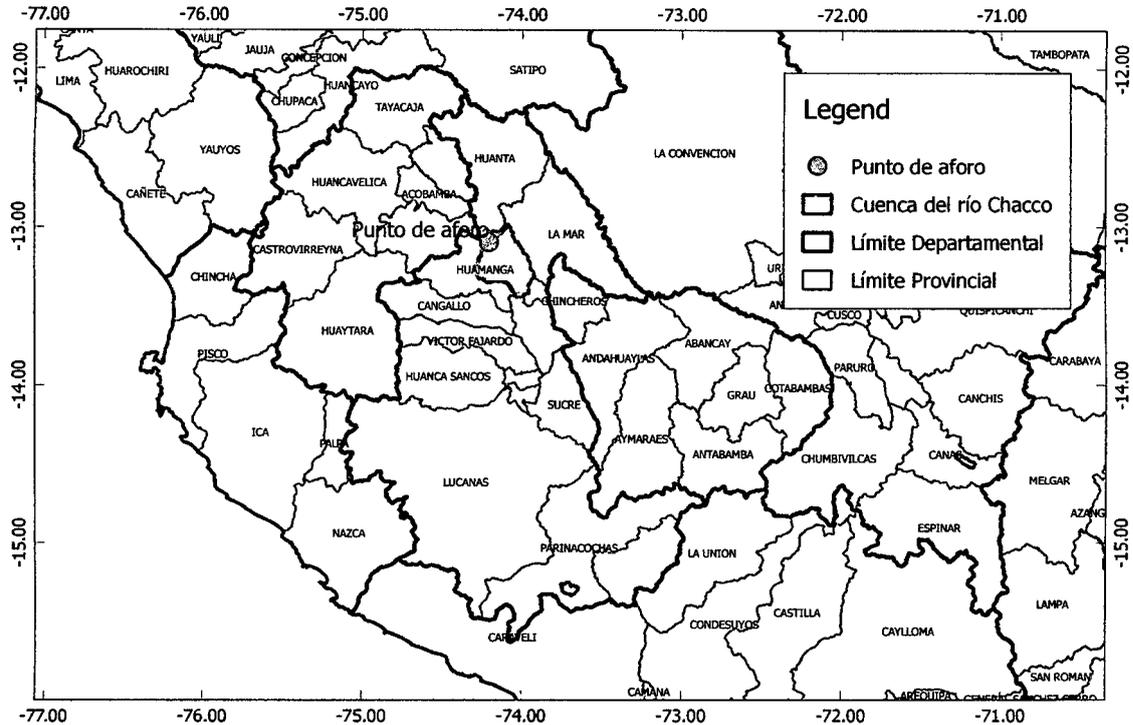


Fuente: Elaboración propia

La cuenca del río Chacco, políticamente se encuentra ubicado en el Perú, región Ayacucho, como queda establecido en la Figura 3.4, abarca parte de la provincia de Huamanga

y Vilcashuamán, la Figura 3.5 muestra la superficie abarcada por la cuenca del Río Chacco en relación a la región Ayacucho y sus Provincias.

Figura 3.5: Ubicación de la cuenca Chacco (sistema de referencia WGS 84)



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Ubicación geográfica

La extensión geográfica de la cuenca del Río Chacco se encuentra especificada en la Tabla 3.2, en correspondencia al cuadro de empalmes de la carta geográfica nacional, la cuenca en estudio, se encuentra contenida por los cuadrantes Huanta, Ayacucho y San Miguel, Tabla 3.3.

Toda la información requerida, a nivel de las diferentes temáticas, como las curvas de nivel, red hídrica, ojos de agua, etc. se obtienen desde el Instituto Geográfico Nacional (IGN), a nivel de archivos tipo vectorial, los archivos de tipo raster se obtienen de servidores gratuitos, delimitando la superficie de ubicación de la cuenca del Río Chacco.

Tabla 3.2: Límites geográficos de la extensión de la cuenca del río Chacco

Descripción	Valor	Unidad
Xmin	575,481.07	m
Ymin	8,513,585.69	m
Xmax	616,964.40	m
Ymax	8,563,250.64	m
Huso	18	
Zona	L	
Datum	WGS84	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3: Cuadrantes de la Carta Geográfica Nacional contenidas por la Cuenca del río Chacco

Código	Nombre
26-ñ	Huanta
27-ñ	Ayacucho
27-o	San miguel

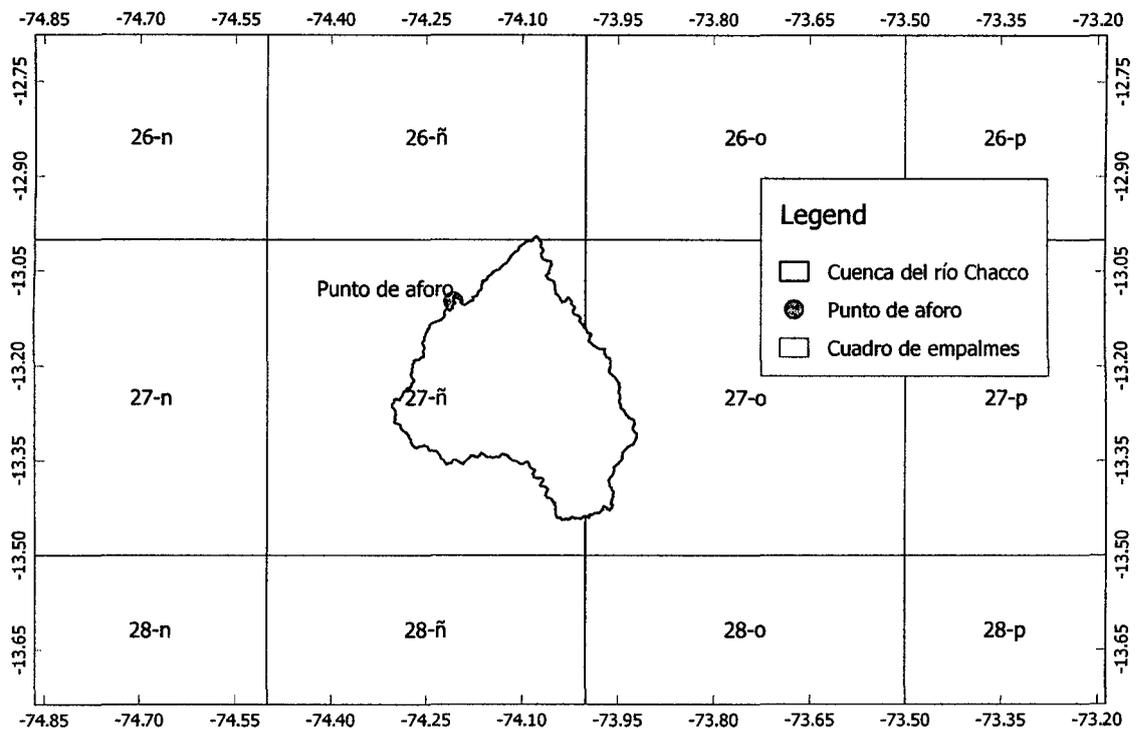
Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Autoridad Nacional del Agua

En correspondencia a lo establecido por la Autoridad Nacional de Agua⁵ el territorio nacional se encuentra dividido en Unidades Hidrográficas (UH) y Autoridades Administrativas del Agua (AAA), designando a las Autoridades Locales del Agua (ALA) como gestores del aprovechamiento hídrico para cada Unidad Hidrográfica. La cuenca del río Chacco, en consideración a la ubicación designada por la Autoridad Nacional del Agua, se encuentra en la Unidad Hidrográfica de la Cuenca Mantaro, Figura 3.8, y respecto a la Autoridad Administrativa del Agua se ubica en la Autoridad Administrativa Mantaro, como queda establecido en la Figura 3.7.

⁵Página web: <http://www.ana.gob.pe/>

Figura 3.6: Cuenca del Río Chacco y su relación con el cuadro de empalmes de la Carta Geográfica Nacional (sistema de referencia WGS 84)



Fuente: Elaboración propia

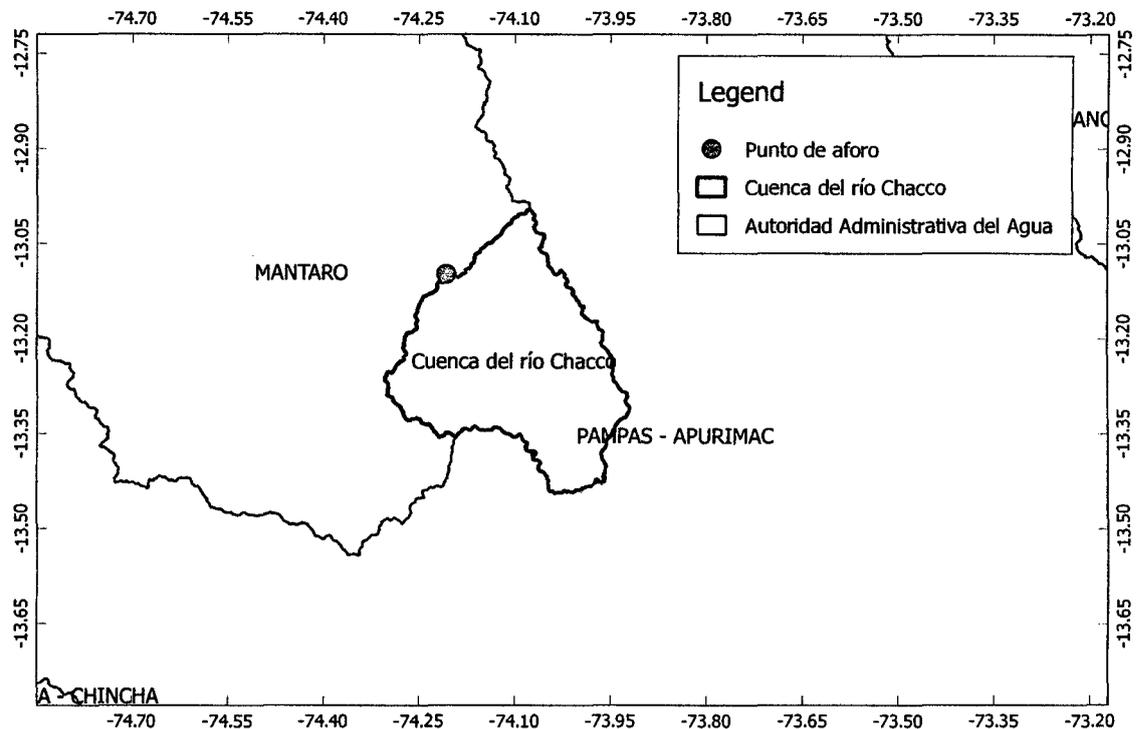
3.1.5. Red Hídrica

Considerando el punto de aforo sobre la red hídrica del río Chacco, en concordancia a la existencia de la red hídrica se considera dos vertientes:

1. La cuenca formada por el río Yucaes, esta red hídrica está alimentado desde el río Ventanillaqocc, Tintay, Canalqasa, que juntamente con los ríos Chumahuayo y Huaqrasimi forman el río Yucaes, que es una vertiente del río Chacco.
2. La cuenca formada por el río Huatatas, Molinohuayqo y Huaqo Corral, que vierten sus aguas al río Chacco.

La unión de estos ríos forma la red hídrica Chacco, hasta el punto de interés, que continua aguas abajo formando el río Pongora y luego el río Cachi. La red hídrica formada hasta el punto de aforo, se muestra en la Figura 3.9.

Figura 3.7: Cuenca del Río Chacco y su ubicación respecto a la Autoridad Administrativa del Agua (sistema de referencia WGS 84)

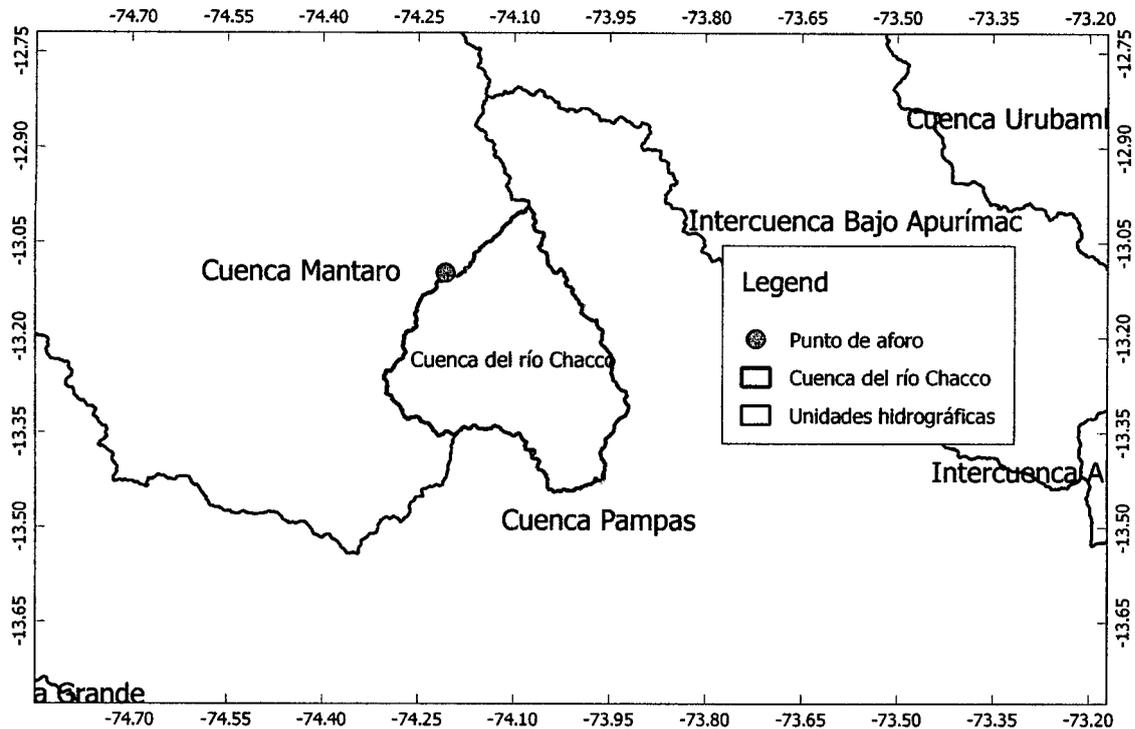


Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Variación altitudinal

Considerando la variación altitudinal para la cuenca en estudio, la cuenca del Río Chacco, inicia en el punto de aforo a una altura sobre el nivel del mar de 2474msnm , hasta una altura de 4320msnm en el extremo más alejado de la cuenca. La cuenca en estudio se encuentra ubicada en la sierra peruana y la cobertura de usos de suelo se encuentran en correspondencia a fines agrícolas, terrenos accidentados teniendo en cuenta la topografía y una parte se encuentra en el piso altitudinal puna, donde la cobertura de la vegetación es escasa. Figura 3.10.

Figura 3.8: Cuenca del Río Chacco y su ubicación con las Unidades Hidrográficas (sistema de referencia WGS 84)



Fuente: Elaboración propia

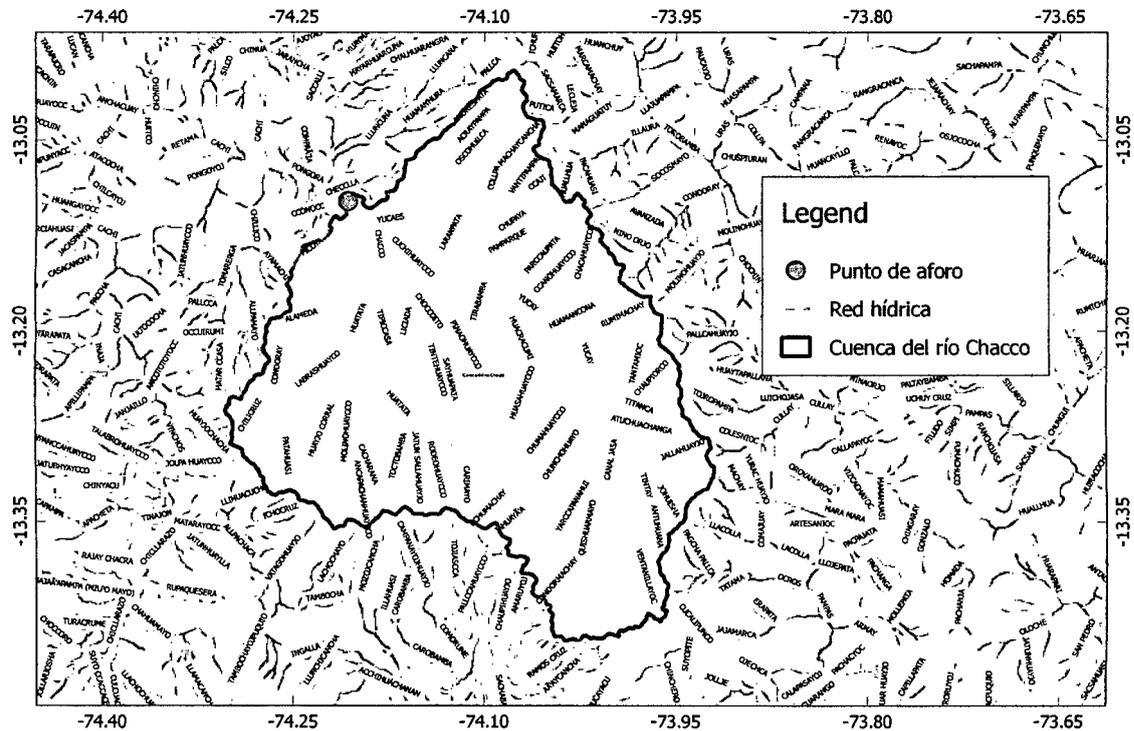
3.1.7. Propiedades morfométricas

Las propiedades morfométricas de la cuenca se detallan divididos en tres aspectos: las relacionadas con la superficie de la cuenca en estudio, las propiedades morfométricas de la red hídrica y otras propiedades que se generan a partir de las bases obtenidas.

3.1.7.1. Propiedades morfométricas de la cuenca

Las propiedades morfométricas de la cuenca del Río Chacco se obtienen mediante la aplicación de sistemas de información geográfica, las propiedades morfométricas requeridas se establecen en la Tabla 3.4, donde se muestra las propiedades referente a la superficie, las cotas sobre el nivel del mar, el centroide, las altitudes características y la pendiente promedio de la cuenca.

Figura 3.9: Cuenca del Río Chacco y la red hídrica (sistema de referencia WGS 84)



Fuente: Elaboración propia

3.1.7.2. Propiedades morfométricas de la red hídrica

Las propiedades correspondientes a la red hídrica, de la cuenca de interés, se muestran en la Tabla 3.5.

3.1.7.3. Otras propiedades generadas

Las propiedades morfométricas generadas se obtienen a partir de las propiedades básicas, las propiedades de la superficie y de la red hídrica, como son el tiempo de concentración, pendientes de la red hídrica, etc. los mismos se muestran en la Tabla 3.6

Tabla 3.4: Propiedades morfométricas de la cuenca

Descripción	Unidad	valor
Área	km ²	1096.81
Perímetro de la cuenca	km	174.82
Cota máxima	msnm	4400
Cota mínima	msnm	2500
X centroide	m	596975.153
Y centroide	m	8537730.43
Z centroide	msnm	3713.26
Altitud media	msnm	3713.26
Altitud más frecuente	msnm	4004.17
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3561.38
Pendiente promedio de la cuenca	%	17.27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5: Propiedades morfométricas de la red hídrica

Descripción	Unidad	valor
Longitud del curso principal	km	60.35
Orden de la Red Hídrica	UND	6
Longitud de la red hídrica	km	1435.932
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	1.81

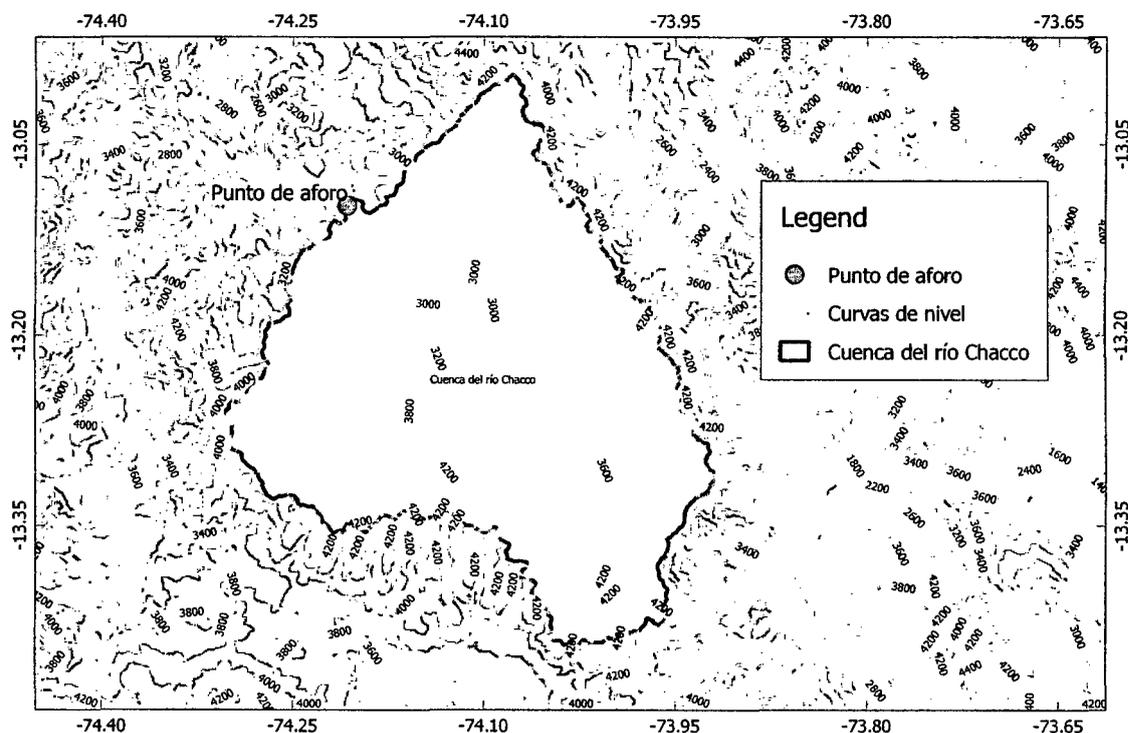
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6: Propiedades morfométricas generadas

Descripción	Unidad	valor
Tiempo de concentración	horas	5.9
Pendiente del cauce principal	m/km	-4714926.61

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Cuenca del Río Chacco y su variación de la altitud sobre el nivel del mar (sistema de referencia WGS 84)



Fuente: Elaboración propia

3.2. Estaciones meteorológicas

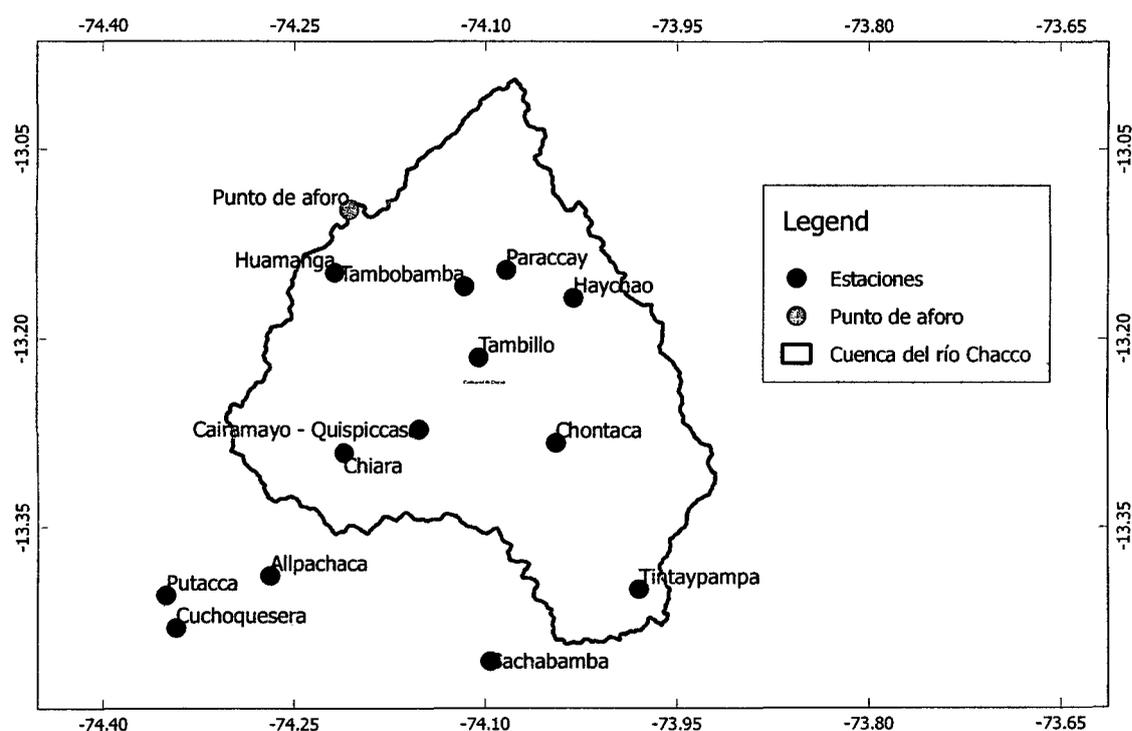
Las estaciones meteorológicas identificadas en la cuenca del río Chacco se muestra en la Figura 3.11, una parte de las estaciones se encuentran operadas y mantenidas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y otra parte forman las estaciones del antiguo Proyecto Especial Río Cachi, actualmente gestionado por PRIDER (Programa Regional de Irrigación y Desarrollo Rural Integrado), institución que forma parte del Gobierno Regional de Ayacucho. Los registros históricos de las variables climáticas requeridas, las precipitaciones, horas de sol, velocidad del viento, etc. se obtienen desde la base de datos del SENAMHI y las disponibles desde los registros mantenidos por el Proyecto PRIDER, a partir de estos registros se obtienen los datos generados a nivel mensual y anual. La Figura 3.11 muestra la ubicación de las estaciones con referencia a la cuenca del río Chacco, se tomó en consideración las

estaciones ubicadas en la superficie de extensión de la cuenca y cuencas aledañas. La ubicación de las estaciones se muestran en la Tabla 3.7 y el rango de la disponibilidad de los datos se encuentran mostrados en la Figura 3.13.

3.2.1. Ubicación

La ubicación de las estaciones meteorológicas consideradas queda establecida en la Figura 3.11, donde muestra la relación espacial de las estaciones disponibles y la superficie de extensión de la cuenca del río Chacco, la ubicación exacta muestra la Tabla 3.7

Figura 3.11: Cuenca del Río Chacco y estaciones meteorológicas seleccionadas (sistema de referencia WGS 84)

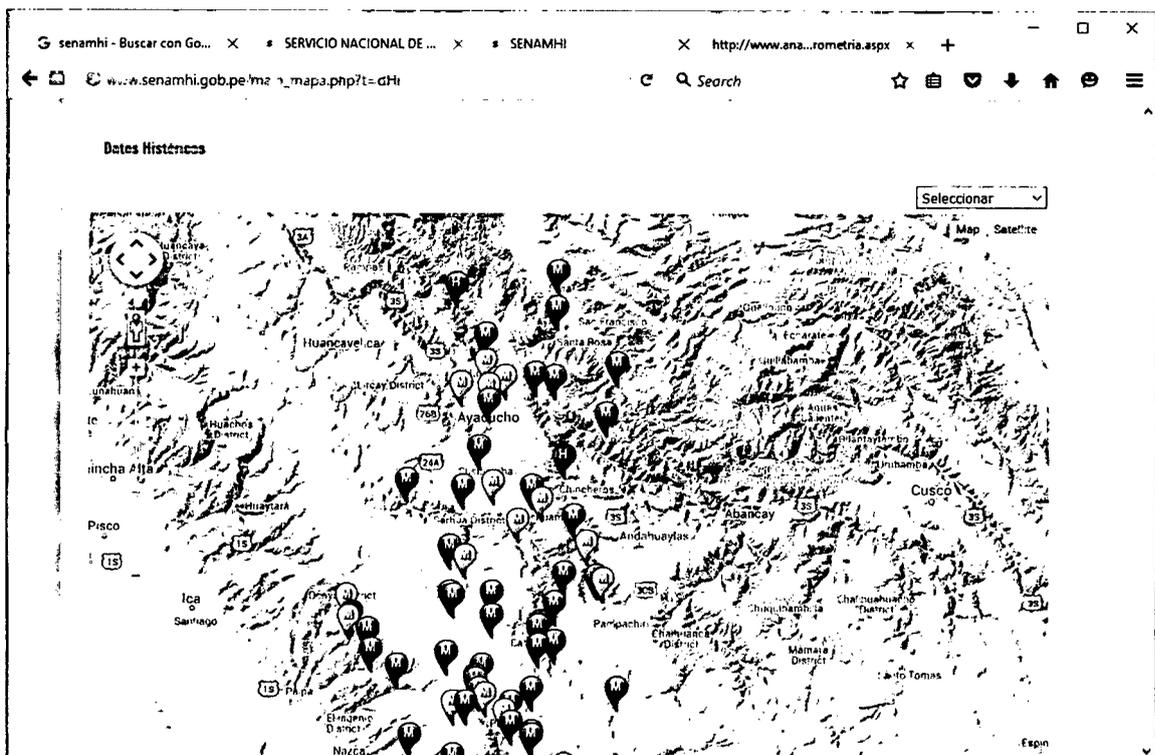


Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Estaciones SENAMHI

Los registros históricos de las precipitaciones y otras variables climáticas de interés en la presente tesis, se obtienen tomando como fuente principal el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y desde la base de datos de la Autoridad Nacional del Agua, la Figura 3.12 muestra las estaciones disponibles para la región Ayacucho.

Figura 3.12: Ubicación de las estaciones meteorológicas para la región Ayacucho, SENAMHI



Fuente: SENAMHI

3.2.3. Rango de la disponibilidad de registros

El rango de los registros está definido por la disponibilidad de los datos obtenidos desde la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y la Autoridad Nacional del Agua, la Figura 3.13 muestra el registro disponible de las precipitaciones a nivel diario de las estaciones meteorológicas seleccionadas. desde la Figura 3.13 se observa que se dispone de registros totalmente dispersos en relación con

el tiempo, algunas estaciones como la estación Putacca dispone del registro de los datos históricos desde el año 1991 hasta el año 2010, pero pocos disponen de este rango de registros, algunas estaciones como la estación Pucaloma, dispone solamente de un año de registro, la misma será retirada desde las estaciones seleccionadas; para un adecuado tratamiento del registro histórico de las precipitaciones es necesario que el registro disponible de todas las estaciones correspondan a un mismo periodo de tiempo, en consecuencia será necesario uniformizar el registro de los datos a un mismo periodo de tiempo de los registros disponibles en las estaciones meteorológicas seleccionadas. Con esta finalidad es posible utilizar varios modelos, algunos basados en experiencias empíricas y otros modelos estocásticos y series de tiempo; tomando los modelos empíricos se tienen modelos específicos para extender precipitaciones diarias, mensuales o anuales; en la presente tesis se trabajará mediante modelos basados en los series de tiempo para extender y uniformizar precipitaciones a nivel mensuales y anuales. Los modelos autorregresivos (AR), los modelos de media móvil (MA) y los modelos autorregresivos de media móvil (ARMA), son suficientes para extender los registros de precipitaciones a nivel mensual y anual, tomando como base los registros disponibles en cada una de las estaciones seleccionadas. Luego de la uniformización de los registros es posible trabajar en este mismo intervalo de tiempo en la cuenca hidrográfica.

3.3. Creación de estaciones sintéticas

Multitud de estudios a nivel mundial utilizan las precipitaciones registradas mediante técnicas de percepción remota, el proyecto *Precipitation Measurement Missions* (PMM), registra las precipitaciones a nivel mundial en intervalos de hasta cada tres horas, para el usuario final se encuentran series históricas del registro de precipitaciones a nivel diario y mensual desde fines del año 2007. El proyecto *Precipitation Measurement Missions* (PMM) de la NASA, está conformado por los proyectos *Global Precipitation Measurement* (GPM) y el proyecto *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM), proyectos creados y mantenidos principalmente por Estados Unidos de Norte América

Tabla 3.7: Estaciones meteorológicas identificadas para la cuenca Chacco(sistema de referencias: UTM, Uso 18, Zona L, Datum WGS84)

Estaciones	X(m)	Y(m)	Altura(msnm)
Putacca	570,338.05	8,518,037.15	3,589.00
Tambillo	596,944.25	8,538,914.99	3,250.00
Sachabamba	597,870.00	8,512,090.45	3,566.00
Pampa Cangallo	587,244.93	8,499,776.83	3,350.00
Huamanga	584,717.03	8,546,421.27	2,772.00
Atunsulla	545,153.43	8,526,056.00	3,900.00
Cuchoquesera	571,194.11	8,515,148.30	3,740.00
Allpachaca	579,163.58	8,519,746.44	3,550.00
Chiara	585,463.92	8,530,619.92	3,599.00
Chontaca	603,447.43	8,531,425.24	3,525.00
Tintaypampa	610,465.81	8,518,431.87	4,125.00
Choccoro	556,198.28	8,516,374.80	4,061.00
Apacheta	538,492.76	8,524,116.26	3,550.00
Cairamayo - Quispiccasa	591,896.36	8,532,665.18	3,585.00
Chilicruz - Tranka	581,018.44	8,459,518.99	2,620.00
Tambobamba	595,732.20	8,545,186.68	3,050.00
Haychao	605,001.24	8,544,138.71	3,225.00
Huanta	581,354.78	8,570,117.50	2,620.00
Paraccay	599,289.94	8,546,587.21	2,900.00
Chaquiccocha	558,481.75	8,512,974.03	4,114.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Rango de la disponibilidad de registros en las estaciones identificadas

Nro	ESTACION	AÑOS																									
		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
1	Putacca																										
2	Tambillo																										
3	Sachabamba																										
4	Pampa Cangallo																										
5	Huamanga																										
6	Atunsulla																										
7	Cuchoquesera																										
8	Allpachaca																										
9	Chiara																										
10	Chontaca																										
11	Pucaloma																										
12	Tintaypampa																										
13	Choccoro																										
14	Apacheta																										
15	Cairamayo - Quispiccasa																										
16	Chilicruz - Tranka																										
17	Tambobamba																										
18	Haychao																										
19	Jollca																										
20	Huanta																										
21	Paraccay																										
22	Chaquiccocha																										

Fuente: Elaboración propia

y Japón. Está comprobado que las precipitaciones registradas en estaciones meteorológicas a nivel del suelo y los registrados por los proyectos TRMM y GPM, cuando se consideran las precipitaciones mensuales y anuales, se observan diferencias muy pequeñas; en la presente tesis se tomarán el registro obtenido a nivel diario y mensual desde el proyecto TRMM y se realizará la respectiva corrección, para luego utilizarlo como argumentos en la generación de los caudales medios mensuales.

3.3.1. Obtención de registros

Los registros de precipitaciones a nivel diario y mensual se obtendrán desde el proyecto TRMM, tomando en cuenta la extensión de la superficie de interés, la cuenca del río Chacco, los registros se pueden obtener desde distintas bases de datos, una alterna-

tiva es la que se describe seguidamente (el procedimiento es el mismo tratándose de precipitaciones diarias y mensuales, solo cambia el producto requerido):

Figura 3.14: Página principal del proyecto PMM

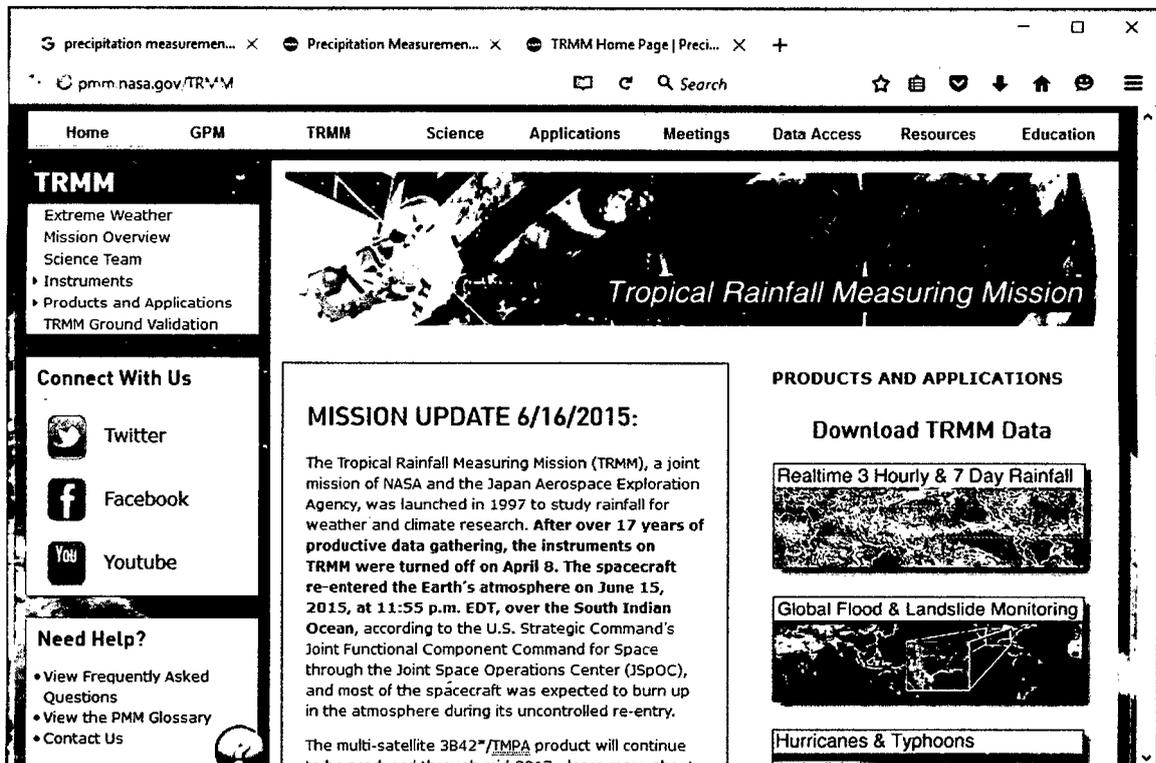


Fuente: Proyecto PMM

1. Ingresar a la página del Proyecto PMM (Precipitation Measurement Mission), desde la siguiente dirección <http://pmm.nasa.gov/>, la ventana principal se muestra en la Figura 3.14
2. Desde la página principal de GPM, entre las opciones, seleccionar e ingresar al proyecto TRMM, lo que da acceso a la siguiente dirección <http://pmm.nasa.gov/TRMM>, la página principal de este proyecto se muestra en la figura 3.15, desde donde seleccionar la opción para *descargar* los registros históricos de precipitaciones.
3. Luego de seleccionar para la obtención de los datos, se muestra la página principal, Figura 3.16, correspondiente a la dirección <http://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>, desde donde se debe seleccionar el nivel de pro-

ducto deseado, en este caso, se corresponde con el nivel tres, registros de datos de precipitaciones procesados para el usuario final y a nivel suelo.

Figura 3.15: Página principal del proyecto TRMM

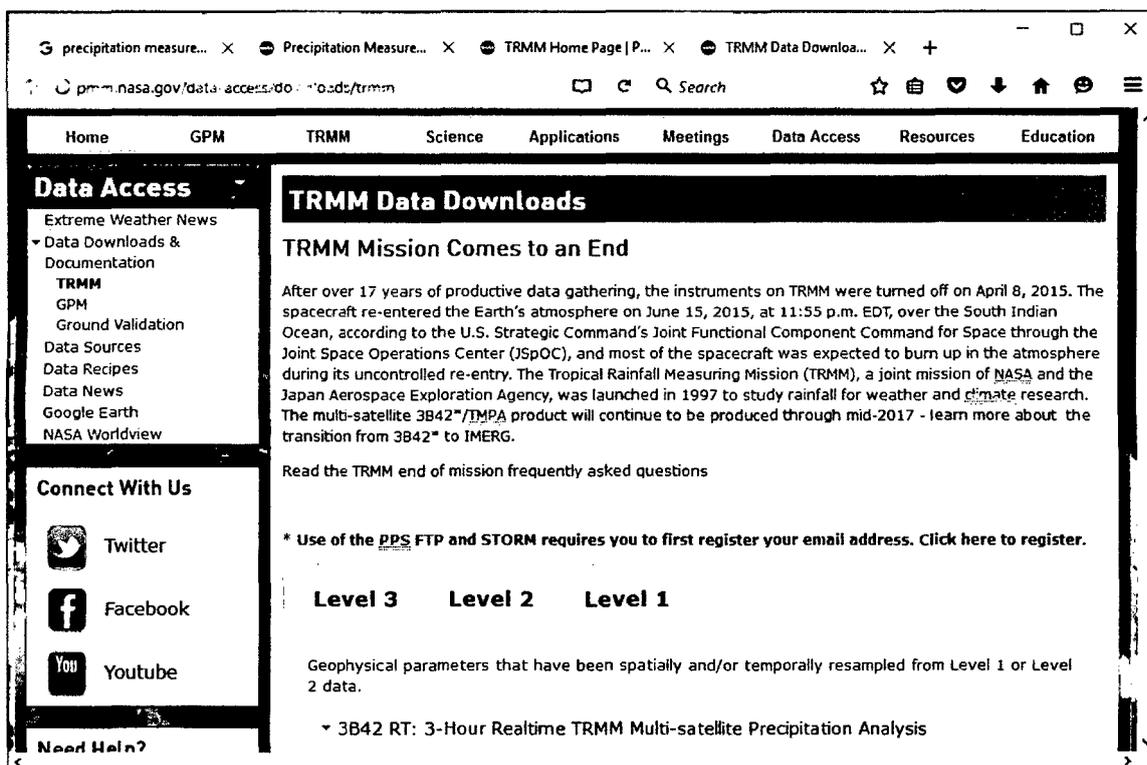


Fuente: Proyecto TRMM

3.3.2. Producto 3b42 derivado

El producto 3B42, correspondiente al nivel tres, del proyecto TRMM, es un producto que se corresponde con las precipitaciones a nivel diario, temporalmente está limitado al registro de la precipitación acumulada diaria desde fines del año 2007 hasta la actualidad, espacialmente se encuentra restringido hasta los trópicos, hasta los 50° de latitud norte y sur, el territorio nacional se encuentra ubicado completamente en la extensión del proyecto. La Figura 3.17 muestra la descripción del producto, los tipos de formatos posibles para el usuario final y la delimitación espacial y temporal; seleccionado un determinado formato se obtiene los registros de las precipitaciones a nivel diario, es necesario especificar para las estaciones sintéticas elegidas la ubicación exacta

Figura 3.16: Niveles de productos del proyecto TRMM



Fuente: Proyecto TRMM

en el sistema de referencia global (World Geodetic System 1984), las latitudes y las longitudes deben quedar expresados en grados, minutos y segundos.

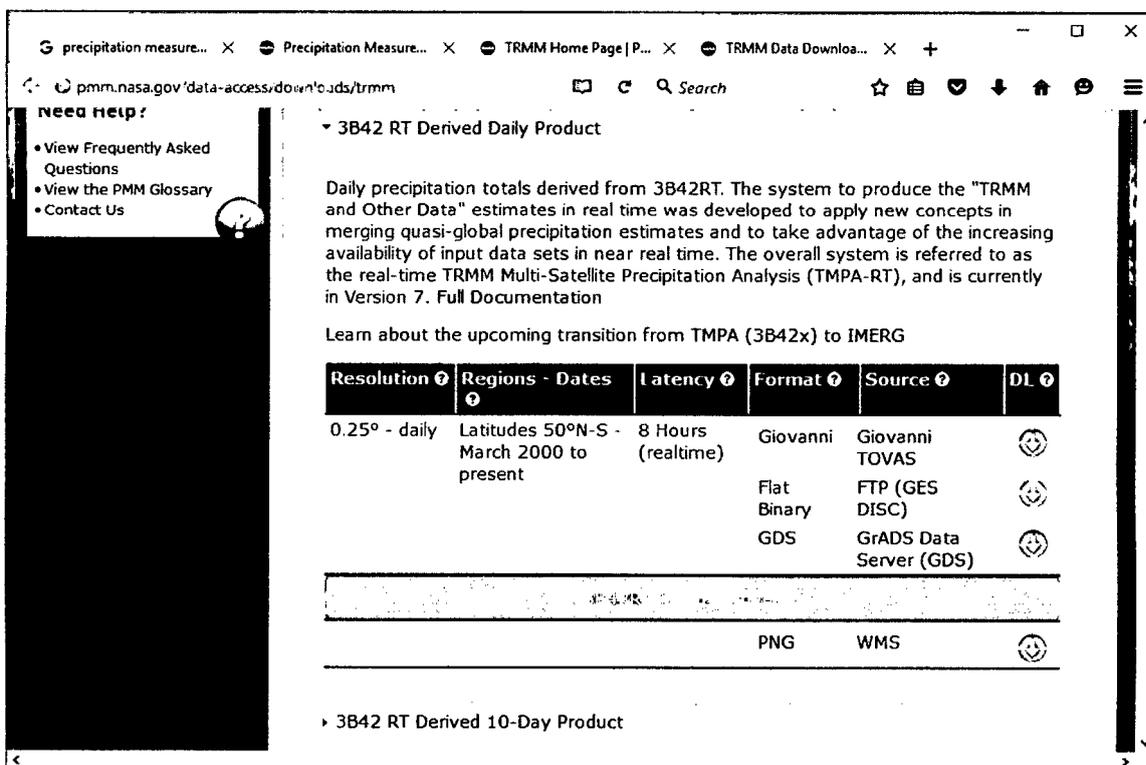
3.3.3. Producto 3B43

Correspondiente a la precipitación mensual, los registros para el usuario final se encuentran en distintos formatos:

- Series de tiempo
- archivos NetCDF (Network Common Data Form)
- archivos HDF (Hierarchical Data Format)

Cada uno de los productos es posible obtenerlo en estos tres formatos, gráficamente estos archivos se trabajan directamente en aplicaciones de sistemas de información

Figura 3.17: Producto 3B42 derivado del proyecto TRMM

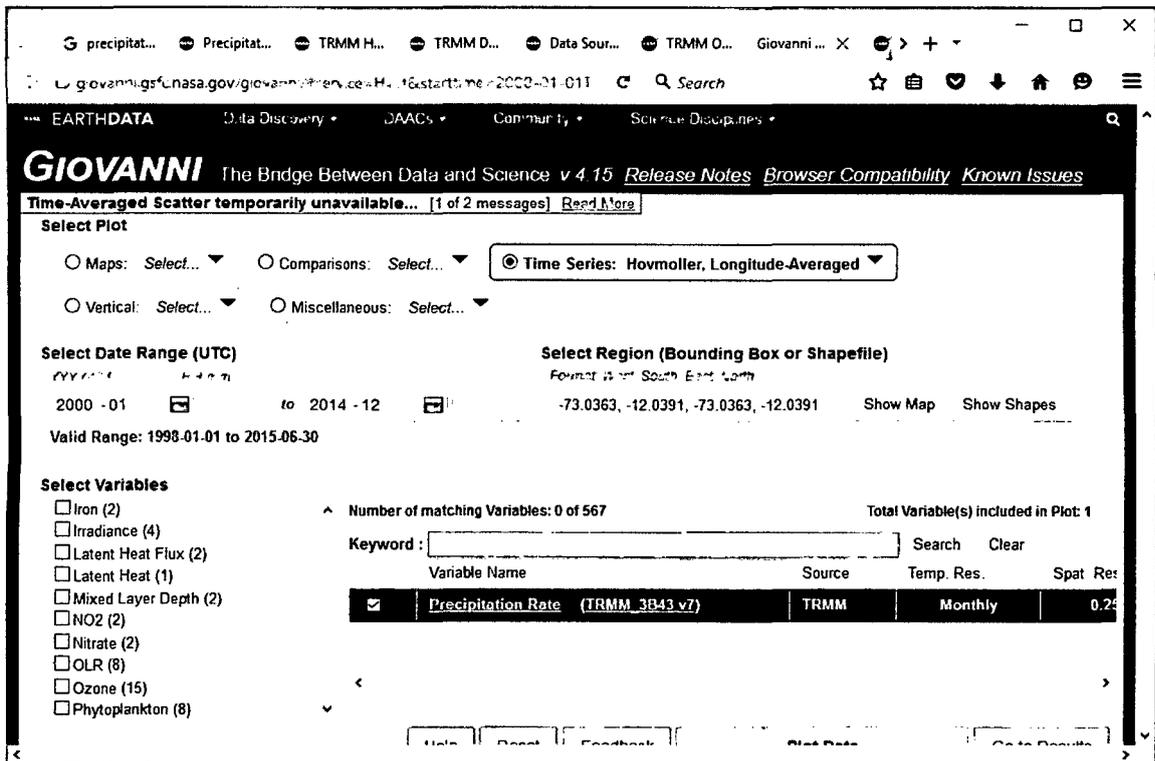


Fuente: Proyecto TRMM

geográfica, o transformando a un archivo común tipo raster. La Figura 3.18 muestra la página principal de la *plataforma Giovanni* para el acceso a datos de los proyectos basados en teledetección, entre ellos el proyecto TRMM.

A partir de la Plataforma Giovanni, Figura 3.18, se procedió a la obtención de los registros de las precipitaciones a nivel diario (producto 3B42) y el producto 3B43 (precipitaciones mensuales), en formatos de series de tiempo y archivos tipo NetCDF; los archivos organizados en formato de series de tiempo se utilizan para el análisis estadístico y como variables directas para los cálculos requeridos en el desarrollo de tesis, mientras que los registros en formatos científicos (NetCDF) es utilizado mediante sistemas de información geográfica con la finalidad de observar la variabilidad de la precipitación sobre la superficie de interés. La Figura 3.19 muestra la extensión de la cuenca hidrográfica del Río Chacco, el perímetro de la cuenca del Río Chacco y el punto de aforo, correspondiente al puente Chacco, contiene la variabilidad de la precipitación en toda la extensión de la cuenca, el producto seleccionado es el correspondiente a las

Figura 3.18: Plataforma Giovanni para el acceso a datos del proyecto TRMM y otros



Fuente: Plataforma Giovanni

precipitaciones diarias, específicamente la precipitación acumulada para el uno de enero del año 2006, debido a la resolución espacial considerada por el proyecto TRMM, celdas de aproximadamente 0.25° , son muy pocas celdas las que corresponden a la superficie de la cuenca del Río Chacco, aproximadamente dos celdas, que muestran la variación de la precipitación en la cuenca en estudio.

Tabla 3.8: Estaciones sintéticas (sistema de referencias wgs84), coordenadas expresado en grados

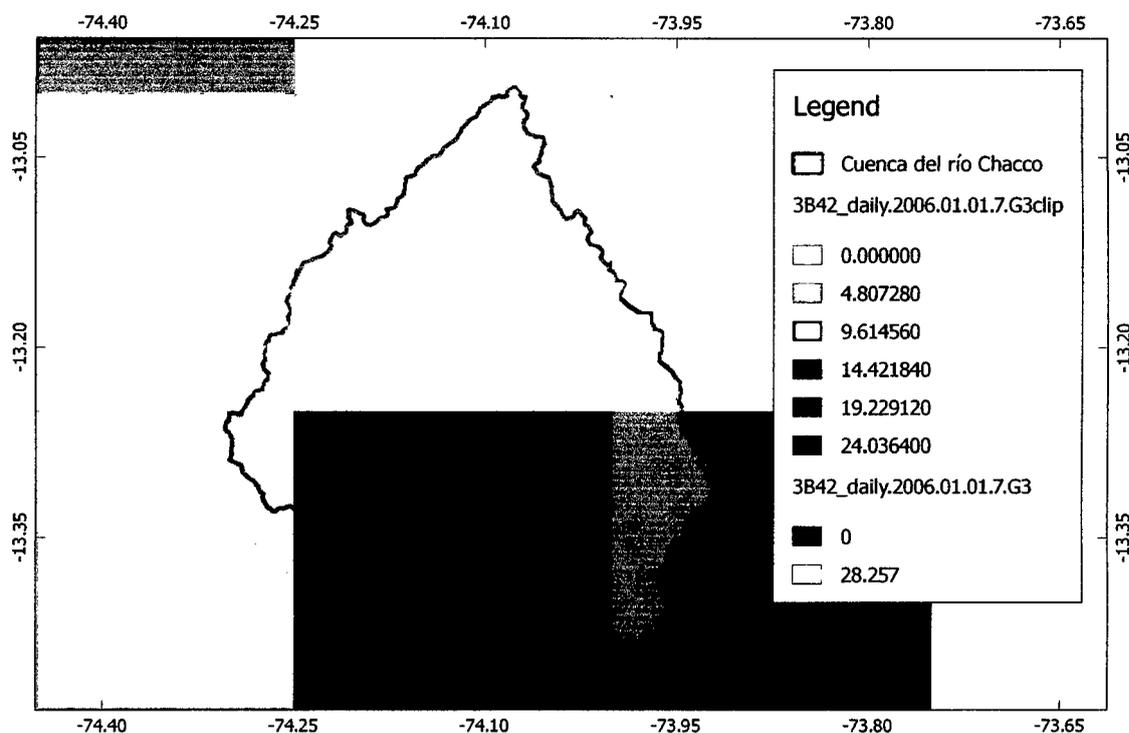
Estaciones sintéticas	Longitud (oeste)	Latitud (sur)
A	74.15944444	13.19877583
B	74.14472222	13.29833333
C	73.97380556	13.31055556

Fuente: Elaboración propia

Sobre estas celdas contenidas por la cuenca, se crean estaciones sintéticas, las consideradas se muestran en la Figura 3.20, el número de las estaciones sintéticas es de acuerdo a la distribución espacial de las celdas (resolución de los archivos) consideradas por el

proyecto TRMM, se definen tres estaciones sintéticas identificadas como estaciones A, B y C ó 1, 2 y 3 respectivamente, cuyos puntos de las estaciones seleccionadas quedan establecidas en la Tabla 3.8, las precipitaciones obtenidas para las estaciones sintéticas establecidas se muestran en las Figuras 3.21 al 3.23.

Figura 3.19: Cuenca del río Chacco y la resolución de las celdas TRMM



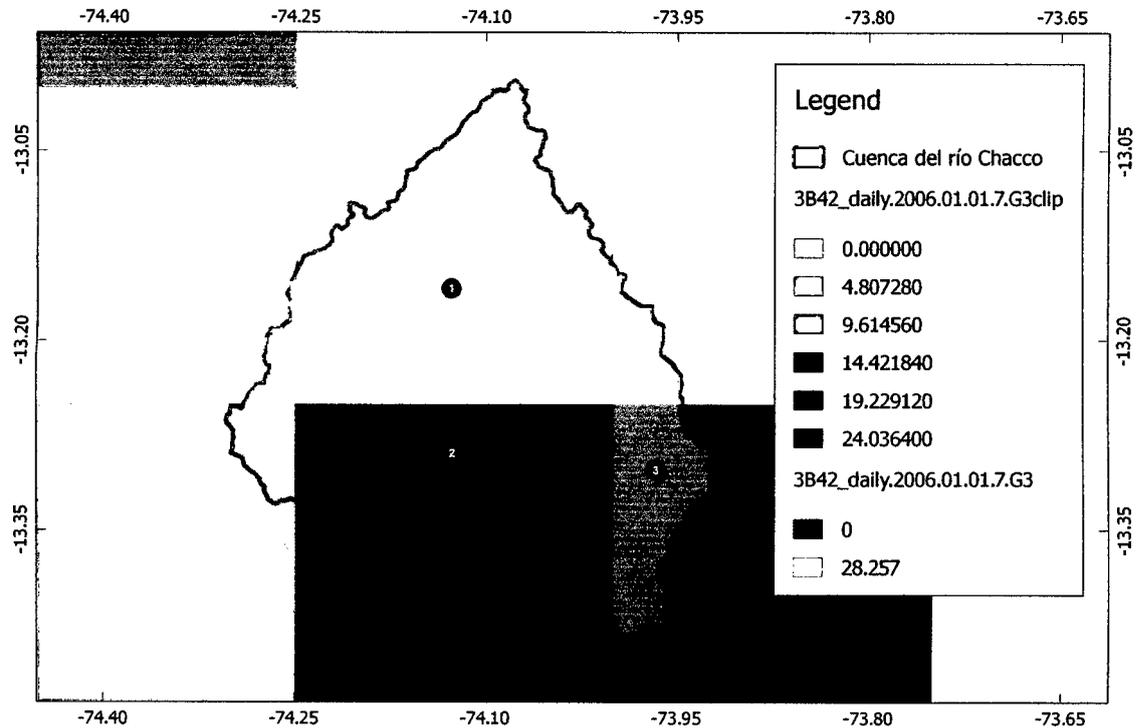
Fuente: Elaboración propia

3.4. Análisis de homogeneidad y consistencia

Los registros de precipitaciones a nivel anual se someten al análisis de homogeneidad y consistencia. Una serie de datos es llamada homogénea [23] si es una muestra de una única población, si los datos evaluados son no homogéneos se deben realizar correcciones para volverla homogénea, de manera que las estimaciones estadísticas muestrales sean válidas estimaciones de los parámetros poblacionales.

En los análisis climatológicos se utiliza el término de homogeneidad de la serie y en los

Figura 3.20: Cuenca del río Chacco, resolución de las celdas TRMM y estaciones sintéticas



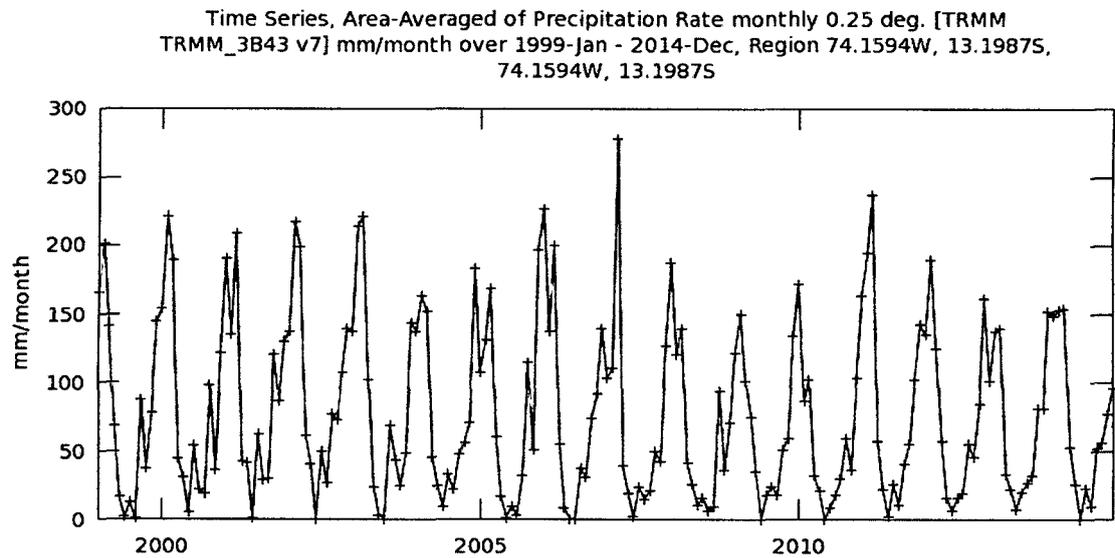
Fuente: Elaboración propia

análisis hidrológicos se emplea el término de consistencia de la serie, ambos términos son sinónimos pues indican un cambio en la cantidad de lluvia medida por una estación. La homogeneidad se analiza comúnmente a través de técnicas estadísticas, y en cambio, la consistencia por lo general se detecta con la técnica de la curva masa doble.

Entre los tipos de pruebas estadísticas de homogeneidad se tiene:

- Prueba estadística de Helmert
- Prueba estadística de las secuencias
- Prueba estadística de la t de student
- Prueba estadística de Cramer
- Prueba estadística de Wald - Wolfowitz
- Técnicas de la curva masa doble

Figura 3.21: Precipitación mensual para la estación sintética A



Fuente: Plataforma Giovanni

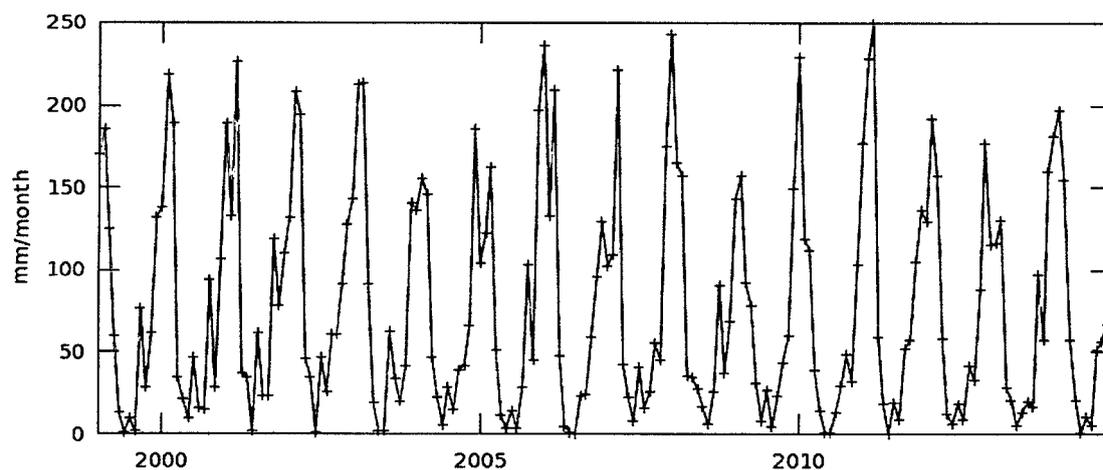
Luego de analizar la inconsistencia de las lluvias anuales, es necesario estudiar tal registro como una serie cronológica o series de tiempo; mediante el análisis de promedios móviles, con esta técnica se detecta los *años secos* y *años húmedos*, así como la *tendencia* y *estacionalidad* de la serie, si ésta existe, si bien estos análisis son muy importantes no atañe a los fines y objetivos de la investigación actual.

Una serie cronológica o serie de tiempo es toda secuencia de observaciones tomadas en tiempos específicos y generalmente igualmente espaciados. Una serie cronológica dispone de cuatro componentes característicos :

- **Tendencia:** indica hacia donde “tiende” la serie cronológica.
- **Componente estacional:** indica las variaciones periódicas que ocurren a largo plazo (en periodos mayores a un año).
- **Componente irregular:** indica las variaciones de los componentes que ocurren al azar (aleatoriedad).

Figura 3.22: Precipitación mensual para la estación sintética B

Time Series, Area-Averaged of Precipitation Rate monthly 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B43 v7] mm/month over 1999-Jan - 2014-Dec, Region 74.1447W, 13.2983S, 74.1447W, 13.2983S



Fuente: Plataforma Giovanni

3.5. Calibración del Modelo Lutz Scholtz para la cuenca Chacco

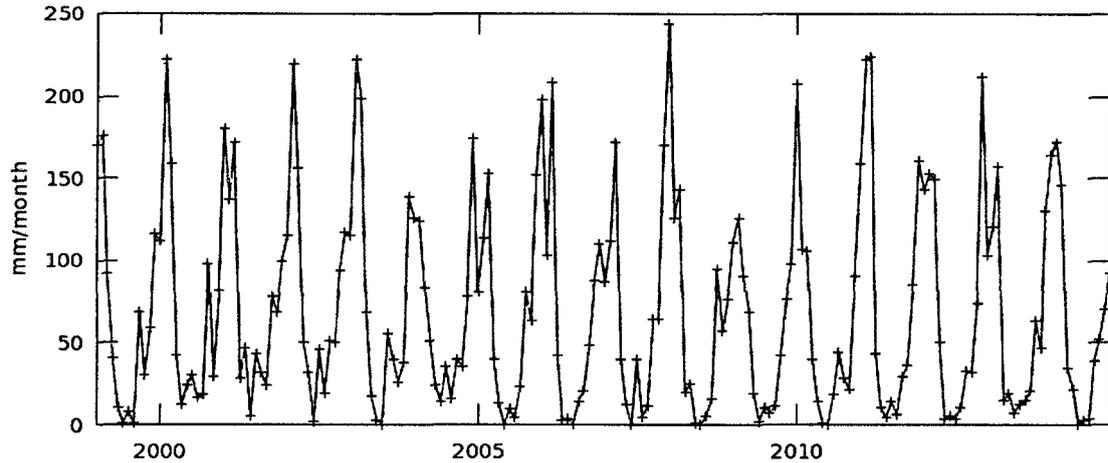
En el proceso de obtención del modelo Lutz Scholtz para una cuenca específica se dispone de dos procesos muy diferenciados y son: el proceso de la obtención de los parámetros del modelo en base a procedimientos determinísticos (matemáticos) y su posterior extensión de los caudales mensuales medios para el cual utiliza un modelo estocástico. Por esta razón, al modelo para la determinación de extensión de los caudales mensuales medios, modelo Lutz Scholtz, se le considera un modelo combinado, compuesto por modelos determinísticos y estocásticos.

3.5.1. Componente determinístico

En esta etapa se determina los caudales mensuales medios para el año promedio, el año promedio, se considera al periodo anual donde se disponen los registros de los caudales

Figura 3.23: Precipitación mensual para la estación sintética C

Time Series, Area-Averaged of Precipitation Rate monthly 0.25 deg. [TRMM TRMM_3B43 v7] mm/month over 1999-Jan - 2014-Dec, Region 73.9738W, 13.3105S, 73.9738W, 13.3105S



Fuente: Plataforma Giovanni

mensuales medios en el punto de interés; se basa en un balance hídrico para la cuenca integral, tomando en consideración los caudales mensuales medios efectivos (los que generan escorrentía), el abastecimiento de la retención que corresponde a los meses donde se tiene probada certeza la ocurrencia de la precipitación y el gasto de la retención, correspondiente a los meses con escasa o ninguna ocurrencia de precipitaciones; es fundamental contar con registros hidrométricos como mínimo para un año entero, en base a esta información determinar y calibrar los parámetros del Modelo Lutz Scholtz.

Es necesaria la determinación de los datos:

- Temperatura media anual.
- Precipitación promedio anual.
- Superficie de la cuenca.
- Precipitación mensual promedio para el año base, y
- Caudal promedio mensual, con fines de verificación y calibración del modelo para

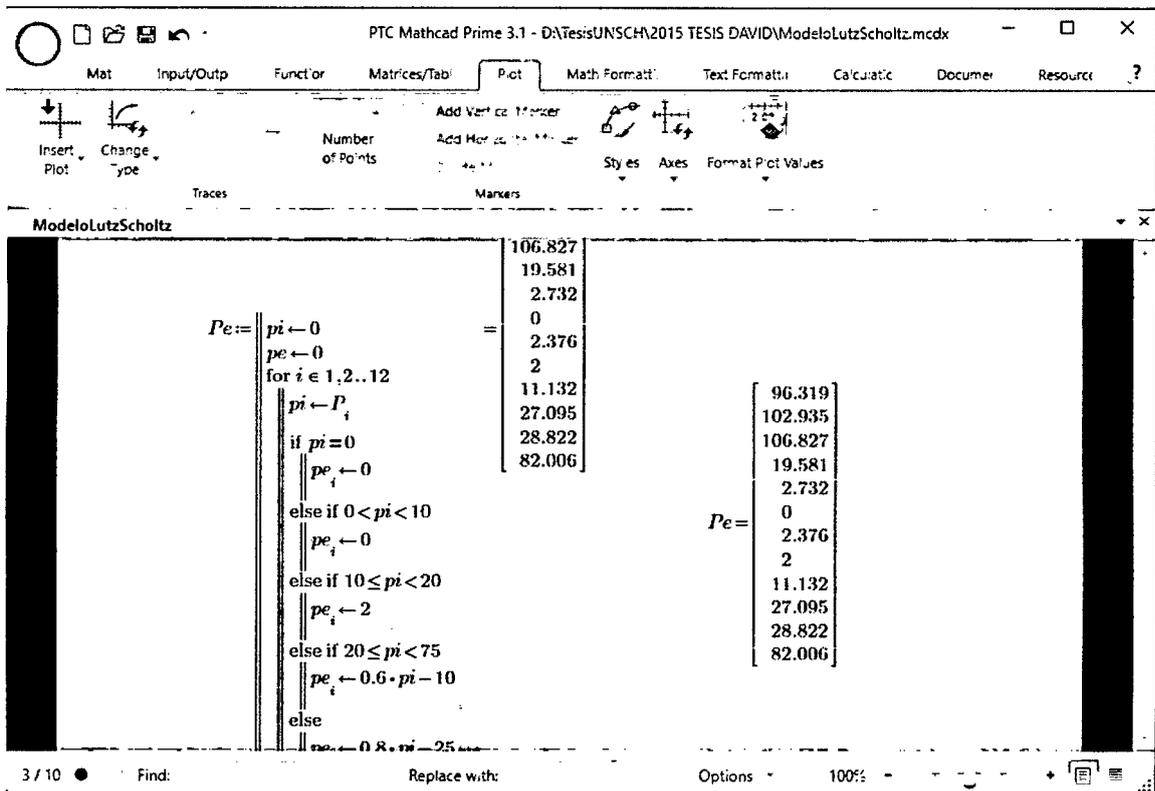
la cuenca del río Chacco.

El registro de las precipitaciones para las estaciones consideradas se encuentran en el Anexo A, mientras los caudales registrados en la Estación Hidrométrica Chacco, considerado el punto de aforo en el desarrollo de la tesis, se muestran en el Anexo B. El proceso de la obtención del modelo Lutz Scholtz se efectúa desde *MATCAD PRIME 3.1*, para el cual se creó una plantilla re-utilizable, dado que la aplicación es sensible al cambio de los datos requeridos, actualizando los procedimientos de inmediato a conveniencia de los registros disponibles en el proceso de análisis, considerando el componente determinístico, se sigue el procedimiento:

- Obtención del coeficiente de escurrimiento de la cuenca Chacco
- Coeficiente de agotamiento
- Precipitación efectiva
- Retención hídrica
- Gasto de retención
- Abastecimiento de la retención, y
- Generación de caudales mensuales para el año promedio

El procedimiento desarrollado se muestra en el Anexo C, culmina con la obtención de los caudales correspondiente para el año base, Figura 3.25, desde donde se observa que el caudal máximo para el periodo considerado $43.7m^3/s$ y un caudal mínimo de $4.57m^3/s$, de la misma forma, la cantidad de la disponibilidad hídrica obtenida se encuentra en concordancia a los meses lluviosos y épocas de estiaje.

Figura 3.24: Calibración del modelo Lutz Scholtz desde MATHCAD PRIME 3.1

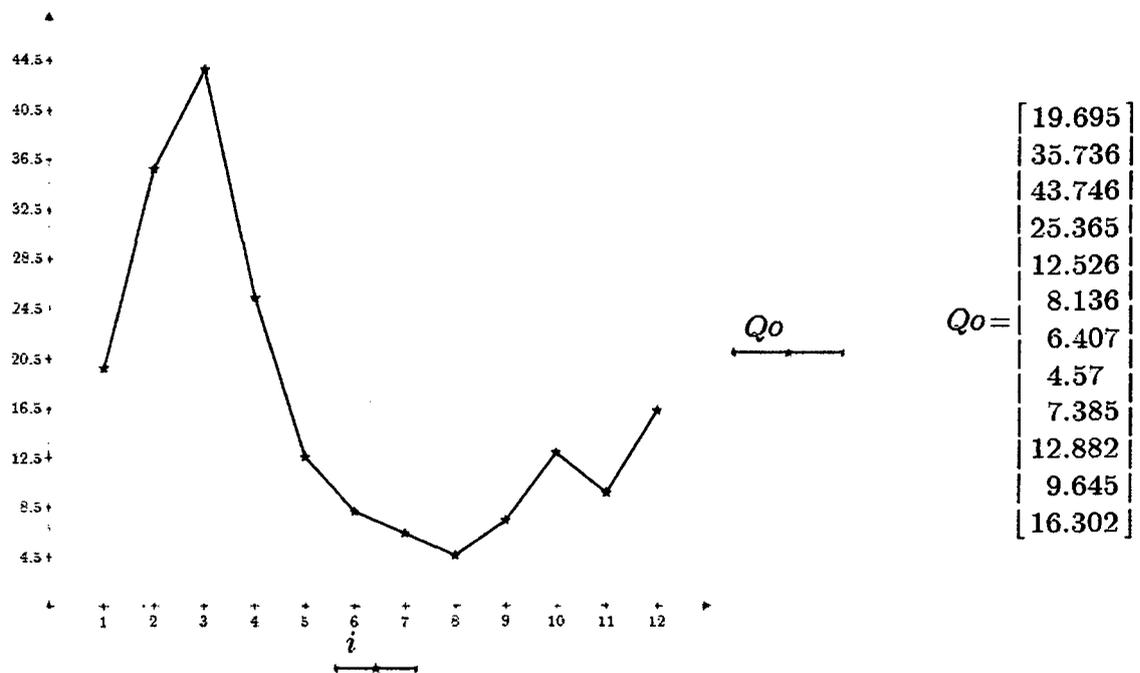


Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Componente estocástico

Basados en principios de una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal, se toma en consideración en regresión lineal múltiple el caudal del mes actual Q_t , el caudal del mes anterior Q_{t-1} y la precipitación efectiva del mes actual P_e ; luego se determina los indicadores de confiabilidad, validez y objetividad del modelo generado. En esta etapa es importante disponer de los registros de caudales correspondientes para la comprobación de los caudales sintéticos generados, si no se dispone del registro para varios años, los análisis de indicadores del modelo se limitan a la evaluación de los resultados del año promedio.

Figura 3.25: Caudales mensuales promedios, obtenido para el año base



Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV: Análisis de los resultados obtenidos

En el presente capítulo se especifican los resultados obtenidos de la calibración del modelo Lutz Scholtz, de la misma forma los coeficientes de confiabilidad y validez del modelo calibrado para la cuenca del Río Chacco.

4.1. Resultados de la investigación

En el proceso del componente determinístico del modelo Lutz Scholtz, se obtienen variables que caracterizan a la cuenca hidrográfica del río Chacco, estas variables hidrológicas obtenidas para la cuenca en estudio se muestran en la Tabla 4.9.

Los parámetros mostrados en la Tabla 4.9 son específicos para el Modelo Lutz Scholtz y la generación sintética de caudales mensuales medios para la cuenca del Río Chacco, donde:

- Pe es la precipitación efectiva, expresado en milímetros por mes.
- Gi es el gasto de retención de la cuenca.
- Ai es el abastecimiento de retención de la cuenca.
- CMi son los caudales mensuales generados para el año promedio.

Tabla 4.9: Parámetros de los caudales promedios mensuales

Mes	Pe(mm/mes)	Gi(mm/mes)	Ai(mm/mes)	CMi(mm/mes)
ENE	96.319	0	48.224	48.095
FEB	102.935	0	24.112	78.823
MAR	106.827	0	0	106.827
ABR	19.581	40.362	0	59.943
MAY	2.732	27.857	0	30.589
JUN	0	19.227	0	19.227
JUL	2.376	13.27	0	15.647
AGO	2	9.159	0	11.159
SET	11.132	6.321	0	17.454
OCT	27.095	4.363	0	31.458
NOV	28.822	0	6.028	22.794
DIC	82.006	0	42.192	39.81

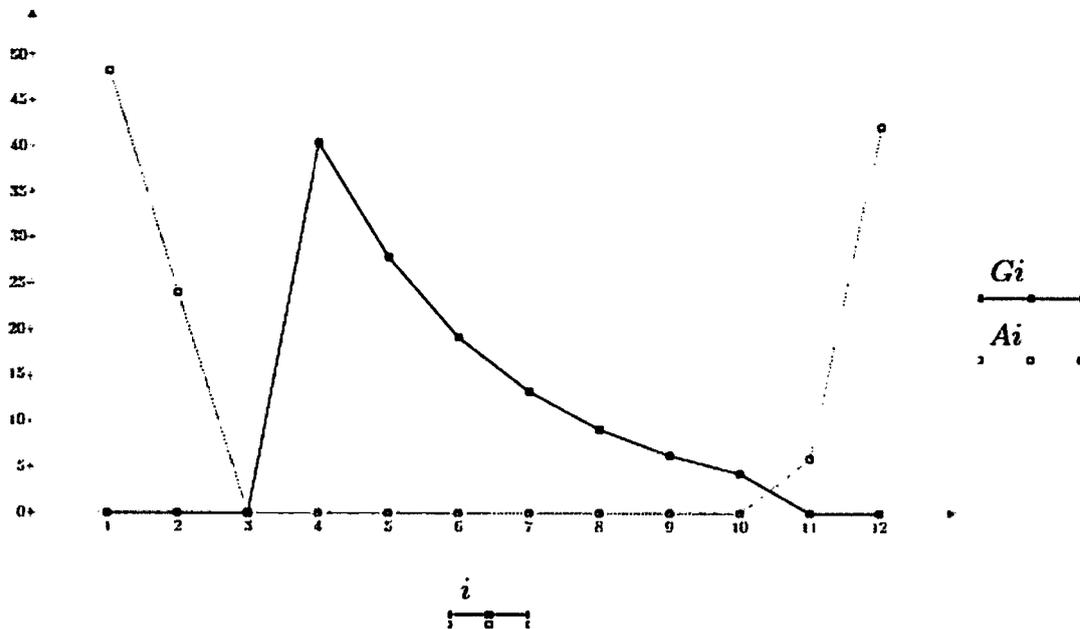
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.10: Caudales mensuales para el año promedio, componente determinístico

Mes	Caudal Aforado (m ³ /s)	Caudales mensuales (m ³ /s) para el año promedio
ENE	10.355	19.695
FEB	43.736	35.736
MAR	28.639	43.746
ABR	7.366	25.365
MAY	3.716	12.526
JUN	2.279	8.136
JUL	1.872	6.407
AGO	1.227	4.57
SET	0.931	7.385
OCT	2.231	12.882
NOV	0.677	9.645
DIC	2.14	16.302

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Variación del gasto de la retención y el abastecimiento de la retención de la cuenca



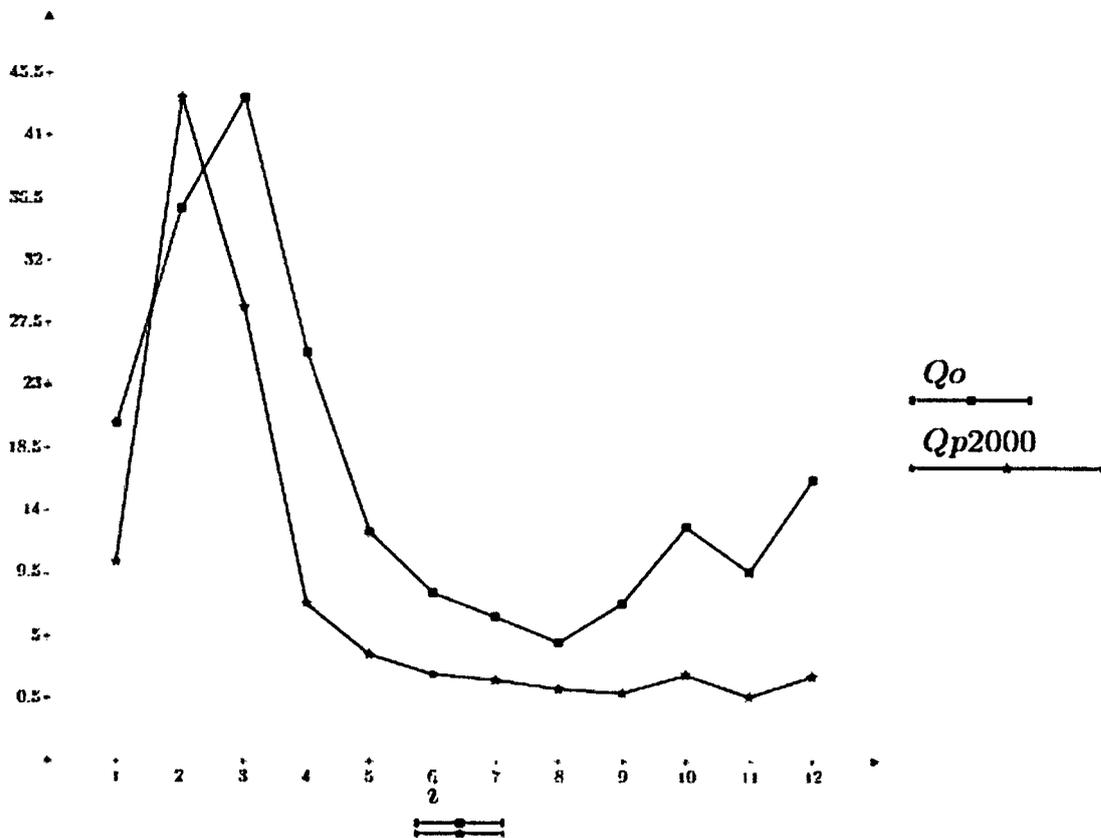
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.10 y la Figura 4.27, contiene el Q_o que es el caudal obtenido mediante el componente determinístico del modelo Lutz Scholtz y Q_{p2000} son los caudales mensuales medios aforados, los registros aforados disponibles fueron realizados por el Proyecto especial Río Cachi, actual PRIDER.

Los coeficientes de correlación para el año promedio, se obtienen desde la Tabla 4.11, para el cual se organiza el caudal del mes actual Q_t , el caudal del mes anterior Q_{t-1} y la precipitación efectiva del mes actual P_e , a partir de estos registros se relacionan las variables mediante una regresión lineal múltiple, donde las variables independientes son el caudal del mes anterior y las precipitaciones efectivas, la variable dependiente es el caudal actual; dado que todos los términos se encuentran expresados en mm/mes las operaciones se efectúan sin alteración alguna.

El modelo así obtenido, Ecuación 4.27, es utilizada para la generación sintética de caudales mensuales medios, calibrados para la cuenca del río Chacco.

Figura 4.27: Caudales mensuales promedios obtenidos y registrados



Fuente: Elaboración propia

$$Q_t = b_1 + b_2 Q_{t-1} + b_3 P_e + S \quad (4.27)$$

Los parámetros de esta ecuación se encuentran establecidos en la Tabla 4.13, así:

- El parámetro b_1 es igual a 20.369
- El valor de b_2 es -0.10459529
- El valor de b_3 es 0.597299
- S es el componente aleatorio, con distribución normal, de media cero y varianza igual a uno.

Tabla 4.11: Relación de los caudales y la precipitación efectiva (en mm/mes)

Qt	Qt-1	PE
48.095	78.823	96.319
78.823	106.827	102.935
106.827	59.943	106.827
59.943	30.589	19.581
30.589	19.227	2.732
19.227	15.647	0
15.647	11.159	2.376
11.159	17.454	2
17.454	31.458	11.132
31.458	22.794	27.095
22.794	39.81	28.822
39.81	48.095	82.006

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la ecuación regionalizada para la generación sintética de caudales mensuales medios en la cuenca del río Chacco está determinada por la Ecuación 4.28.

$$Q_t = 20.369 - 0.10459529Q_{t-1} + 0.597299P_e + S \quad (4.28)$$

4.2. Análisis de los resultados

Los indicadores estadísticos completos se adjunta en el Anexo D, desde la Tabla 4.12 se observa los coeficientes estadísticos, se dispone de un coeficiente de correlación múltiple de 0.8019, en concordancia a la interpretación del coeficiente estadístico es un indicador adecuado; de igual manera el modelo obtenido dispone de un coeficiente de determinación a nivel de 0.64, siendo un indicador adecuado.

Tabla 4.12: Estadísticas de la regresión

Descripción	Indicador
Coefficiente de correlación múltiple	0.8019075
Coefficiente de determinación R^2	0.64305564
R^2 ajustado	0.56373467
Error típico	19.1622445
Observaciones	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13: Coeficientes de la regresión

Descripción	Coefficientes
Intercepción	20.3690952
Variable X 1	-0.10459529
Variable X 2	0.597299

Fuente: Elaboración propia

Caudales Promedios Generados

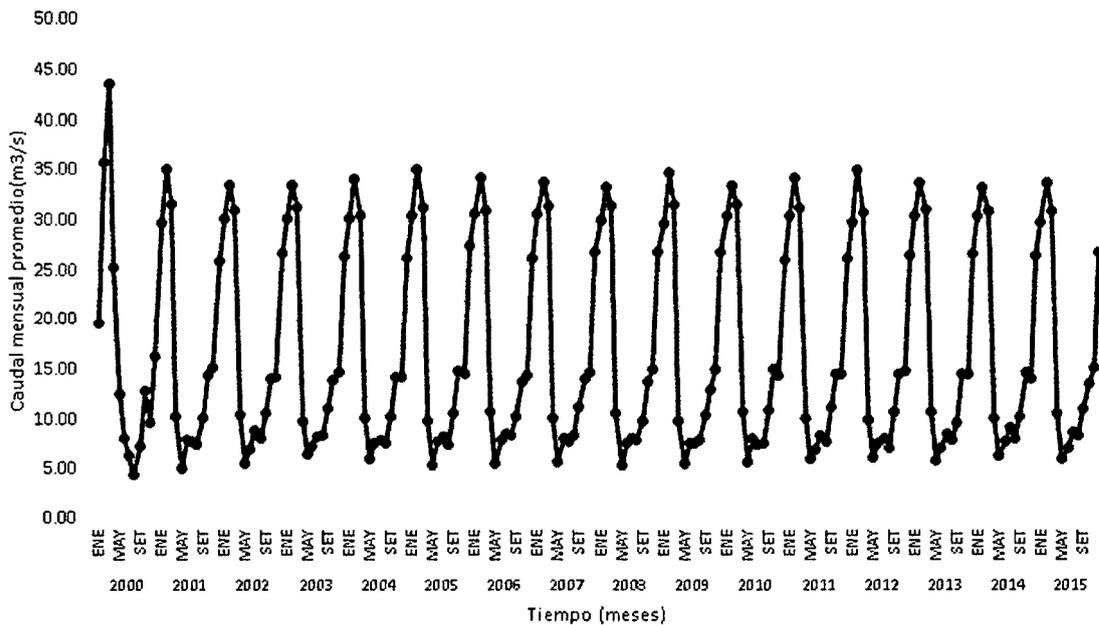


Figura 4.28: Caudales promedios mensuales generados para la cuenca Chacco

4.3. Caudales generados

A partir de la ecuación calibrada para la cuenca del Río Chacco, ecuación 4.28, se genera los caudales promedios mensuales, en correspondencia a la etapa estocástica del modelo calibrado, los resultados así obtenidos, desde el año 2000 hasta diciembre del año 2015, Figura 4.28. Para la generación sintética de los caudales se toma como año base los caudales promedios registrados en el año 2000, registros efectuados por el antiguo *Proyecto Especial Río Cachi*, actual PRIDER.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

En el desarrollo de la tesis se obtuvo los parámetros del modelo Lutz Scholtz para la generación de caudales mensuales medios específicos en la cuenca del Río Chacco.

En correspondencia al objetivo principal se obtuvo el siguiente modelo:

- La ecuación obtenida es: $Q_t = 20.369 - 0.10459529Q_{t-1} + 0.597299P_e + S$, es un modelo específico para la generación de caudales sintéticos mensuales medios en la cuenca del río Chacco; con un coeficiente de determinación R^2 se encuentra a nivel de 0.64305564.

Teniendo en cuenta los alcances de los objetivos secundarios:

- Los registros de las variables climáticas en la superficie de influencia de la cuenca del Río Chacco es determinante para la obtención y calibración del modelo Lutz Scholtz.
- Se obtiene los parámetros del modelo Lutz Scholtz y son: $b_1 = 20.369$, $b_2 = -0.10459529$ y $b_3 = 0.597299$, con S de componente estocástico, que responde a la distribución normal con media cero y varianza igual a uno.

- El modelo calibrado Lutz Scholtz para la cuenca Chacco, genera los caudales medios mensuales, sin embargo, en periodos de tiempo considerados estos caudales sintéticos deben ser corroborados con registros directos.

5.2. Recomendaciones

El modelo obtenido es específico para la generación de caudales mensuales medios en la cuenca del Río Chacco, considerando como punto de aforo el Puente Chacco. Para su diseño se basó en los registros hidrométricos efectuado por el antiguo Proyecto especial Río Cachi, proyecto actualmente gestionado por PRIDER. Para generalizar el modelo Lutz Scholtz a otras cuencas de la región es importante su calibración del modelo y obtención de los parámetros específicos para la cuenca de interés.

5.3. Limitaciones del modelo

El modelo se encuentra limitado, por:

- Espacialmente la generación de caudales mensuales medios se encuentra en correspondencia a la superficie de la cuenca del Río Chacco, considerando como punto de drenaje el Puente Chacco, en el desarrollo del proyecto se indica las coordenadas del punto de aforo, así el modelo obtenido es específico para esta cuenca, su uso no es recomendable en extensión a otras cuencas de la región, para esta finalidad debe crearse modelos específicos.
- Los indicadores estadísticos, el coeficiente de determinación R^2 se encuentra a nivel de 0.64305564 y determina las limitaciones propias del modelo.
- En consideración a las limitaciones del tiempo, el modelo genera los caudales mensuales medios sintéticos a partir de febrero del año 2000, hasta el periodo

requerido por el usuario final.

5.4. Trabajos futuros

El modelo Lutz Scholtz considera dos aspectos importantes para su calibración: requiere de alguna propiedad morfométrica de la cuenca, el registro de las precipitaciones mensuales y registros hidrométricos para su validación, en futuros proyectos se realizará la generación de caudales en base a teorías de series de tiempo, para su extensión a partir de un registro comprobado.

Bibliografía

- [1] Robert F Adler y col. “Tropical rainfall distributions determined using TRMM combined with other satellite and rain gauge information”. En: *Journal of Applied Meteorology* 39.12 (2000), págs. 2007-2023.
- [2] Ministerio de Agricultura Perú. *Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Ilave*. Inf. téc. Autoridad Nacional de Agua, Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, Administración Local del Agua Ilave, 2009, pág. 282.
- [3] Ministerio de Agricultura Perú. *Evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Ocoña*. Inf. téc. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Intendencia de Recursos Hídricos, 2007, pág. 152.
- [4] Ministerio de Agricultura y Alimentación. *Plan de mejoramiento de riego en la sierra Plan MERIS 1ra. etapa*. Inf. téc. Dirección General Ejecutiva del Programa Especial, Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones, 1980, pág. 250.
- [5] Autoridad Nacional de Agua. *Diagnóstico de problemas y conflictos en la gestión de recursos hídricos en la cuenca Chinchipe Chamaya*. Inf. téc. Dirección de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos, 2011, pág. 298.
- [6] Autoridad Nacional de Agua. *Estudio integral de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Acarí y Yauca, componente de estudio de inventario de fuentes de agua superficiales*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, 2003, pág. 138.

- [7] Ministerio del Ambiente Perú. *Estudio hidrológico de la cuenca de Huacrahuacho*. Inf. téc. Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología del Perú, 2010, pág. 131.
- [8] Hydrological Geotechnical Services Perú Sociedad Anónima. *Estudio de ubicación de zonas de captación y ubicación de reservorios de agua para la comunidad de Pará*. Inf. téc. Gerencia de Hidrología y Geomecánica, Departamento de Hidrología, 2011, pág. 107.
- [9] Justo Virjilio Gonzáles Cornejo. *Hidrología para la construcción de la minipresa Río Blanco*. Inf. téc. Municipalidad Provincial de Condesuyos, 2012. Cap. Capítulo 3, pág. 105.
- [10] Tim Davie. *Fundamentals of Hydrology*. Taylor & Francis Ltd., 2007. ISBN: 0415399874. URL: http://www.ebook.de/de/product/6970618/tim_davie_fundamentals_of_hydrology.html.
- [11] Derek C. Ford y Paul W. Williams. *Karst geomorphology and hydrology*. Vol. 601. Unwin Hyman London, 1989.
- [12] George J Huffman y col. "The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales". En: *Journal of Hydrometeorology* 8.1 (2007), págs. 38-55.
- [13] Toshio Iguchi y col. "Rain-profiling algorithm for the TRMM precipitation radar". En: *Journal of Applied Meteorology* 39.12 (2000), págs. 2038-2052.
- [14] Dirección General de Aguas y Suelos Instituto Nacional de Recursos Naturales. *Evaluación y Ordenamiento de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Caplina y Uchusuma*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, 2002, pág. 111.
- [15] Toshiaki Kozu y col. "Development of precipitation radar onboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite". En: *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 39.1 (2001), págs. 102-116.
- [16] Christian Kummerow y col. "The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit". En: *Journal of Applied Meteorology* 39.12 (2000), págs. 1965-1982.

- [17] Christian Kummerow y col. "The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package". En: *Journal of atmospheric and oceanic technology* 15.3 (1998), págs. 809-817.
- [18] Ray K Linsley Jr, Max A Kohler y Joseph LH Paulhus. "Hydrology for engineers". En: (1975).
- [19] David R Maidment y col. *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill Inc., 1992.
- [20] Robert Meneghini y col. "Use of the surface reference technique for path attenuation estimates from the TRMM precipitation radar". En: *Journal of Applied Meteorology* 39.12 (2000), págs. 2053-2070.
- [21] P. Ministerio de Agricultura. *Análisis hidrológico de los ríos Sama y Locumba*. Inf. téc. Dirección General de Irrigación, 1978, pág. 239.
- [22] P. Ministerio de Agricultura. *Estudio de inventario de fuentes de agua superficiales en la cuenca del río Yauca*. Inf. téc. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Dirección General de Aguas y Suelos, 2003, pág. 134.
- [23] P. Ministerio de Agricultura. *Estudio en la cuenca del río Chili y parte alta del Colca, Estudio hidrológico*. Inf. téc. Oficina General de Ingeniería y Proyectos, 1972, pág. 109.
- [24] P. Ministerio de Agricultura. *Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca del río Pisco*. Inf. téc. Intendencia de Recursos Hídricos, Administración Técnica del distrito de Riego Chinca Pisco, 2003, pág. 153.
- [25] P. Ministerio de Agricultura. *Tratamiento del cauce del río para el control de inundaciones en la Cuenca Chicama*. Inf. téc. Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales, 2010, pág. 108.
- [26] Perú Ministerio de Agricultura. *Afianzamiento hídrico de la cuenca del río Ingenio*. Inf. téc. Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales, 2011, pág. 207.
- [27] Perú Ministerio de Agricultura. *Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Casma, Culebras y Huarmey*. Inf. téc. Intendencia de Recursos Hídricos, Administración Técnica del Distrito de Riego Casma Huarmey, 2007.

- [28] Perú Ministerio del Ambiente. *Caracterización de la oferta hídrica superficial de las cuencas Pampas, Apurímac y Urubamba*. Inf. téc. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, 2010, pág. 71.
- [29] Baxter E. Vieux Philip B. Bedient Wayne C. Huber. *Hydrology and Floodplain Analysis*. PRENTICE HALL, 2012. ISBN: 0132567962. URL: http://www.ebook.de/de/product/19071082/philip_b_bedient_wayne_c_huber_baxter_e_vieux_hydrology_and_floodplain_analysis.html.
- [30] George Francis Pinder y William Guerin Gray. *Finite element simulation in surface and subsurface hydrology*. Vol. 295. Academic Press New York, 1977.
- [31] Mirla Graciela Quispe Gutiérrez. *Generación de caudales medios mensuales por el método estocástico de Lutz Scholtz en la Cuenca del Río Chacco de la región Ayacucho*. Inf. téc. Universidad Nacional Agraria la Molina, UNALM, Escuela de Postgrado, Maestría de Ingeniería de Recursos Hídricos, Lima, Perú, 2010, pág. 12.
- [32] Intendencia de Recursos Hídricos ATDR Juliaca. *Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa*. Inf. téc. Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2007.
- [33] Douglas Sarango D. y Guido Rozas A. “Determinación del rendimiento hídrico en la cuenca alta del Río Grande en Puno”. En: *Revista de Investigación en Física* 15 (2012), pág. 8.
- [34] J Marshall Shepherd, Harold Pierce y Andrew J. Negri. “Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite”. En: *Journal of Applied Meteorology* 41.7 (2002), págs. 689-701.
- [35] Fengge Su, Yang Hong y Dennis P Lettenmaier. “Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin”. En: *Journal of Hydrometeorology* 9.4 (2008), págs. 622-640.
- [36] David K Todd y Larry W Mays. *Groundwater hydrology edition*. Wiley, New Jersey, 2005.

Anexos

Anexo A

Registro de precipitaciones

Se adjunta el registro de las precipitaciones mensuales del proyecto TRMM, producto 3B43, correspondiente a las estaciones sintéticas creadas en la cuenca del Río Chacco.

TRMM
 PRODUCTO 3B43

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)

ESTACION : A
 CODIGO : A001

DISTRITO :
 PROVINCIA :
 DEPARTAMENTO :
 ALTITUD :
 LATITUD : 13°11'55.593" Sur
 LONGITUD : 74°09'34" Oeste

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	166.056	201.458	141.399	68.5396	16.4159	1.87247	12.4452	0.928056	87.6254	38.1746	78.223	144.685	957.8222
2000	154.488	221.639	189.74	44.6948	31.3256	5.4957	54.4204	21.6175	18.5175	98.326	36.588	121.797	998.6495
2001	190.322	135.788	209.24	42.9414	41.7662	1.55513	63.14	29.2256	30.11	120.683	86.8476	130.025	1081.644
2002	137.895	217.655	198.758	62.0009	40.9158	0.361259	50.2377	26.8149	76.6849	73.1071	107.138	139.872	1131.441
2003	137.339	214.568	221.705	102.618	24.496	3.77112	0.300672	68.7011	44.2158	25.5142	49.0259	144.183	1036.438
2004	137.573	163.806	152.018	46.0467	25.5167	9.31997	33.076	22.232	47.5975	56.7949	71.2594	183.544	948.7842
2005	107.644	131.565	169.113	61.0292	17.3416	1.55335	9.84849	3.18471	32.6049	114.283	50.7845	197.264	896.2158
2006	226.639	138.053	199.609	55.6056	8.80669	0.632503	0.747612	37.4475	31.0968	74.3067	91.3706	139.91	1004.225
2007	103.493	110.286	277.737	39.2062	18.9915	1.95777	23.6982	15.3166	20.6088	49.8491	43.1687	127.16	831.4729
2008	187.367	120.828	139.891	42.3058	26.4828	10.4905	16.1803	6.67463	9.74905	94.051	36.5252	70.8712	761.4165
2009	121.541	149.797	101.477	75.3891	35.0727	0.632893	17.6206	24.1954	17.8437	51.1599	59.6677	134.572	788.969
2010	171.947	86.884	101.943	32.3946	20.5647	0.371161	8.67867	17.4365	29.9609	59.7806	36.4349	103.435	669.831
2011	163.15	194.816	237.89	57.5143	22.026	1.87426	25.7613	10.7689	40.7528	55.4625	102.545	142.561	1055.122
2012	135.049	189.943	124.877	56.9612	15.9437	6.58331	15.6615	19.1798	54.9732	46.1977	84.2224	161.051	910.6428
2013	100.759	137.528	139.527	33.4409	21.8446	7.46349	20.0796	26.8259	32.9407	80.9127	81.4774	152.205	835.0043
2014	149.328	153.508	154.141	53.5332	25.8617	0.310896	22.6323	9.39554	51.6817	56.1261	76.864	95.5332	848.9156
MEDIA	149.4119	160.5076	172.4416	54.63884	24.58576	3.390361	23.40803	21.24654	39.18523	68.42057	68.25889	136.79178	922.2871

TRMM

PRODUCTO 3B43

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)

ESTACION : B

CODIGO : B001

DISTRITO :

PROVINCIA :

DEPARTAMENTO :

ALTITUD :

LATITUD : 13°17'54" Sur

LONGITUD : 74°08'41" Oeste

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	170.295	185.496	124.946	59.7898	13.0256	1.23496	9.75712	1.58283	76.8511	28.5774	61.955	132.327	865.83781
2000	138.236	218.98	188.706	34.4681	21.9703	9.64349	46.6766	15.3718	15.2144	94.2353	29.0333	106.865	919.40029
2001	188.887	132.907	226.631	37.6007	35.2477	1.96081	61.3417	23.7713	23.4029	118.64	77.8004	110.124	1038.3145
2002	132.339	208.497	194.482	46.3864	34.7702	0.839643	46.8096	25.919	60.6752	60.4644	90.8941	127.369	1029.4455
2003	143.466	212.441	213.767	91.3889	19.4966	2.04898	1.65701	62.8471	33.9648	20.2831	41.7421	140.166	983.26859
2004	136.619	155.349	145.868	46.6039	22.2774	5.64836	29.1067	15.3123	39.1817	42.2367	65.7009	185.887	889.79096
2005	104.338	122.704	162.602	51.3011	11.8066	3.47803	14.1369	3.75302	28.4809	103.584	45.2625	196.549	847.99605
2006	235.934	132.665	208.762	48.0857	4.68913	1.19393	0.508677	23.4395	24.3508	59.2702	95.3854	128.932	963.21634
2007	102.853	109.724	220.966	42.7072	22.4462	7.96669	40.9329	16.0822	26.2701	55.3078	45.3896	175.572	866.21769
2008	243.062	164.707	157.425	35.8418	34.4819	28.1513	16.5578	5.87529	26.4437	90.0073	37.3718	68.7149	908.63979
2009	143.337	156.726	92.3519	78.131	31.026	8.14893	26.7403	4.21933	23.4444	43.6729	59.7883	149.305	816.89106
2010	228.607	118.94	112.235	38.9835	14.3823	1.37624	0.896698	13.4219	29.5608	48.4814	32.351	103.628	742.86384
2011	176.972	227.982	249.673	58.9156	18.2873	0.184592	19.4026	8.75555	52.4168	57.3256	105.174	136.318	1111.407
2012	129.59	191.898	157.451	57.9234	12.1366	5.96812	18.7858	8.85201	42.1659	33.1376	87.378	176.896	922.18243
2013	115.43	116.233	130.22	28.8367	21.0801	5.22507	13.249	19.7305	16.2757	97.5776	57.0571	159.526	780.44077
2014	181.473	197.074	154.629	57.2271	21.0661	0.714938	10.1754	5.40311	51.6288	56.5767	67.32	114.349	917.63715
MEDIA	160.71488	165.77019	171.29468	50.886931	21.136877	5.2365052	22.295925	15.896046	35.6455	63.086125	62.475219	138.28299	912.72187

TRMM
 PRODUCTO 3B43

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL(mm)

ESTACION : C
 CODIGO : C001

DISTRITO : ALTITUD :
 PROVINCIA : LATITUD : 13°18'38" Sur
 DEPARTAMENTO : LONGITUD : 73°58'25.7" Oeste

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1999	170.40	175.98	91.79	40.81	10.63	1.29	8.23	1.18	68.92	30.56	58.86	116.00	774.65
2000	111.62	222.54	158.78	42.43	11.87	24.46	30.43	16.44	18.07	98.07	29.65	81.40	845.75
2001	180.78	137.10	171.53	29.07	47.32	5.76	43.52	32.22	24.67	78.17	68.40	99.85	918.37
2002	115.46	219.55	156.34	50.45	32.57	1.75	46.09	19.27	51.49	50.06	93.40	117.26	953.68
2003	115.22	222.32	199.08	68.51	17.88	2.91	0.32	55.66	40.30	26.36	37.98	138.48	925.01
2004	126.24	123.81	83.80	51.20	24.48	14.47	35.68	15.55	39.92	35.99	78.41	174.50	804.05
2005	81.13	113.52	152.58	40.05	13.32	0.04	9.54	4.13	23.72	80.72	63.46	151.58	733.80
2006	197.66	103.16	208.28	42.63	2.96	3.92	0.00	14.23	20.99	48.46	87.66	110.47	840.43
2007	86.91	111.63	171.38	40.25	11.93	0.00	39.99	4.79	11.11	64.56	64.64	169.64	776.83
2008	243.69	126.18	143.52	20.16	25.53	1.25	0.13	5.38	15.92	94.51	57.10	76.27	809.64
2009	111.50	126.07	90.59	68.58	19.19	2.25	10.77	7.47	11.32	42.63	76.19	98.50	665.06
2010	207.76	106.52	106.24	40.47	14.25	1.12	0.43	18.21	44.48	29.13	21.75	90.38	680.73
2011	158.59	222.19	224.16	43.27	10.27	4.42	14.28	6.12	29.41	36.21	85.23	160.45	994.59
2012	142.83	152.46	149.28	50.44	3.50	5.07	3.89	10.72	33.37	32.44	74.01	212.05	870.05
2013	103.64	120.37	156.91	15.17	19.09	7.38	12.68	14.55	20.59	63.60	46.57	130.02	710.57
2014	163.65	172.26	145.61	34.56	22.19	0.00	2.89	3.30	39.00	52.04	70.67	92.35	798.49
MEDIA	144.82	153.48	150.62	42.38	17.94	4.76	16.18	14.33	30.83	53.97	63.37	126.20	818.86

TRMM
 PRODUCTO 3B43

PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO(mm)

ESTACION : A,B,C
 CODIGO : A001, B001, C001

DISTRITO : ALTITUD :
 PROVINCIA : LATITUD :
 DEPARTAMENTO : LONGITUD :

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
A promedio	149.41188	160.50763	172.44156	54.638844	24.585762	3.3903614	23.408034	21.24654	39.185228	68.420569	68.258894	136.79178	922.28707
B promedio	160.71488	165.77019	171.29468	50.886931	21.136877	5.2365052	22.295925	15.896046	35.6455	63.086125	62.475219	138.28299	912.72187
C promedio	144.81783	153.47769	150.61603	42.377181	17.936414	4.7560421	16.177824	14.326732	30.8296	53.969269	63.373613	126.19886	818.85708
MEDIA	151.64819	159.9185	164.78409	49.300985	21.219684	4.4609696	20.627261	17.156439	35.220109	61.825321	64.702575	133.75788	884.62201

Anexo B

Registro de caudales

Registro de caudales diarios y caudales mensuales promedios en la cuenca del Río Chacco, estos registros son utilizados para la calibración del modelo a la cuenca en particular.

PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OBRAS Y ESTUDIOS
UNIDAD DE HIDROLOGIA

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (m3/seg)

ESTACION : PTE.CHACCO ALTITUD : 2480 msnm
RIO CHACCO LATITUD : 13°05'42" S
AÑO : 1997 LONGITUD : 74°12'21" W CUENCA (Km2) : 1110.7

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	14.533	9.859	16.699	4.889	3.272	1.680	1.909	2.031	2.523	2.822	2.200	2.719
2	14.420	8.316	38.341	2.895	2.477	1.643	1.849	2.071	2.545	2.642	4.901	2.568
3	14.420	6.824	41.708	2.016	2.222	1.573	1.872	2.158	2.427	2.427	4.397	2.618
4	14.420	6.177	28.945	1.523	2.135	1.573	1.849	2.158	1.690	2.380	3.312	2.568
5	14.477	5.630	32.071	2.016	2.158	1.573	1.829	2.442	1.609	2.896	5.022	2.473
6	14.590	5.431	40.192	2.144	2.010	1.555	2.031	2.009	2.246	2.381	3.199	2.473
7	14.703	8.515	39.893	2.150	1.907	1.573	1.968	2.222	2.269	2.200	4.467	2.282
8	14.759	10.157	33.280	2.369	2.051	1.573	2.010	2.620	2.107	2.136	4.055	1.610
9	14.759	19.013	36.730	2.296	2.113	1.589	1.989	2.717	3.519	2.244	4.981	1.831
10	14.646	15.779	33.626	2.243	1.988	1.661	2.010	2.427	3.432	2.692	9.948	2.029
11	16.906	13.889	34.234	1.692	2.222	1.680	2.050	2.822	3.432	2.717	7.035	2.247
12	25.494	14.187	25.810	2.077	2.156	1.810	2.113	4.213	3.549	2.873	5.690	2.802
13	20.505	13.491	22.721	4.450	1.968	1.716	2.203	2.383	3.258	2.924	4.901	2.837
14	11.899	12.197	19.703	2.988	1.907	1.772	2.202	2.093	3.199	2.797	4.463	2.477
15	9.958	11.948	16.964	1.911	1.888	1.849	1.836	2.403	3.170	2.898	4.899	2.288
16	8.366	14.983	15.456	1.876	1.868	1.849	1.683	1.951	2.873	3.033	4.034	1.471
17	15.978	13.391	14.501	2.743	1.810	1.829	1.699	1.909	2.594	2.898	1.909	1.471
18	20.953	13.690	14.343	8.754	1.848	1.907	1.792	2.188	2.427	2.951	1.992	2.827
19	17.968	12.744	13.361	3.184	1.907	1.888	1.812	2.203	2.719	2.924	2.521	2.568
20	13.391	13.192	12.851	2.455	1.948	1.829	1.737	2.475	2.848	2.656	2.850	2.928
21	18.366	14.933	12.287	2.077	1.829	1.792	1.682	2.618	2.719	2.322	3.446	2.717
22	13.988	14.685	11.204	1.584	1.716	1.810	1.682	2.667	2.295	2.232	2.824	2.459
23	11.899	13.093	11.419	1.486	1.988	1.735	1.719	2.500	2.290	2.244	2.994	3.409
24	11.003	12.744	9.527	1.467	1.909	2.009	1.836	2.521	2.692	2.186	3.740	6.290
25	10.008	19.112	8.898	6.384	1.772	2.092	2.096	2.570	3.254	2.031	3.197	6.735
26	9.610	17.321	11.736	1.523	1.734	2.092	2.222	2.569	3.033	1.948	3.254	15.631
27	9.212	15.182	7.571	1.415	1.679	2.113	2.356	2.450	3.283	1.907	3.102	12.297
28	9.311	13.540	6.423	1.369	1.660	2.117	2.158	2.403	4.187	2.247	2.425	7.935
29	9.660	---	6.157	1.228	1.625	1.988	2.159	2.473	3.398	1.887	2.618	6.717
30	7.520	---	6.245	1.523	1.607	1.968	1.970	2.473	5.570	1.907	2.568	5.322
31	9.709	---	6.290	---	1.716	---	1.951	2.768	---	1.887	---	5.132
MEDIO	13.788	12.501	20.296	2.558	1.971	1.795	1.944	2.436	2.905	2.461	3.898	3.927
MAX	25.494	19.112	41.708	8.754	3.272	2.117	2.356	4.213	5.570	3.033	9.948	15.631
MIN	7.520	5.431	6.157	1.228	1.607	1.555	1.682	1.909	1.609	1.887	1.909	1.471

CAUDAL MEDIO ANUAL 5.873
CAUDAL MAXIMO DIARIO 41.708
CAUDAL MÍNIMO DIARIO 1.228

PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OBRAS Y ESTUDIOS
UNIDAD DE HIDROLOGIA

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (m3/seg)

ESTACION : PTE.CHACCO ALTITUD : 2480 msnm
RIO CHACCO LATITUD : 13°05'42" S
AÑO : 1998 LONGITUD : 74°12'21" W CUENCA (Km2) : 1110.7

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	12.824	17.407	11.736	11.159	2.764	1.343	1.219	1.003	0.970	1.066	0.911	0.824
2	8.186	14.196	12.851	9.900	1.949	1.373	1.191	1.167	1.003	2.162	0.940	0.771
3	7.821	13.183	13.215	10.264	1.912	1.250	1.191	1.033	0.940	1.137	0.911	0.824
4	6.864	11.009	12.356	8.062	1.948	1.280	1.161	1.100	0.940	1.068	0.880	0.717
5	8.086	9.947	11.736	5.943	1.907	1.250	1.106	1.133	0.940	0.746	0.974	0.665
6	10.391	9.239	13.002	6.211	1.907	1.250	1.079	1.100	0.940	0.690	0.947	0.768
7	12.779	8.392	9.623	5.606	1.907	1.250	1.106	1.003	0.909	0.883	0.947	0.943
8	12.996	19.528	6.032	5.787	1.907	1.250	1.079	0.970	0.880	0.943	1.612	0.851
9	12.851	21.111	6.119	4.829	1.790	1.250	0.952	0.911	0.880	1.003	1.612	0.940
10	10.323	31.950	7.027	6.476	1.683	1.161	0.924	1.037	0.880	1.100	0.943	0.940
11	8.619	25.622	7.221	5.611	1.716	1.191	0.973	1.003	0.851	1.318	0.943	0.972
12	8.029	35.019	9.594	5.452	1.643	1.136	1.133	0.882	0.851	0.943	0.805	1.030
13	8.239	22.524	10.439	10.067	1.716	1.189	1.054	0.911	0.911	0.943	1.651	1.186
14	10.311	19.801	10.436	5.777	1.716	1.371	1.052	0.911	0.880	0.883	1.033	1.033
15	9.290	17.584	17.400	5.777	1.680	1.371	1.106	0.911	0.851	0.746	1.100	1.050
16	5.777	15.949	56.002	4.824	1.410	1.503	0.949	0.940	1.318	0.855	1.100	0.940
17	4.974	14.038	42.967	4.325	1.191	1.404	1.025	0.940	0.717	0.829	1.691	1.620
18	4.752	14.899	32.563	3.924	1.288	1.309	1.025	0.880	0.690	0.747	1.353	2.144
19	3.924	12.710	29.479	3.488	1.571	1.309	1.051	0.909	0.666	0.693	1.137	1.488
20	3.428	11.275	28.711	3.254	1.571	1.249	1.106	1.070	0.666	0.932	0.882	3.743
21	3.369	7.104	24.456	4.127	1.471	1.249	1.110	1.100	0.666	1.353	0.855	1.856
22	3.398	7.320	28.418	3.428	1.537	1.278	1.164	1.003	0.666	1.204	0.693	1.349
23	3.199	8.347	23.147	4.057	1.471	1.404	1.191	0.940	0.617	2.800	0.924	3.988
24	2.978	8.895	21.073	3.254	1.503	1.371	1.025	0.970	0.617	2.092	0.671	3.629
25	14.202	9.410	18.951	3.033	1.503	1.371	1.106	0.940	0.593	1.852	0.512	10.519
26	14.038	12.345	17.493	3.086	1.503	1.404	1.025	1.003	0.593	1.548	0.488	3.299
27	23.752	11.620	16.282	2.719	1.404	1.342	1.233	1.003	0.617	1.204	0.574	2.402
28	26.035	11.138	15.782	2.570	1.471	1.309	1.471	0.972	0.666	1.070	0.722	5.547
29	22.016	---	15.453	2.521	1.342	1.222	1.413	1.050	0.940	1.008	1.204	4.128
30	17.935	---	15.453	5.712	1.280	1.280	1.312	1.001	0.911	1.070	1.137	3.439
31	20.086	---	14.970	---	1.312	---	1.404	1.050	---	0.974	---	2.408
MEDIO	10.370	15.056	18.064	5.375	1.644	1.297	1.127	0.995	0.819	1.157	1.005	2.129
MAX	26.035	35.019	56.002	11.159	2.764	1.503	1.471	1.167	1.318	2.800	1.691	10.519
MIN	2.978	7.104	6.032	2.521	1.191	1.136	0.924	0.880	0.593	0.690	0.488	0.665

CAUDAL MEDIO ANUAL 4.920
CAUDAL MAXIMO DIARIO 56.002
CAUDAL MÍNIMO DIARIO 0.488

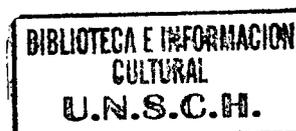
PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
 DIRECCION DE OBRAS Y ESTUDIOS
 UNIDAD DE HIDROLOGIA

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (m3/seg)

ESTACION : PTE.CHACCO ALTITUD : 2480 msnm
 RIO CHACCO LATITUD : 13°05'42" S
 AÑO : 1999 LONGITUD : 74°12'21" W CUENCA (Km2) : 1110.7

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	2.043	13.690	38.318	9.233	4.524	1.807	1.427	1.204	1.100	1.169	0.943	1.318
2	1.856	9.605	47.315	8.406	4.069	1.675	1.427	1.100	1.106	1.204	0.940	1.202
3	1.169	8.172	48.519	7.089	3.774	1.634	1.548	1.357	1.175	1.807	1.372	1.066
4	1.207	9.011	46.433	6.576	3.708	1.675	1.433	1.106	1.207	1.993	0.978	1.133
5	1.137	10.577	33.151	9.020	3.168	1.717	1.510	0.911	1.282	3.026	0.943	1.717
6	0.851	21.265	29.508	8.064	3.042	1.675	1.554	0.940	0.974	2.514	0.824	1.554
7	0.911	13.373	23.699	7.944	2.738	1.588	1.651	1.137	0.855	1.946	0.531	1.144
8	2.566	10.240	30.060	8.526	2.566	1.548	1.510	1.008	0.620	1.536	0.691	1.242
9	2.243	10.773	32.636	11.193	2.738	1.609	1.395	0.978	0.855	1.395	3.942	1.910
10	2.800	14.170	23.477	8.406	2.683	1.902	1.469	0.972	0.742	0.855	2.688	1.318
11	1.993	8.517	18.698	8.646	2.566	1.829	1.391	1.003	0.829	1.008	7.123	1.467
12	2.509	12.018	17.718	8.415	2.402	1.695	1.510	0.943	0.855	0.911	2.752	1.469
13	2.140	12.652	15.106	8.406	2.681	1.609	1.469	1.070	0.943	1.070	2.050	1.600
14	1.946	12.620	32.899	10.264	2.566	1.588	1.433	1.037	0.862	1.100	2.845	1.997
15	6.675	10.519	63.246	9.125	2.738	1.634	1.353	0.974	0.916	0.943	1.554	3.658
16	4.600	21.260	34.201	7.847	2.621	1.548	1.634	1.037	0.911	0.824	1.100	2.571
17	4.214	55.809	30.527	8.184	2.298	1.651	1.433	1.014	1.642	0.882	1.133	1.997
18	3.501	42.848	34.033	10.635	2.092	1.588	1.510	0.972	1.902	0.911	1.033	1.632
19	2.402	40.510	28.784	7.953	2.243	1.609	1.588	1.104	1.729	0.851	0.911	2.041
20	2.626	58.140	20.996	9.985	2.294	1.548	1.592	1.106	1.395	0.940	0.851	1.807
21	2.855	35.101	21.413	8.172	2.402	1.548	1.554	1.175	1.361	0.851	0.824	7.437
22	2.857	31.273	15.116	7.519	2.243	1.568	1.554	1.137	1.328	0.768	0.690	3.774
23	3.261	31.810	20.238	5.717	2.092	1.427	1.353	1.112	1.278	1.037	6.422	3.700
24	3.565	25.544	20.026	5.536	2.017	1.506	1.592	1.104	1.256	1.070	2.612	4.621
25	6.595	24.356	21.866	5.272	1.997	1.506	1.469	1.238	1.278	0.943	1.318	2.092
26	26.033	18.296	17.028	5.015	1.946	1.548	1.353	1.175	1.033	0.943	2.402	1.946
27	11.255	26.981	14.952	4.445	1.807	1.634	1.318	1.175	1.634	1.106	2.204	3.287
28	33.835	40.769	14.665	4.062	1.829	1.548	1.433	1.242	2.144	1.070	1.278	2.917
29	30.328	---	11.745	5.104	1.946	1.510	1.318	1.276	1.353	0.943	1.242	10.467
30	14.841	---	12.911	4.684	1.898	1.427	1.262	1.100	1.276	0.940	1.204	3.042
31	18.671	---	10.387	---	1.993	---	---	1.106	---	1.037	---	2.454
MEDIO	6.564	22.496	26.764	7.648	2.570	1.612	1.468	1.091	1.195	1.213	1.847	2.567
MAX	33.835	58.140	63.246	11.193	4.524	1.902	1.651	1.357	2.144	3.026	7.123	10.467
MIN	0.851	8.172	10.387	4.062	1.807	1.427	1.262	0.911	0.620	0.768	0.531	1.066

CAUDAL MEDIO ANUAL 6.420
 CAUDAL MAXIMO DIARIC 63.246
 CAUDAL MÍNIMO DIARIO 0.531



PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
DIRECCION DE OBRAS Y ESTUDIOS
UNIDAD DE HIDROLOGIA

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (m3/seg)

ESTACION : PTE.CHACCO ALTITUD : 2480 msnm
RIO CHACCO LATITUD : 13°05'42" S
AÑO : 2000 LONGITUD : 74°12'21" W CUENCA (Km2) : 1110.7

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	3.102	26.394	48.821	15.392	4.017	2.365	1.578	1.414	1.066	0.818	1.300	1.355
2	2.736	26.510	86.000	13.367	4.070	2.287	1.583	1.152	0.825	0.722	1.300	1.152
3	5.015	21.549	53.692	11.966	4.924	2.203	1.578	1.102	0.895	0.700	0.940	2.970
4	4.844	22.646	54.974	11.208	4.017	2.125	1.917	1.111	0.940	0.895	0.547	1.578
5	3.168	19.863	46.000	10.369	4.070	2.365	2.841	1.206	0.895	6.223	0.526	4.372
6	3.985	25.540	29.333	10.575	4.070	2.125	2.054	1.152	0.825	5.845	0.407	2.749
7	3.368	14.465	42.923	9.297	4.124	2.203	2.125	1.197	0.854	2.834	0.407	1.360
8	2.795	10.531	27.026	8.653	4.070	2.726	2.054	1.300	0.785	1.982	0.473	1.017
9	7.548	48.404	43.436	8.128	3.762	5.181	1.976	1.464	0.895	1.360	0.383	1.714
10	4.679	34.129	44.205	7.542	3.563	3.333	1.839	1.350	0.972	1.300	0.344	1.976
11	19.148	27.215	45.744	7.625	3.325	3.441	1.703	1.464	0.895	1.152	0.407	3.267
12	9.858	30.328	40.359	6.761	3.279	2.909	1.839	1.518	0.748	1.300	0.279	1.917
13	9.368	17.776	30.103	6.053	3.057	2.287	2.457	1.578	0.785	6.434	0.297	1.152
14	18.300	14.465	29.846	6.245	3.190	2.125	3.109	1.703	0.748	5.693	0.309	0.980
15	9.659	12.181	23.692	6.033	5.989	2.138	2.287	1.643	0.825	2.379	0.328	0.597
16	5.820	97.282	26.256	5.491	4.348	2.054	2.125	1.206	0.951	2.054	0.349	0.412
17	5.355	78.564	10.872	5.171	4.645	1.917	1.905	1.121	0.895	1.583	0.383	0.473
18	5.631	40.872	10.872	5.982	3.822	2.131	1.905	1.152	0.854	1.464	0.383	0.463
19	14.099	46.769	13.949	4.865	3.190	2.216	1.905	1.206	0.833	1.409	0.349	0.407
20	10.804	47.282	14.462	6.990	3.190	2.054	1.839	1.300	0.892	1.300	0.363	5.836
21	7.508	48.051	15.487	6.462	3.104	1.905	1.703	1.111	0.911	1.300	0.349	0.917
22	5.717	85.744	12.410	6.990	3.057	1.839	1.780	1.152	0.972	1.839	0.349	0.597
23	6.587	59.846	23.179	5.897	3.287	1.839	1.589	1.017	0.913	1.643	0.517	0.547
24	7.982	63.692	20.872	4.865	2.842	1.839	1.768	1.058	1.017	1.206	0.945	0.517
25	7.397	55.231	17.538	4.807	2.842	1.768	1.833	1.518	0.913	0.870	0.785	1.121
26	13.526	63.436	13.436	5.177	2.759	1.839	1.464	1.360	0.895	1.111	1.017	2.001
27	18.341	50.615	12.154	5.513	---	1.703	1.643	0.976	2.156	2.054	1.643	2.515
28	20.912	135.231	15.231	5.446	---	1.768	1.523	0.895	0.932	1.976	2.308	1.409
29	20.453	---	10.615	4.018	---	1.839	1.464	0.785	0.895	1.643	1.300	4.693
30	35.754	---	10.615	4.124	---	1.839	1.300	0.785	0.838	6.548	1.017	5.293
31	27.555	---	13.692	---	---	---	1.350	1.030	---	1.529	---	10.983
MEDIO	10.355	43.736	28.639	7.367	3.716	2.279	1.872	1.227	0.927	2.231	0.677	2.140
MAX	35.754	135.231	86.000	15.392	5.989	5.181	3.109	1.703	2.156	6.548	2.308	10.983
MIN	2.736	10.531	10.615	4.018	2.759	1.703	1.300	0.785	0.748	0.700	0.279	0.407

CAUDAL MEDIO ANUAL 8.764
CAUDAL MAXIMO DIARIO 135.231
CAUDAL MÍNIMO DIARIO 0.279

PROYECTO ESPECIAL "RIO CACHI"
 DIRECCION DE OBRAS Y ESTUDIOS
 UNIDAD DE HIDROLOGIA

REGISTRO DE CAUDALES MENSUALES (m³/seg)

ESTACION : PTE.CHACCO ALTITUD : 2480 msnm
 RIO : CHACCO LATITUD : 13°05'42" S
 AÑO : 1995-2001 LONGITUD : 74°12'21" W CUENCA (Km²) : 1110.7

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	10.35	15.65	17.50	6.24	1.99	1.41	1.59	1.78	2.03	0.80	1.47	1.58
1996	6.92	18.80	14.60	9.92	2.00	1.03	1.23	1.13	1.16	1.44	0.93	3.29
1997	13.79	12.50	20.39	2.56	1.97	1.80	1.94	2.44	2.91	2.46	3.90	3.93
1998	10.37	15.06	18.06	5.38	1.64	1.30	1.13	1.00	0.82	1.16	1.01	2.13
1999	6.56	22.50	26.76	7.65	2.57	1.61	1.47	1.09	1.20	1.21	1.85	2.57
2000	10.36	43.74	28.64	7.37	3.72	2.28	1.87	1.23	0.93	2.23	0.68	2.14
2001	6.04	4.76	8.75	8.32	2.38	0.93	0.90	0.48	0.38	2.54	2.34	2.53

MEDIO	9.198	19.000	19.243	6.775	2.325	1.479	1.448	1.304	1.347	1.692	1.738	2.595
MAX	13.788	43.736	28.639	9.916	3.716	2.279	1.944	2.436	2.905	2.538	3.898	3.927
MIN	6.043	4.762	8.747	2.558	1.644	0.926	0.899	0.475	0.384	0.798	0.677	1.582
CAUDAL MEDIO ANUAL	5.679											
CAUDAL MAXIMO DIARIC	43.736											
CAUDAL MÍNIMO DIARIC	0.384											

Anexo C

Desarrollo del modelo Lutz Sholtz

En el presente capítulo se incluye el desarrollo del modelo Lutz Scholtz para la cuenca del Río Chacco, calibrando los parámetros del modelo en su etapa determinística y estocástica.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

CALIBRACIÓN DEL MODELO LUTZ SCHOLTZ Y GENERACIÓN DE CAUDALES EXTENDIDOS
APLICADO A LA CUENCA DEL RÍO CHACCO

AUTOR:

DAVID NAJARRO SOTO

Ayacucho - Perú

2015

81

I) DATOS

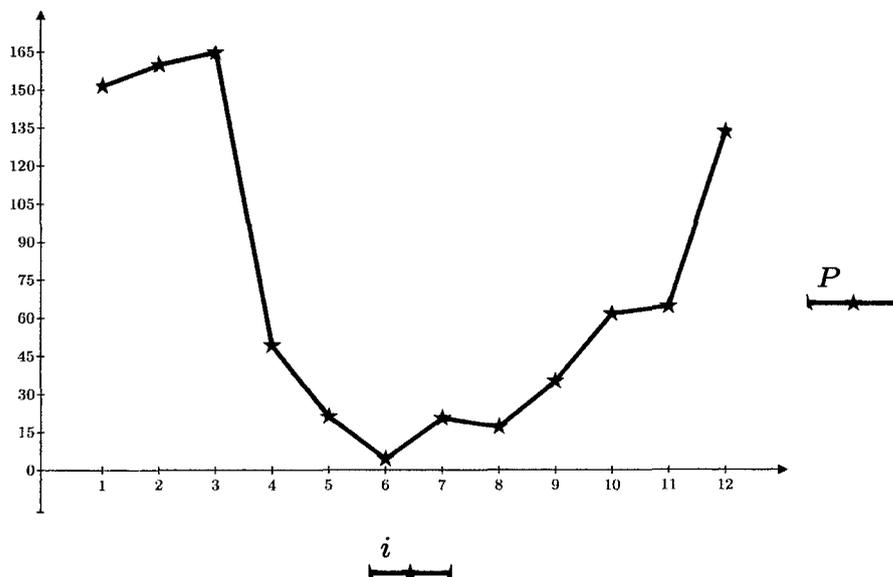
Temperatura media anual (T en grados centígrados) $T := 14.23$

Precipitación promedio anual (P_o en mm/año) $P_o := 884.623$

Superficie de la cuenca (A en km2) $A := 1096.81$

Precipitación promedio mensual (P en mm/mes), $i = \{\text{enero, febrero, marzo, abril,, noviembre, diciembre}\}$

P	i
151.6481938	1
159.9185	2
164.7840917	3
49.30098542	4
21.21968438	5
4.460969567	6
20.62726106	7
17.15643929	8
35.22010938	9
61.82532083	10
64.702575	11
133.757875	12



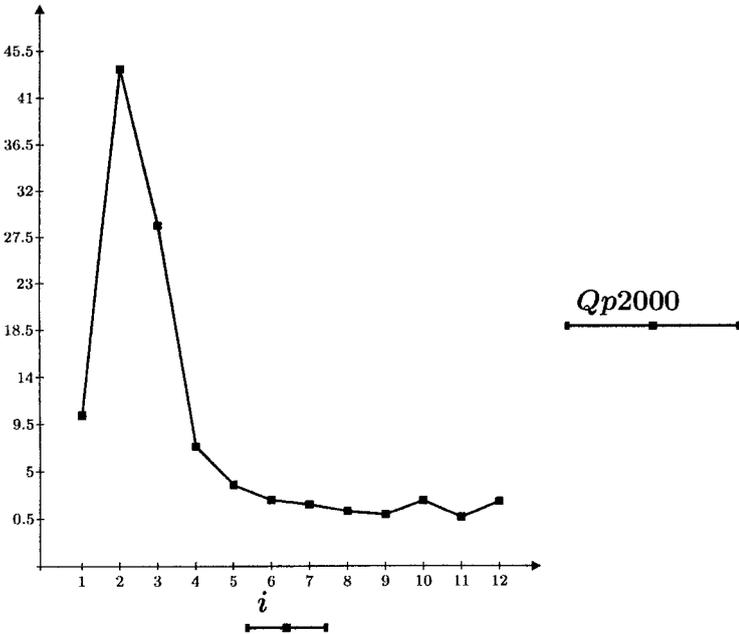
D_{meses}

Número de días del mes

31	$D_{meses} =$	[31]
28		[28]
31		[31]
30		[30]
31		[31]
31		[30]
30		[31]
31		[31]
31		[30]
31		[31]
30		[30]
31		[31]

Caudal mensual promedio registrado en el punto de aforo de la cuenca, año 2000

$Qp2000 =$	10.36	$Qp2000$
	43.74	
	28.64	
	7.37	10.36
	3.72	43.74
	2.28	28.64
	1.87	7.37
	1.23	3.72
	0.93	2.23
	2.23	0.68
	0.68	2.28
	2.14	1.87



2) PROCESO DE ANÁLISIS

Cálculos requeridos para la obtención de los parámetros del Modelo LUTZ SCHOLTZ en cuencas específicas, en este caso, la cuenca del Río Chacco.

2.1) COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Aplicando el modelo empírico de L. Turing, porque en la cuenca no se dispone de registros hidrométricos que permitan un cálculo del coeficiente de escurrimiento de manera directa.

La función de la temperatura está dado por:

$$L := 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^2 \quad L = 665.875$$

El déficit de escurrimiento D en mm/año

$$D := \frac{P_o}{\left(0.9 + \frac{P_o^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad D = 541.894$$

Luego, el coeficiente de escurrimiento (C) está dado por:

$$C := \frac{P_o - D}{P_o} \quad C = 0.387$$

2.2) COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO (A)

El coeficiente de agotamiento "a", se obtiene mediante el método empírico de Moss:

$$a := -0.00252 \cdot \ln(A) + 0.030 \quad a = 0.012$$

2.3) PRECIPITACIÓN EFECTIVA (PE)

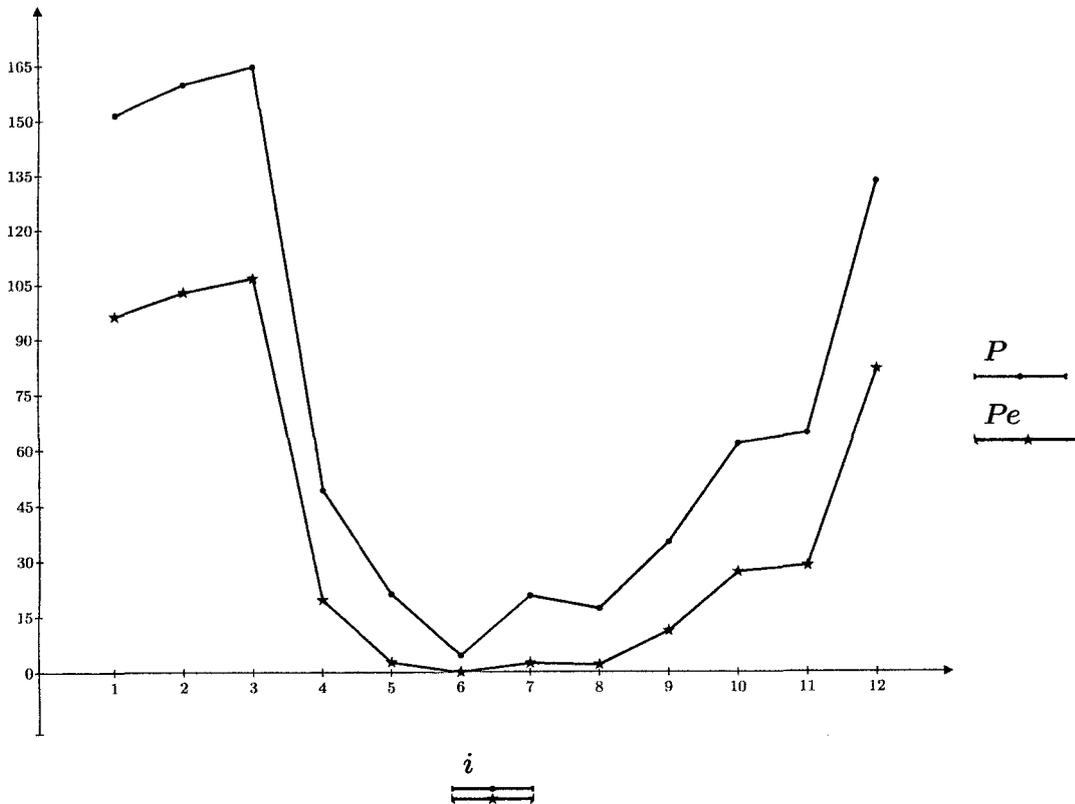
El cálculo de la precipitación efectiva se obtiene con los registros de la precipitación promedio mensual (P), mediante el método FAO

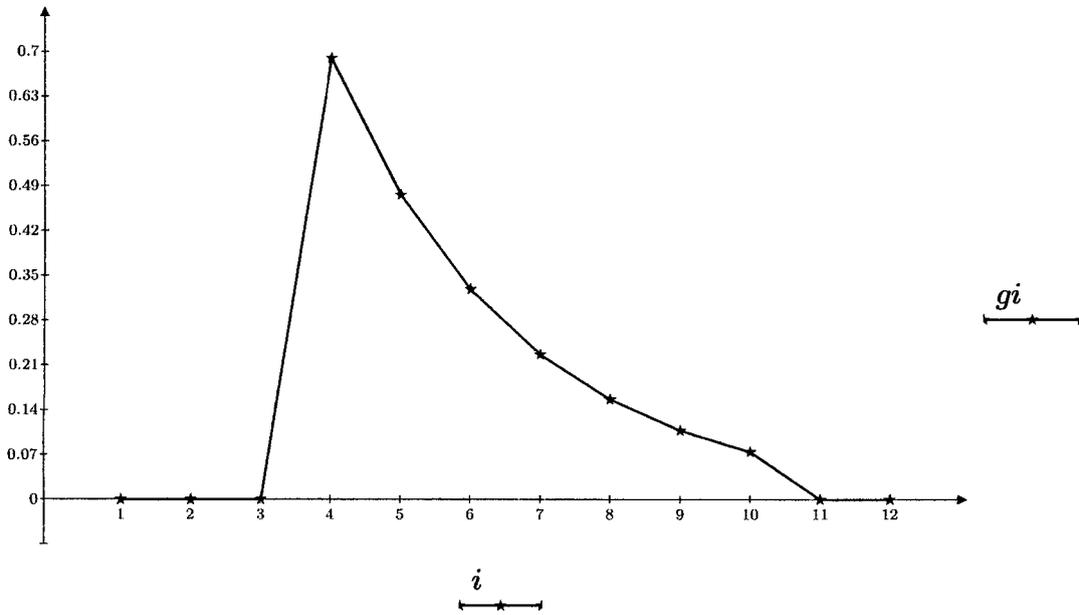
96.319
102.935
106.827
19.581
2.732
0
2.376
2
11.132
27.095
28.822
82.006


```

Pe := || pi ← 0
      || pe ← 0
      || for i ∈ 1, 2..12
      ||   || pi ← Pi
      ||   || if pi = 0
      ||   ||   || pei ← 0
      ||   || else if 0 < pi < 10
      ||   ||   || pei ← 0
      ||   || else if 10 ≤ pi < 20
      ||   ||   || pei ← 2
      ||   || else if 20 ≤ pi < 75
      ||   ||   || pei ← 0.6 · pi - 10
      ||   || else
      ||   ||   || pei ← 0.8 · pi - 25
      ||   || pe
  
```


96.319
102.935
106.827
19.581
2.732
0
2.376
2
11.132
27.095
28.822
82.006





2.5.3- GASTO DE LA RETENCIÓN EN LA ESTACIÓN SECA (GI) MM/MES

Y el gasto de la retención en la estación seca (abril a octubre), está dado por:

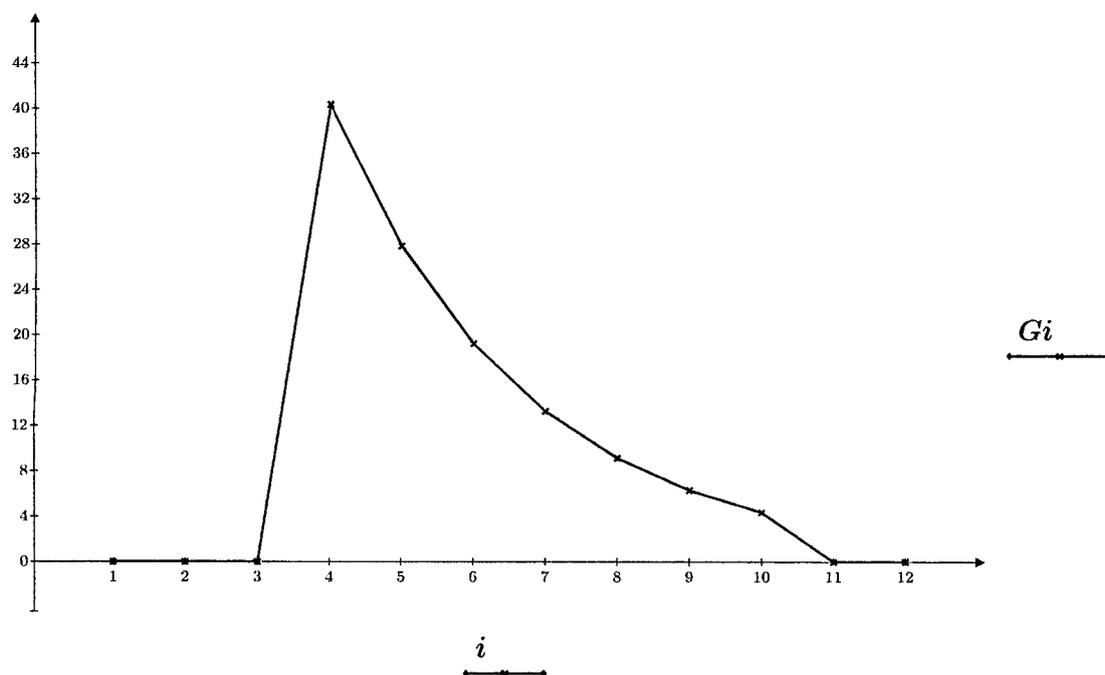
Sumatoria de la relación de descargas para la estación seca (sgi)

$$s_{gi} := \sum_{i=4}^{10} g_i$$

$$s_{gi} = 2.062$$

$$G_i := \begin{cases} g_{ii} \leftarrow 0 \\ r_{ii} \leftarrow R \\ w(x, y) \leftarrow 0 \\ G_{ii} \leftarrow \text{matrix}(12, 1, w) \\ \text{for } i \in 4, 5 \dots 10 \\ \quad \begin{cases} g_{ii} \leftarrow g_i \\ G_{ii} \leftarrow \frac{g_{ii} \cdot r_{ii}}{s_{gi}} \end{cases} \\ G_{ii} \end{cases}$$

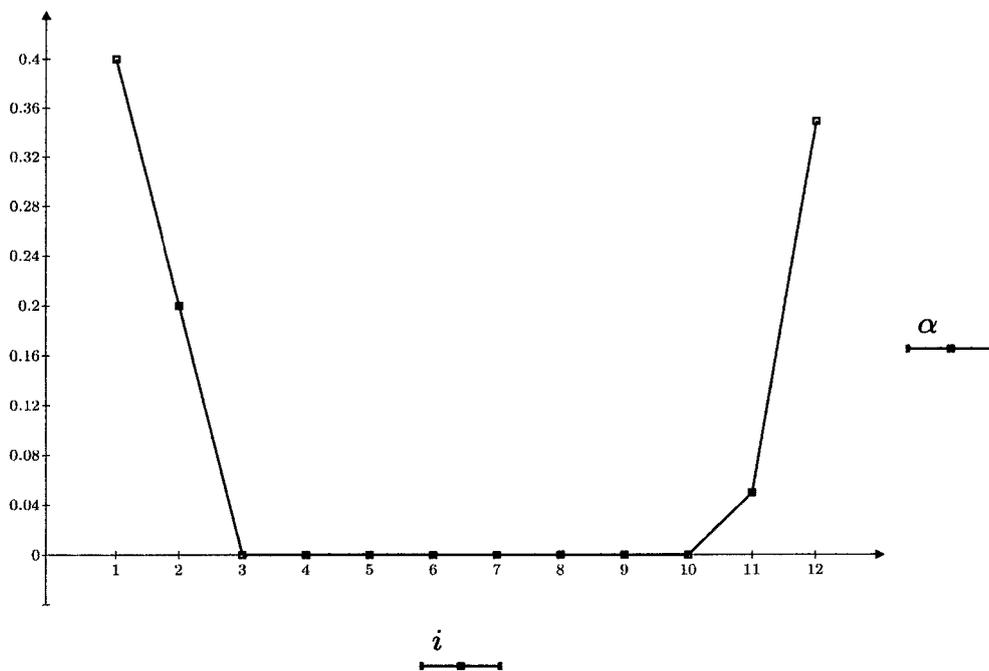
$$G_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 40.362 \\ 27.857 \\ 19.227 \\ 13.27 \\ 9.159 \\ 6.321 \\ 4.363 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



2.6) ABASTECIMIENTO DE LA RETENCIÓN (A_i), EN MM/MES

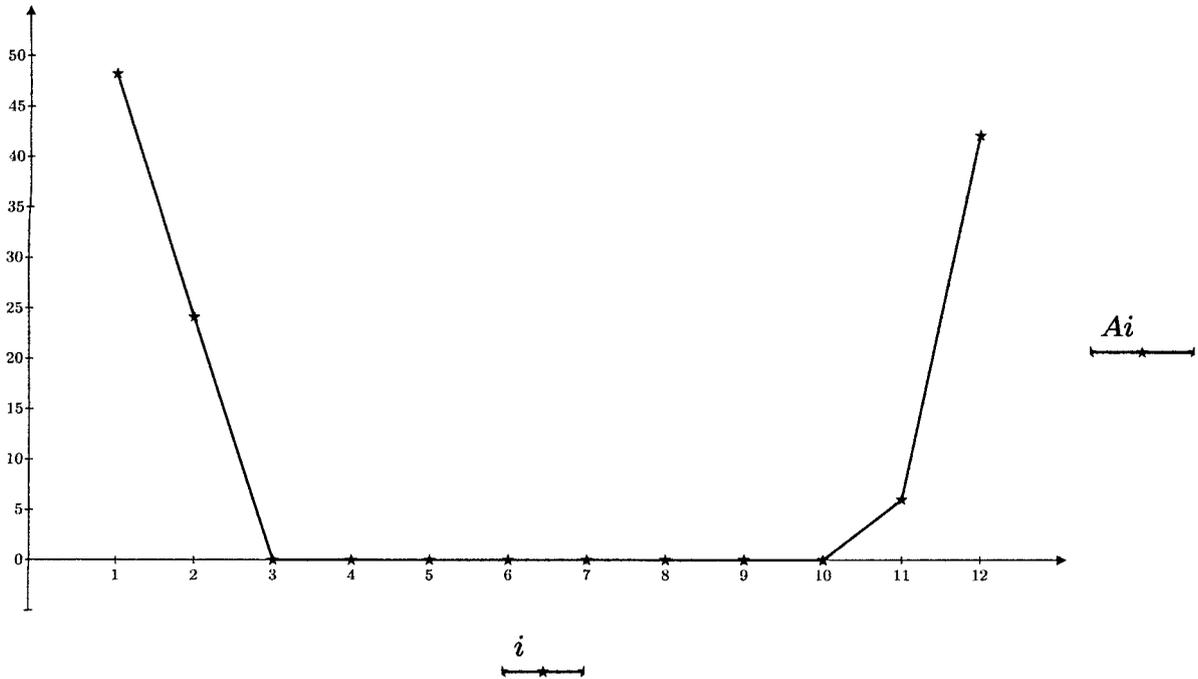
El coeficiente de abastecimiento, para los meses lluviosos está definido mediante:

$$\alpha := \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.05 \\ 0.35 \end{bmatrix}$$



El cálculo del abastecimiento de la retención A_i , que se presenta en la estación lluviosa (meses: noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo), se encuentra mediante:

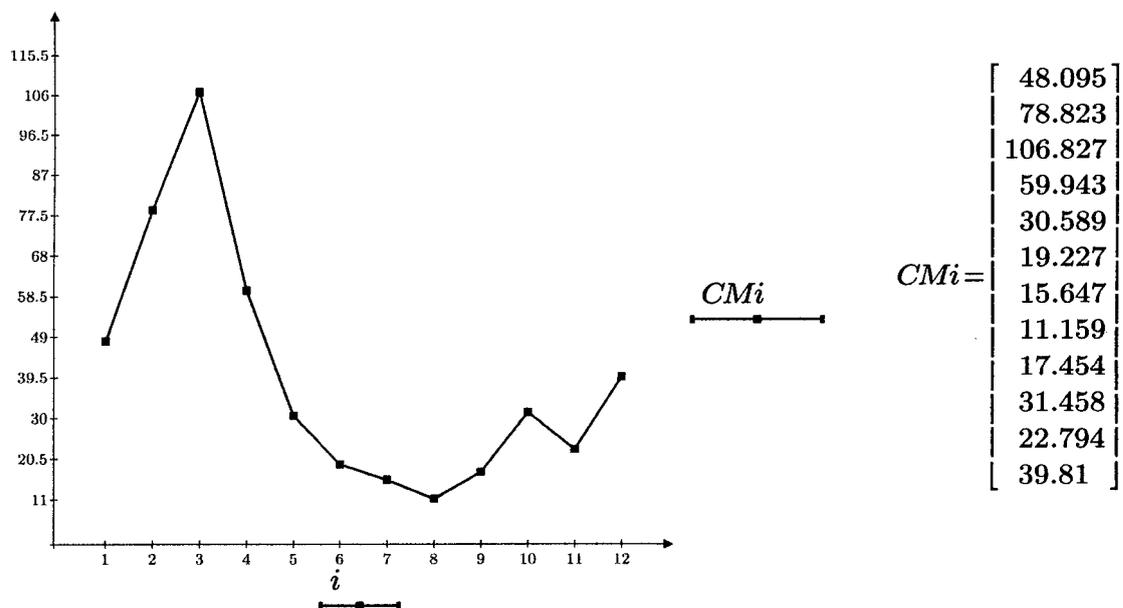
$$A_i := \alpha \cdot R$$



2.7) GENERACIÓN DE CAUDALES MENSUALES (CMI) PARA EL AÑO PROMEDIO

Los caudales para el año promedio (CMI, en mm/mes), se obtienen mediante:

$$CMI := Pe + Gi - Ai$$

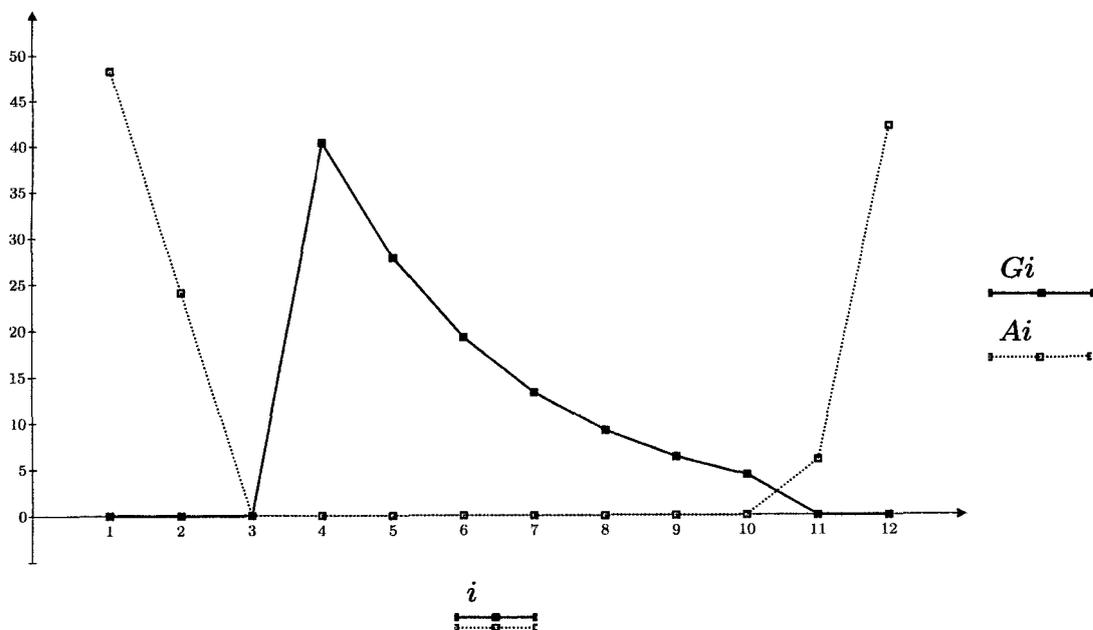


$$\begin{array}{l}
 Pe = \begin{bmatrix} 96.319 \\ 102.935 \\ 106.827 \\ 19.581 \\ 2.732 \\ 0 \\ 2.376 \\ 2 \\ 11.132 \\ 27.095 \\ 28.822 \\ 82.006 \end{bmatrix} \\
 Gi = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 40.362 \\ 27.857 \\ 19.227 \\ 13.27 \\ 9.159 \\ 6.321 \\ 4.363 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 Ai = \begin{bmatrix} 48.224 \\ 24.112 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6.028 \\ 42.196 \end{bmatrix} \\
 CMi = \begin{bmatrix} 48.095 \\ 78.823 \\ 106.827 \\ 59.943 \\ 30.589 \\ 19.227 \\ 15.647 \\ 11.159 \\ 17.454 \\ 31.458 \\ 22.794 \\ 39.81 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Creando una matriz formada por Pe , Gi , Ai , CMi

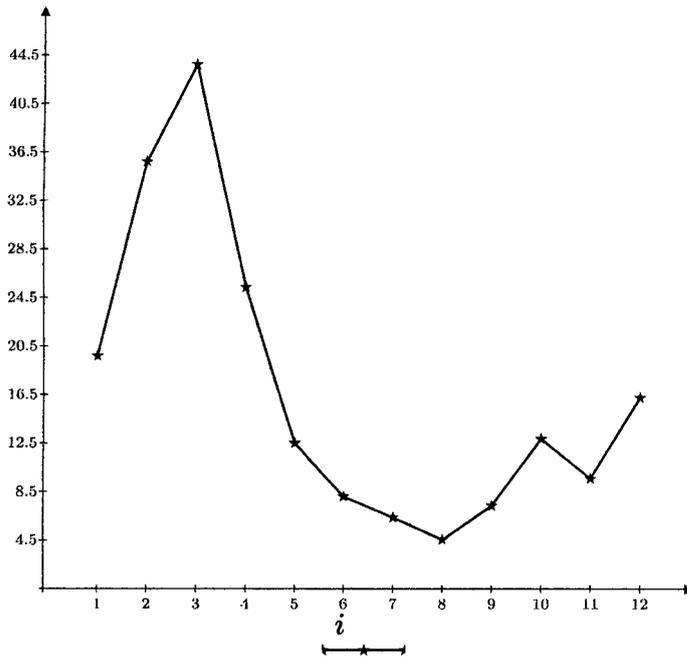
$$PGACM := \text{augment}(Pe, Gi, Ai, CMi)$$

$$PGACM = \begin{bmatrix} 96.319 & 0 & 48.224 & 48.095 \\ 102.935 & 0 & 24.112 & 78.823 \\ 106.827 & 0 & 0 & 106.827 \\ 19.581 & 40.362 & 0 & 59.943 \\ 2.732 & 27.857 & 0 & 30.589 \\ 0 & 19.227 & 0 & 19.227 \\ 2.376 & 13.27 & 0 & 15.647 \\ 2 & 9.159 & 0 & 11.159 \\ 11.132 & 6.321 & 0 & 17.454 \\ 27.095 & 4.363 & 0 & 31.458 \\ 28.822 & 0 & 6.028 & 22.794 \\ 82.006 & 0 & 42.196 & 39.81 \end{bmatrix}$$



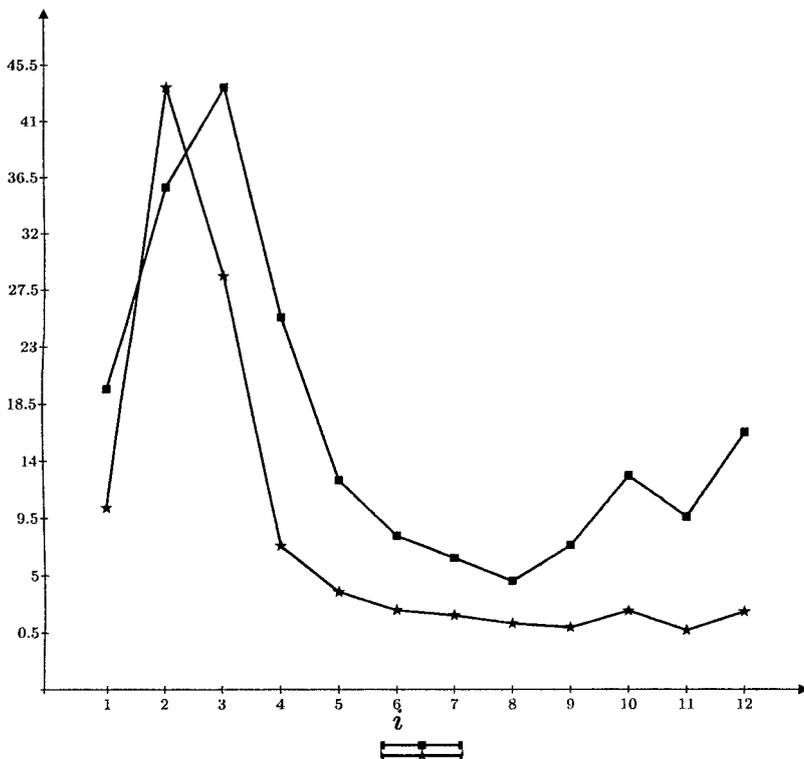
Expresando los CMI (mm/mes) en m3/s, se obtienen los caudales mensuales para el año promedio Q_0

$$Q_0 := \frac{1000}{D_{\text{meses}} \cdot 24 \cdot 3600} \cdot A \cdot CMI$$



$$Q_0 = \begin{bmatrix} 19.695 \\ 35.736 \\ 43.746 \\ 25.365 \\ 12.526 \\ 8.136 \\ 6.407 \\ 4.57 \\ 7.385 \\ 12.882 \\ 9.645 \\ 16.302 \end{bmatrix}$$

Caudales obtenidos y registrados



$$Q_{p2000} = \begin{bmatrix} 10.36 \\ 43.74 \\ 28.64 \\ 7.37 \\ 3.72 \\ 2.28 \\ 1.87 \\ 1.23 \\ 0.93 \\ 2.23 \\ 0.68 \\ 2.14 \end{bmatrix}$$

2.8) GENERACIÓN DE CAUDALES SINTÉTICAS

$$Qt := CMi$$

		$Qt1$	
	48.095	39.81	96.319
	78.823		102.935
	106.827		106.827
	59.943	48.095	19.581
	30.589	78.823	2.732
	19.227	106.827	0
	15.647	59.943	2.376
	11.159	30.589	2
	17.454	19.227	11.132
	31.458	15.647	27.095
	22.794	11.159	28.822
	39.81	17.454	82.006
		31.458	
		22.794	

$$pc := \text{polyfitc}(Qt, \text{augment}(Qt1, Pe), 2, 95\%)$$

	“Term”	“Coefficient”	“Std Error”	“95% CI Low”	“95% CI High”	“VIF”	“T”	“P”
$pc =$	“Intercept”	-14.838	7.11	-30.922	1.246	NaN	-2.087	0.033
	“A”	1.843	0.326	1.106	2.581	17.218	5.653	$1.561 \cdot 10^{-4}$
	“AA”	-0.008	0.003	-0.014	-0.002	17.218	-2.831	0.01

$$Qt(Q1, Pe, a, b, c) := a + b \cdot Q1 + c \cdot Pe$$

$$Qt(78.823, 96.319, -18.338, 2.028, -0.01) = 140.552$$

Anexo D

Indicadores estadísticos

Se adjunta los indicadores estadísticos del modelo Lutz Scholtz, calibrado para la generación de caudales mensuales medios en la Cuenca del Río Chacco.

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.801907501
Coefficiente de determinación R ²	0.64305564
R ² ajustado	0.563734671
Error típico	19.16224452
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	5953.649896	2976.824948	8.107006875	0.009698451
Residuos	9	3304.724536	367.1916151		
Total	11	9258.374432			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	20.36909519	10.55290598	1.930188256	0.085646639	-3.503236656	44.24142703	-3.503236656	44.24142703
Variable X 1	-0.104595292	0.448181389	-0.233377143	0.820690105	-1.118452031	0.909261447	-1.118452031	0.909261447
Variable X 2	0.597298996	0.299351229	1.995311654	0.077133565	-0.079880531	1.274478523	-0.079880531	1.274478523

Anexo E

Caudales generados

En esta sección se considera el proceso detallado de la generación estocástica de los caudales promedios mensuales para la cuenca del Río Chacco, para cuyo propósito se efectuó mediante la ecuación calibrada para la cuenca en estudio, ecuación 4.28, gráficamente queda establecido en la figura 4.28 de la página 59.

Generación Sintética de Caudales Promedios Mensuales

Coeficientes

Intercepción	20.369 b1
Variable X 1	-0.105 b2
Variable X 2	0.597 b3

Año	Mes	Qt(mm/mes)	Qt-1(mm/mes)	Pe(mm/mes)	S(mm/mes)	Nro Días	Q(m3/s)
2000	ENE	48.095	78.823	96.319		31.00	19.69
2000	FEB	78.823	106.827	102.935		28.00	35.74
2000	MAR	106.827	59.943	106.827		31.00	43.75
2000	ABR	59.943	30.589	19.581		30.00	25.37
2000	MAY	30.589	19.227	2.732		31.00	12.53
2000	JUN	19.227	15.647	0.000		30.00	8.14
2000	JUL	15.647	11.159	2.376		31.00	6.41
2000	AGO	11.159	17.454	2.000		31.00	4.57
2000	SET	17.454	31.458	11.132		30.00	7.39
2000	OCT	31.458	22.794	27.095		31.00	12.88
2000	NOV	22.794	39.810	28.822		30.00	9.65
2000	DIC	39.810	48.095	82.006		31.00	16.30
2001	ENE	72.781	39.810	96.319	-0.089	31.00	29.80
2001	FEB	77.615	72.781	102.935	-0.074	28.00	35.19
2001	MAR	77.494	77.615	106.827	0.930	31.00	31.73
2001	ABR	24.300	77.494	19.581	0.353	30.00	10.28
2001	MAY	12.679	24.300	2.732	-1.216	31.00	5.19
2001	JUN	18.782	12.679	0.000	0.955	30.00	7.95
2001	JUL	19.086	18.782	2.376	-1.376	31.00	7.82
2001	AGO	18.354	19.086	2.000	-1.245	31.00	7.52
2001	SET	23.991	18.354	11.132	-1.031	30.00	10.15
2001	OCT	35.419	23.991	27.095	0.786	31.00	14.50
2001	NOV	35.852	35.419	28.822	0.777	30.00	15.17
2001	DIC	63.434	35.852	82.006	-2.213	31.00	25.98
2002	ENE	73.936	63.434	96.319	-0.215	31.00	30.28
2002	FEB	73.957	73.936	102.935	-1.260	28.00	33.53
2002	MAR	75.907	73.957	106.827	-0.536	31.00	31.08
2002	ABR	24.656	75.907	19.581	0.327	30.00	10.43
2002	MAY	13.695	24.656	2.732	-0.367	31.00	5.61
2002	JUN	16.714	13.695	0.000	-1.076	30.00	7.07
2002	JUL	21.861	16.714	2.376	1.505	31.00	8.95
2002	AGO	19.695	21.861	2.000	-0.120	31.00	8.07
2002	SET	25.288	19.695	11.132	0.556	30.00	10.70
2002	OCT	34.436	25.288	27.095	-0.056	31.00	14.10
2002	NOV	33.644	34.436	28.822	-1.296	30.00	14.24
2002	DIC	65.318	33.644	82.006	-0.432	31.00	26.75
2003	ENE	73.784	65.318	96.319	-0.597	31.00	30.21
2003	FEB	74.171	73.784	102.935	-0.850	28.00	33.63
2003	MAR	76.707	74.171	106.827	0.247	31.00	31.41
2003	ABR	23.267	76.707	19.581	-1.040	30.00	9.85
2003	MAY	16.048	23.267	2.732	2.071	31.00	6.57
2003	JUN	17.435	16.048	0.000	-0.500	30.00	7.38
2003	JUL	20.149	17.435	2.376	0.039	31.00	8.25
2003	AGO	20.776	20.149	2.000	1.036	31.00	8.51

Año	Mes	Qt(mm/mes)	Qt-1(mm/mes)	Pe(mm/mes)	S(mm/mes)	Nro Días	Q(m3/s)
2003	SET	26.183	20.776	11.132	1.272	30.00	11.08
2003	OCT	33.972	26.183	27.095	-0.408	31.00	13.91
2003	NOV	34.899	33.972	28.822	0.053	30.00	14.77
2003	DIC	64.667	34.899	82.006	-1.130	31.00	26.48
2004	ENE	73.842	64.667	96.319	-0.408	31.00	30.24
2004	FEB	75.531	73.842	102.935	0.443	28.00	34.24
2004	MAR	74.798	75.531	106.827	-1.655	31.00	30.63
2004	ABR	24.202	74.798	19.581	0.037	30.00	10.24
2004	MAY	14.769	24.202	2.732	0.592	31.00	6.05
2004	JUN	18.015	14.769	0.000	0.177	30.00	7.62
2004	JUL	19.560	18.015	2.376	-0.683	31.00	8.01
2004	AGO	18.672	19.560	2.000	-1.008	31.00	7.65
2004	SET	24.493	18.672	11.132	-0.479	30.00	10.36
2004	OCT	34.723	24.493	27.095	0.123	31.00	14.22
2004	NOV	33.711	34.723	28.822	-1.312	30.00	14.26
2004	DIC	64.393	33.711	82.006	-1.326	31.00	26.37
2005	ENE	74.585	64.393	96.319	0.211	31.00	30.54
2005	FEB	77.662	74.585	102.935	2.545	28.00	35.21
2005	MAR	76.636	77.662	106.827	0.261	31.00	31.38
2005	ABR	23.334	76.636	19.581	-0.607	30.00	9.87
2005	MAY	13.233	23.334	2.732	-0.752	31.00	5.42
2005	JUN	18.316	13.233	0.000	0.388	30.00	7.75
2005	JUL	20.404	18.316	2.376	0.000	31.00	8.36
2005	AGO	18.496	20.404	2.000	-1.152	31.00	7.57
2005	SET	25.157	18.496	11.132	0.273	30.00	10.65
2005	OCT	36.475	25.157	27.095	1.857	31.00	14.94
2005	NOV	34.460	36.475	28.822	-0.493	30.00	14.58
2005	DIC	67.172	34.460	82.006	1.636	31.00	27.51
2006	ENE	74.860	67.172	96.319	0.565	31.00	30.66
2006	FEB	75.871	74.860	102.935	1.045	28.00	34.40
2006	MAR	75.627	75.871	106.827	-0.720	31.00	30.97
2006	ABR	25.430	75.627	19.581	1.301	30.00	10.76
2006	MAY	13.566	25.430	2.732	-0.525	31.00	5.56
2006	JUN	18.714	13.566	0.000	1.005	30.00	7.92
2006	JUL	20.983	18.714	2.376	0.613	31.00	8.59
2006	AGO	20.800	20.983	2.000	1.194	31.00	8.52
2006	SET	24.531	20.800	11.132	-0.292	30.00	10.38
2006	OCT	33.735	24.531	27.095	-0.642	31.00	13.81
2006	NOV	34.179	33.735	28.822	-0.839	30.00	14.46
2006	DIC	64.325	34.179	82.006	-1.498	31.00	26.34
2007	ENE	74.992	64.325	96.319	0.667	31.00	30.71
2007	FEB	74.720	74.992	102.935	-0.404	28.00	33.88
2007	MAR	76.905	74.720	106.827	0.572	31.00	31.49
2007	ABR	24.000	76.905	19.581	-0.250	30.00	10.16
2007	MAY	14.157	24.000	2.732	0.200	31.00	5.80
2007	JUN	19.194	14.157	0.000	1.335	30.00	8.12
2007	JUL	19.243	19.194	2.376	-1.064	31.00	7.88
2007	AGO	20.490	19.243	2.000	0.934	31.00	8.39
2007	SET	26.681	20.490	11.132	1.676	30.00	11.29
2007	OCT	34.602	26.681	27.095	0.193	31.00	14.17
2007	NOV	35.079	34.602	28.822	0.285	30.00	14.84

Año	Mes	Qt(mm/mes)	Qt-1(mm/mes)	Pe(mm/mes)	S(mm/mes)	Nro Días	Q(m3/s)
2007	DIC	65.716	35.079	82.006	-0.016	31.00	26.91
2008	ENE	73.598	65.716	96.319	-0.633	31.00	30.14
2008	FEB	73.515	73.598	102.935	-1.464	28.00	33.33
2008	MAR	77.052	73.515	106.827	0.573	31.00	31.55
2008	ABR	25.227	77.052	19.581	0.851	30.00	10.67
2008	MAY	13.392	25.227	2.732	-0.550	31.00	5.48
2008	JUN	18.133	13.392	0.000	0.402	30.00	7.67
2008	JUL	20.031	18.133	2.376	-0.357	31.00	8.20
2008	AGO	19.610	20.031	2.000	-0.057	31.00	8.03
2008	SET	23.306	19.610	11.132	-1.617	30.00	9.86
2008	OCT	33.674	23.306	27.095	-0.828	31.00	13.79
2008	NOV	35.532	33.674	28.822	0.385	30.00	15.04
2008	DIC	65.874	35.532	82.006	0.044	31.00	26.98
2009	ENE	72.847	65.874	96.319	-1.337	31.00	29.83
2009	FEB	76.704	72.847	102.935	1.742	28.00	34.78
2009	MAR	77.205	76.704	106.827	0.648	31.00	31.62
2009	ABR	23.461	77.205	19.581	-0.581	30.00	9.93
2009	MAY	13.553	23.461	2.732	-0.372	31.00	5.55
2009	JUN	17.941	13.553	0.000	0.026	30.00	7.59
2009	JUL	18.748	17.941	2.376	-1.622	31.00	7.68
2009	AGO	19.623	18.748	2.000	-0.064	31.00	8.04
2009	SET	24.649	19.623	11.132	-0.408	30.00	10.43
2009	OCT	31.781	24.649	27.095	-2.720	31.00	13.01
2009	NOV	35.640	31.781	28.822	0.634	30.00	15.08
2009	DIC	65.650	35.640	82.006	-0.378	31.00	26.88
2010	ENE	74.525	65.650	96.319	0.352	31.00	30.52
2010	FEB	73.884	74.525	102.935	-1.102	28.00	33.50
2010	MAR	77.369	73.884	106.827	0.987	31.00	31.68
2010	ABR	25.551	77.369	19.581	1.215	30.00	10.81
2010	MAY	13.978	25.551	2.732	0.070	31.00	5.72
2010	JUN	19.354	13.978	0.000	1.657	30.00	8.19
2010	JUL	18.236	19.354	2.376	-2.091	31.00	7.47
2010	AGO	18.696	18.236	2.000	-0.843	31.00	7.66
2010	SET	26.051	18.696	11.132	0.940	30.00	11.02
2010	OCT	36.655	26.051	27.095	2.058	31.00	15.01
2010	NOV	34.267	36.655	28.822	-0.593	30.00	14.50
2010	DIC	63.654	34.267	82.006	-1.864	31.00	26.07
2011	ENE	74.525	63.654	96.319	0.209	31.00	30.52
2011	FEB	75.838	74.525	102.935	0.644	28.00	34.38
2011	MAR	76.532	75.838	106.827	0.150	31.00	31.34
2011	ABR	24.239	76.532	19.581	0.107	30.00	10.26
2011	MAY	14.918	24.239	2.732	0.922	31.00	6.11
2011	JUN	16.770	14.918	0.000	-1.064	30.00	7.10
2011	JUL	20.665	16.770	2.376	0.437	31.00	8.46
2011	AGO	19.000	20.665	2.000	-0.810	31.00	7.78
2011	SET	26.780	19.000	11.132	1.923	30.00	11.33
2011	OCT	35.539	26.780	27.095	0.974	31.00	14.55
2011	NOV	34.469	35.539	28.822	-0.315	30.00	14.59
2011	DIC	64.382	34.469	82.006	-1.252	31.00	26.36
2012	ENE	73.235	64.382	96.319	-1.060	31.00	29.99
2012	FEB	77.414	73.235	102.935	2.296	28.00	35.10

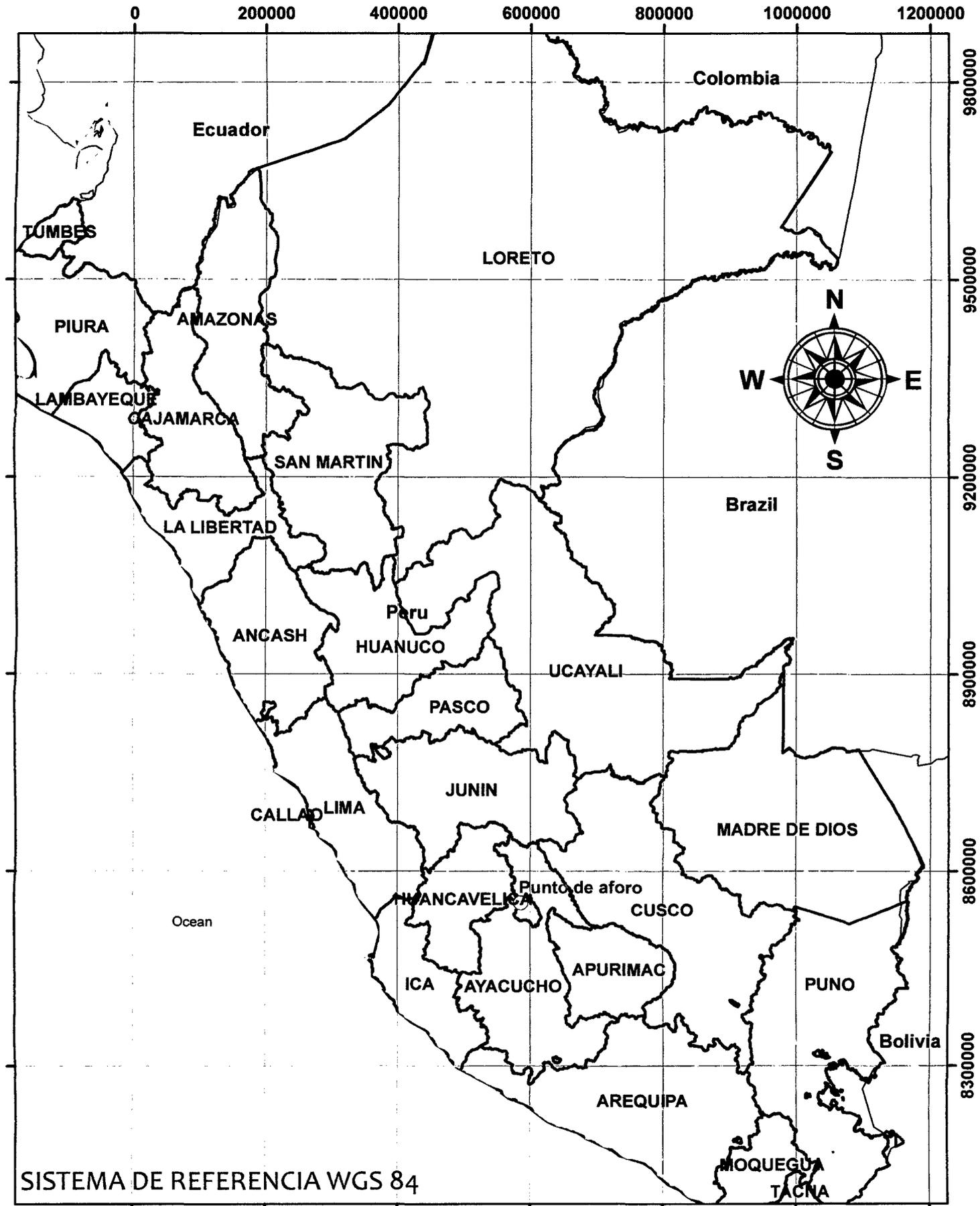
Año	Mes	Qt(mm/mes)	Qt-1(mm/mes)	Pe(mm/mes)	S(mm/mes)	Nro Días	Q(m3/s)
2012	MAR	75.473	77.414	106.827	-1.044	31.00	30.91
2012	ABR	23.594	75.473	19.581	-0.374	30.00	9.98
2012	MAY	15.406	23.594	2.732	1.299	31.00	6.31
2012	JUN	18.174	15.406	0.000	0.272	30.00	7.69
2012	JUL	19.893	18.174	2.376	-0.283	31.00	8.15
2012	AGO	17.672	19.893	2.000	-1.991	31.00	7.24
2012	SET	25.478	17.672	11.132	0.540	30.00	10.78
2012	OCT	35.680	25.478	27.095	0.976	31.00	14.61
2012	NOV	35.187	35.680	28.822	0.267	30.00	14.89
2012	DIC	64.946	35.187	82.006	-0.673	31.00	26.60
2013	ENE	74.607	64.946	96.319	0.387	31.00	30.55
2013	FEB	74.647	74.607	102.935	-0.412	28.00	33.84
2013	MAR	76.140	74.647	106.827	-0.233	31.00	31.18
2013	ABR	25.424	76.140	19.581	1.167	30.00	10.76
2013	MAY	14.560	25.424	2.732	0.523	31.00	5.96
2013	JUN	17.107	14.560	0.000	-0.603	30.00	7.24
2013	JUL	20.908	17.107	2.376	0.643	31.00	8.56
2013	AGO	19.471	20.908	2.000	-0.303	31.00	7.97
2013	SET	22.800	19.471	11.132	-2.032	30.00	9.65
2013	OCT	35.575	22.800	27.095	1.059	31.00	14.57
2013	NOV	34.536	35.575	28.822	-0.663	30.00	14.61
2013	DIC	65.272	34.536	82.006	-0.358	31.00	26.73
2014	ENE	74.607	65.272	96.319	0.319	31.00	30.55
2014	FEB	73.784	74.607	102.935	-1.241	28.00	33.45
2014	MAR	75.654	73.784	106.827	-0.719	31.00	30.98
2014	ABR	24.093	75.654	19.581	-0.255	30.00	10.19
2014	MAY	15.563	24.093	2.732	1.475	31.00	6.37
2014	JUN	18.583	15.563	0.000	0.734	30.00	7.86
2014	JUL	22.415	18.583	2.376	2.254	31.00	9.18
2014	AGO	19.744	22.415	2.000	0.125	31.00	8.09
2014	SET	24.496	19.744	11.132	-0.177	30.00	10.37
2014	OCT	35.907	24.496	27.095	1.419	31.00	14.70
2014	NOV	33.498	35.907	28.822	-1.524	30.00	14.17
2014	DIC	64.857	33.498	82.006	-0.738	31.00	26.56
2015	ENE	73.173	64.857	96.319	-1.223	31.00	29.96
2015	FEB	74.733	73.173	102.935	-0.336	28.00	33.88
2015	MAR	75.944	74.733	106.827	-0.579	31.00	31.10
2015	ABR	25.205	75.944	19.581	0.957	30.00	10.67
2015	MAY	14.823	25.205	2.732	0.766	31.00	6.07
2015	JUN	17.129	14.823	0.000	-0.603	30.00	7.25
2015	JUL	21.538	17.129	2.376	1.300	31.00	8.82
2015	AGO	20.572	21.538	2.000	0.800	31.00	8.42
2015	SET	26.373	20.572	11.132	1.607	30.00	11.16
2015	OCT	33.225	26.373	27.095	-1.176	31.00	13.61
2015	NOV	36.106	33.225	28.822	1.280	30.00	15.28
2015	DIC	65.687	36.106	82.006	-0.189	31.00	26.90

Anexo F

Planos de la cuenca Chacco

Los planos que se incluyen en relación a la cuenca del Río Chacco, son los siguientes:

- Plano de Ubicación de la cuenca Chacco.
- Plano de Localización.
- Plano de la red hídrica.
- Plano de la variación altitudinal de cuenca.
- Plano de la ubicación de las estaciones meteorológicas identificadas en la cuenca Chacco y cuencas limítrofes.

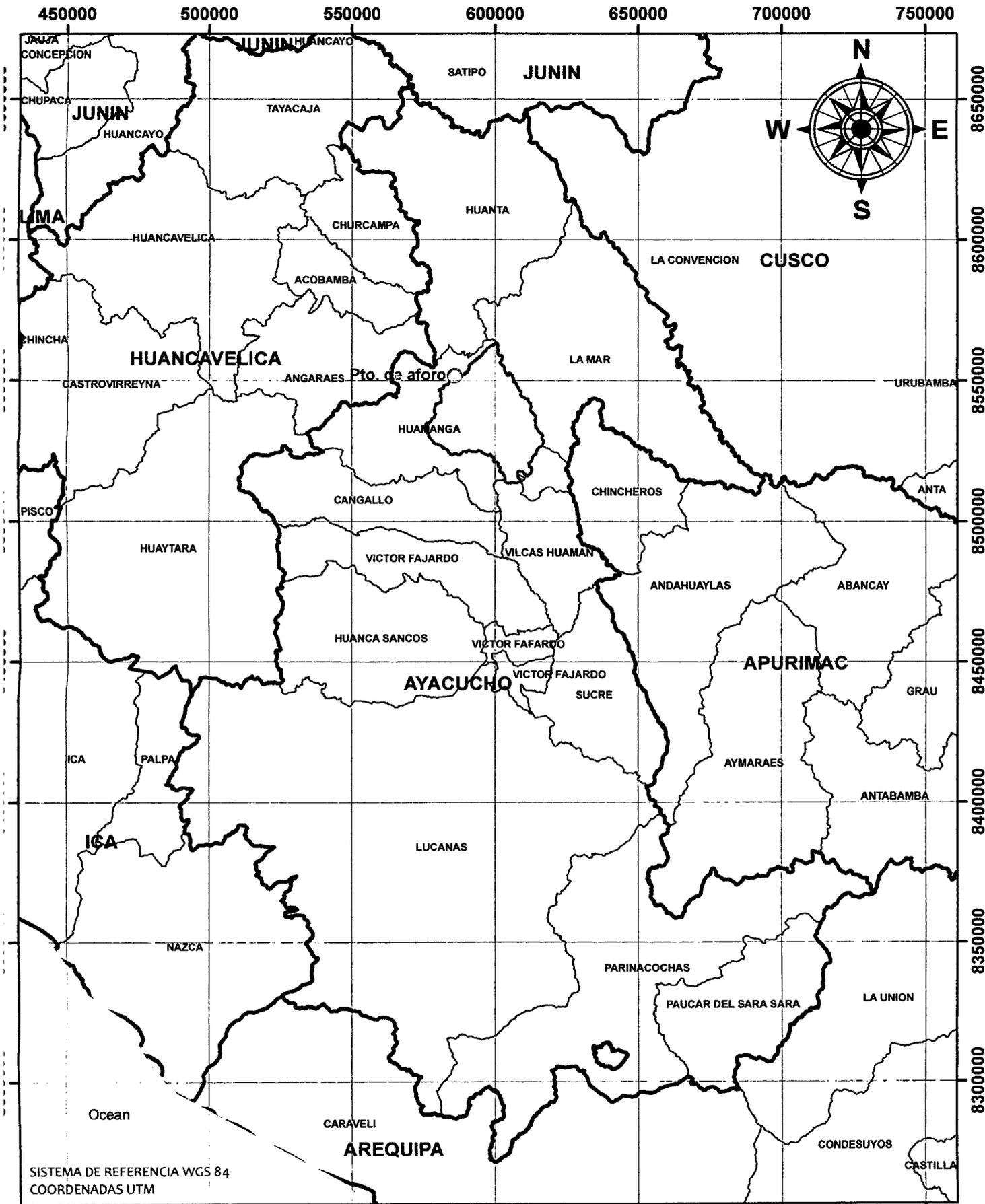


EYENDA

- Punto de Aforo
- Océano
- Países del mundo
- Cuenca Chacco
- Límite Departamental

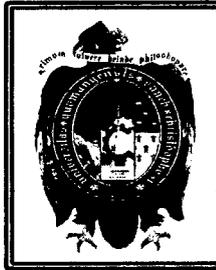


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA. FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL.		
PROFESIONAL:	PLANO:	ESCALA:
Bach. Ing. 101 David NAJARRO S.	LOCALIZACION DE LA CUENCA DEL RIO CHACCO	1:7,500,000



SISTEMA DE REFERENCIA WGS 84
COORDENADAS UTM

- EYENDA**
- Punto de Aforo
 - Océano
 - ▭ Cuenca Chacco
 - ▭ Límite Provincial
 - ▭ Límite Departamental

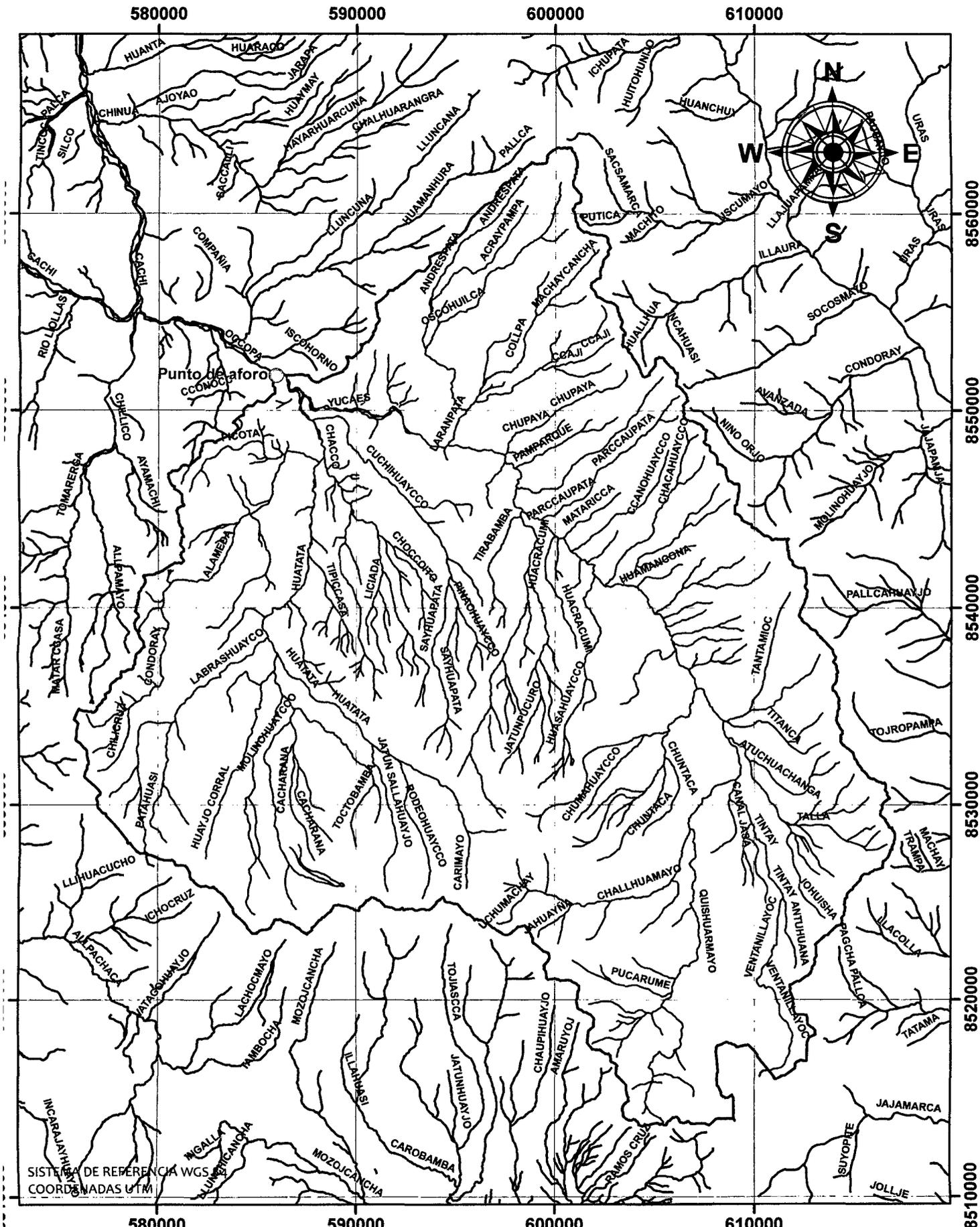


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA.
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL.
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL.

PROFESIONAL:
Bach. Ing. 102
David NAJARRO S.

PLANO:
**UBICACION DE LA
CUENCA DEL RIO CHACCO**

ESCALA:
1:1,750,000



LEYENDA

- Punto de Aforo
- Ríos
- ▭ Cuenca Chacco



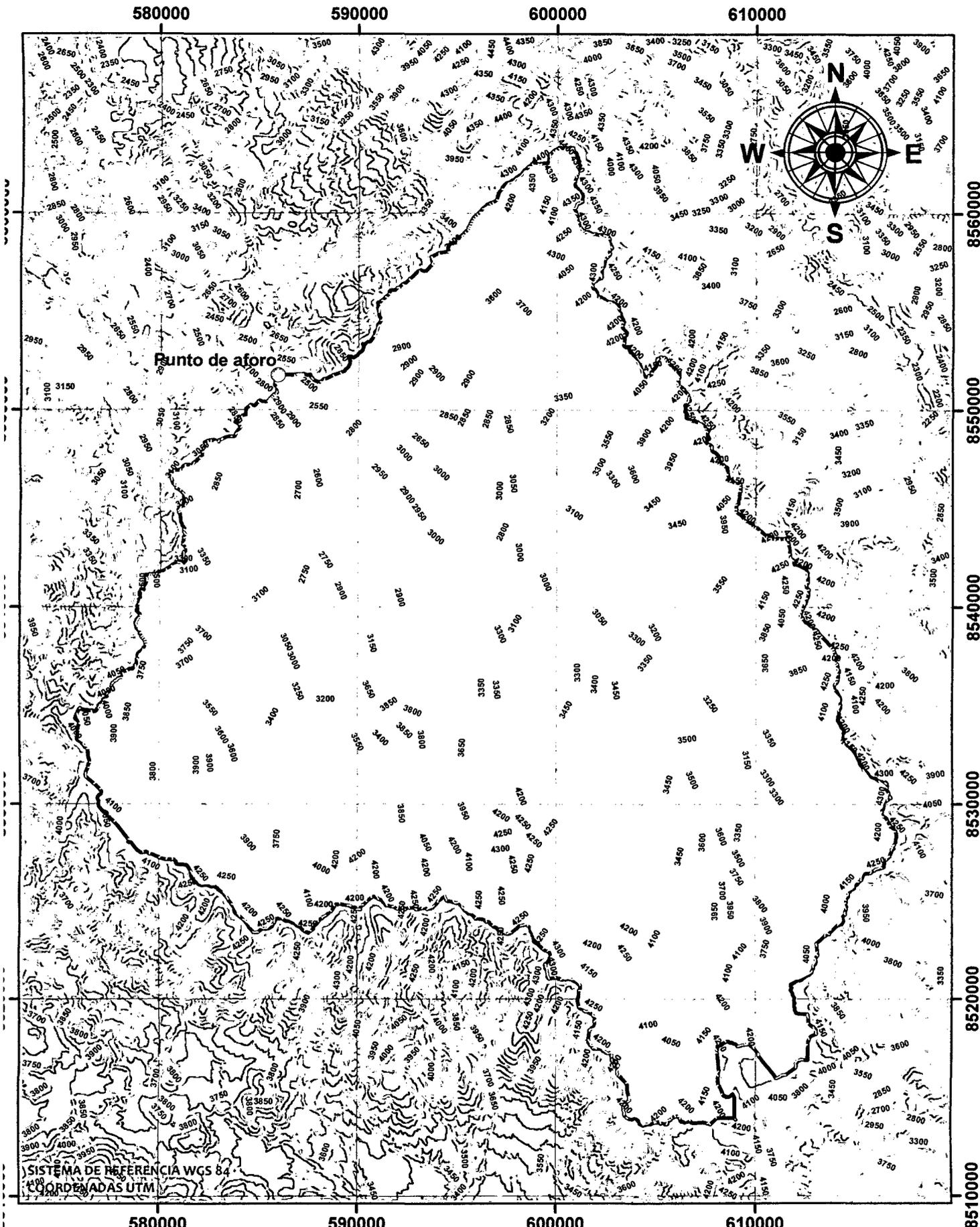
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA.
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL.
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL.

PROFESIONAL:
 Bach. Ing. 103
 David NAJARRO S.

PLANO:
**RED HIDRICA
 CUENCA CHACCO**

ESCALA:
 1:250,000

SISTEMA DE REFERENCIA WGS
 COORDENADAS UTM



LEYENDA

- Punto de Aforo
- Curvas de nivel
- ▭ Cuenca Chacco



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA. FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL.		
PROFESIONAL:	PLANO:	ESCALA:
Bach. Ing. 104 David NAJARRO S.	VARIACION ALTITUDINAL CUENCA CHACCO	1:250,000