

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN ÚTIL DEL EMBALSE
PURAPA EN LA SUBCUENCA VICHAYCOCHA”**

Presentado por:

JHAN DOUGLAS CORDOVA GONZALES

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima-Perú

2016

DEDICATORIA

En memoria de mi abuelo Cesar Gonzales Carrasco

A mi familia por la perseverancia y la larga espera

A mis amigos por el apoyo brindado.

AGRADECIMIENTO

A mi madre, Miriam

A mi abuela, Rosa y a toda mi familia

A mis amigos Héctor y Moisés

por el apoyo incondicional

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL.....	3
2.2	EMBALSE PROYECTADO “VASO PURAPA”.....	8
2.3	IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	9
2.3.1	Implementación de los modelos determinísticos.....	9
2.3.2	Tipos de modelo de simulación continua.	11
2.4	MODELO WEAP	12
2.4.1	Modelamiento de aportaciones.....	12
2.4.2	Asignación de agua en el modelo.....	16
2.4.3	Operación de reservorios.....	17
2.5	DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO	19
2.5.1	Método de Rippl.....	19
2.5.2	Análisis de piscos secuenciales.	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL	22
3.2	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL	25
3.2.1	Temperatura.....	25
3.2.2	Humedad relativa.....	26
3.2.3	Velocidad del viento.....	26

3.2.4	Evapotranspiración potencial	27
3.3	ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA 28	
3.3.1	Información disponible.....	28
3.3.2	Análisis gráfico.....	31
3.3.3	Análisis estadístico	33
3.3.4	Completación y extensión de información pluviométrica.....	34
3.4	REPOCILACIÓN DE DATOS HIDROMÉTRICOS.....	36
3.5	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN WEAP	38
3.5.1	Definición del esquema topológico	38
3.5.2	Cobertura vegetal.....	39
3.5.3	Datos climáticos	41
3.6	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO	42
3.7	SIMULACIÓN DE OPERACIÓN DEL EMBALSE.....	45
3.7.1	Demanda impuesta	45
3.7.2	Curva elevación-volumen.....	46
3.7.3	Garantía de abastecimiento de la demanda.....	47
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1	CAUDALES GENERADOS EN EL PUNTO DE INTERÉS.....	48
4.2	DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO	51
4.3	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL EMBALSE	53
4.4	GARANTÍA DE ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	54
V.	CONCLUSIONES.....	55

VI. RECOMENDACIONES 56

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Ubicación Geográfica	22
Cuadro 2: Características fisiográficas de la cuenca Chancay-Huaral.....	23
Cuadro 3: Características fisiográficas de las subcuencas.....	24
Cuadro 4: Características de la cuenca vertiente al vaso Purapa.....	24
Cuadro 5: Variación de la temperatura media mensual a nivel de cada subcuenca.	25
Cuadro 6: Variación de la humedad relativa (%).....	26
Cuadro 7: Velocidad del viento.....	26
Cuadro 8: Evapotranspiración potencial a nivel mensual	27
Cuadro 9: Estaciones pluviométricas cuenca Chancay-Huaral	28
Cuadro 10: Estaciones pluviométricas cuenca del río Huaura	29
Cuadro 10: Estaciones pluviométricas cuenca del río Chillón.....	29
Cuadro 10: Estaciones pluviométricas cuenca del río Chillón.....	29
Cuadro 10: Estación hidrométrica Santo Domingo.....	36
Cuadro 11: Serie de caudales aforados, Estación Santo Domingo.....	36
Cuadro 12: Indicadores de eficiencia del modelo	42
Cuadro 13: Indicadores de eficiencia del modelo, periodo de calibración.....	43
Cuadro 14: Indicadores de eficiencia del modelo, periodo de validación.....	44
Cuadro 15: Caudales generados en el punto de interés.	49
Cuadro 16: Determinación del almacenamiento requerido, vaso Purapa. Método analítico.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del balance de humedad en el suelo para el modelo “Soil Moisture Method”	13
Figura 2: Modelación de embalses en WEAP.....	17
Figura 3. Estimación de la capacidad de almacenamiento por el procedimiento de curva masa.....	19
Figura 4: Diagrama de picos secuenciales.....	21
Figura 5: Definición de subcuencas	23
Figura 6: Ubicación de estaciones pluviométricas	30
Figura 7: Doble masa grupo 1, estaciones pluviométricas.....	32
Figura 8: Doble masa grupo 2, estaciones pluviométricas.....	32
Figura 9: Caudal promedio mensual, estación Santo Domingo.....	37
Figura 10: Esquema del modelo WEAP cuenca Chancay – Huaral.....	38
Figura 11: Mapa de cobertura vegetal.....	41
Figura 12: Periodo de calibración (1975-1994).....	43
Figura 13: Periodo de validación (1995-2009).....	43
Figura 14: Comparación caudales simulados vs observados, periodo de calibración....	44
Figura 15: Comparación caudales simulados vs observados, periodo de validación.....	44
Figura 16: Caudal mensual al 95% de persistencia	45
Figura 17: Demanda impuesta agua abajo del embalse Purapa.....	46
Figura 18: Curva elevación – área-volumen.....	46
Figura 19: Serie de caudales generados en el punto de interés.....	48

Figura 20: Caudal promedio mensual en el punto de interés.	48
Figura 21: Determinación del almacenamiento requerido, vaso Purapa. Método gráfico.	51
Figura 22. Gráfico del valor $D_t - O_t + V_{t-1}$	53
Figura 23: Cobertura volumétrica	54
Figura 24: Cobertura temporal	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Registros históricos de precipitación total mensual.

ANEXO 2: Determinación del almacenamiento requerido - Método analítico

RESUMEN

(I) En el presente trabajo se busca determinar la capacidad de almacenamiento requerida para el vaso proyectado en la subcuenca Vichaycocha, denominado embalse Purapa, el cual permitirá incrementar la oferta hídrica en la cuenca Chancay-Huaral durante los meses de estiaje. **(M)** El método utilizado para el cálculo del volumen útil del embalse fue el de “picos secuenciales”, para lo cual es necesario tener definida la oferta hídrica en el punto de interés y la demanda que se espera atender desde el embalse. La generación de caudales en el eje donde se ubica el cierre o boquilla del vaso se realizó mediante el modelo precipitación-escorrentía denominado “soil moisture method” que viene incorporado en el software Water Evaluation and Planning (WEAP). Los datos de la estación hidrométrica Santo Domingo se utilizaron para la calibración y validación del modelo hidrológico. Por el lado de la demanda hídrica, se consideró el caudal ecológico y las necesidades para el uso agrícola y poblacional. **(R)** Como resultado, se obtuvo que el vaso Purapa requiere de un volumen útil de 6.0 hm^3 (seis millones de metros cúbicos) y mediante la simulación de operación del embalse se comprobó que dicha capacidad permite contar con una garantía de abastecimiento de la demanda de prácticamente 100% (temporal y volumétrica) **(C)** Se concluye que el método de picos secuenciales permitió definir de manera rápida y sencilla la capacidad de almacenamiento para el vaso Purapa, resultado que debe considerarse como primera aproximación en la fase de evaluación técnica y económica del proyecto.

Palabras clave: embalse, capacidad de almacenamiento, picos secuenciales, modelamiento hidrológico.

ABSTRACT

(I)The present work aims to determine the storage capacity required for future reservoir in Vichaycocha subbasin, called “Purapa” reservoir, which will seek to increase the water supply in Chancay-Huaral basin during the dry season. **(M)** The method used to calculate the active storage of the reservoir was "sequent peak analysis", in which inflows and outflows from the reservoir should be set previously. Simulation of natural flows in the river from the drainage basin was performed by precipitation-runoff model "soil moisture method" that is incorporated in the Water Evaluation and Planning (WEAP) software. Data from Santo Domingo flow gauge were used for calibration and validation of the hydrological model. On the other hand, water demand comprises ecological flow and requirements for agricultural and population purposes. **(R)** As a result, an active volume of 6.0 mcm (six million cubic meters) was obtained for Purapa reservoir and through the simulation of the reservoir it was verified that this capacity allows a water demand coverage and reliability of almost 100% **(C)** It is concluded that the sequent peak analysis is a simple method that allows to determine the storage capacity of Purapa reservoir, a result that should be considered as a first approximation in the feasibility study of the project.

Keywords: reservoir, storage capacity, sequent peak analysis, hydrological model.

I. INTRODUCCIÓN

La zona costera del Perú se caracteriza por poseer un clima desértico y de escasas precipitaciones; pese a ello es la región más poblada del Perú.

Los recursos hídricos en esta región por lo general no cubren en su totalidad las demandas hídricas, y se prevé que este déficit se vaya agudizando a futuro debido al crecimiento poblacional, la incorporación de nuevas áreas de cultivo y el desarrollo del sector industrial; dando lugar a conflictos intersectoriales.

Con el fin de reducir la brecha existente entre oferta y demanda hídrica se proyectan y construyen obras de afianzamiento hídrico para mejorar la distribución de recursos durante el año e incrementar la oferta en los meses de secos.

La cuenca Chancay-Huaral no es ajena a estos esfuerzos de afianzamiento; a través de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) se han realizado diversos estudios para mejorar la gestión del agua en la cuenca. Uno de estos documentos es el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Chancay-Huaral (PGRHC Chancay-Huaral, 2014), el cual incluye una serie de intervenciones que apuntan a mejorar la regulación de agua en la cuenca, destacándose la construcción de nuevas presas.

Una de las represas proyectadas se encuentra ubicada en el vaso Purapa, dentro de la subcuenca Vichaycocha, con un predimensionamiento sugerido por PGRHC Chancay-Huaral de 30- 40 m de altura y una capacidad de almacenamiento de entre 6 y 12 hm³.

En la presente tesis se pretende determinar la capacidad de almacenamiento del vaso Purapa usando la metodología de picos secuentes, logrando de esta manera contribuir con la Junta de Usuarios de la Cuenca Chancay-Huaral para resolver interrogantes de diseño, oferta hídrica y capacidad del almacenamiento del embalse.

Objetivo Principal

- Determinar el volumen útil mediante el método de Picos Secuenciales del vaso Purapa

Objetivos Específicos

- Estimar la oferta de agua disponible en el punto de interés, sección presa Purapa, mediante un modelo hidrológico precipitación-escorrentía (WEAP)
- Simular la operación del embalse y su regla de operación con el modelo WEAP.
- Determinar el grado de satisfacción de la demanda hídrica impuesta al embalse.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL.

Dentro de la cuenca Chancay-Huaral, las principales actividades económicas desarrolladas son: agrícola, ganadera, pesquera y piscícola, desembarque, comercio y servicios, energético e industrial; de los cuales los usuarios sectoriales reconocidos por ley son:

a) Poblacional, representado por las empresas municipales de agua potable, Empresas públicas de saneamiento-EPS, Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento-JASS y los servicios de agua y saneamiento de centros poblados menores-CPM y comunales-SASCC (menores de 2000 habitantes) generando una demanda anual en el 2014 de 16 hm³.

b) Agrario, Constituidos por los usuarios de las diferentes comisiones de riego, representados por usuarios agrarios de la parte media y alta de la cuenca y por usuarios agrarios del valle bajo, organizados en comisiones de riego y Junta de Usuarios respectivamente. En el valle, del total del área bajo riego, 17 923.6 ha son áreas de licencia y 3166.6 ha son áreas de permiso, indicando que los derechos de las áreas de licencia están consentidos sobre el uso de las aguas de río, mientras que los derechos de las áreas de permiso solo sobre aguas de recuperación.

En cuanto a la demanda en el Valle Chancay-Huaral, considerado las asignaciones por bocatoma y tomas directas desde 2007 al 2012, se obtiene en promedio un volumen anual de 300 hm³.

c) Energético, Constituido por centrales hidroeléctricas en operación, principalmente en la subcuenca de Baños y Vichaycocha aprovechando los recursos hídricos de la parte alta y media de la cuenca. Este uso es considerado de tipo “no consuntivo”, ya que las aguas turbinadas son recuperadas en su totalidad inmediatamente aguas abajo de la casa de máquinas, causando cambios en el hidrograma de escorrentía del río.

d) Minero, Constituidos por usuarios formales que utilizan el agua en la actividad minera; se ubican en la cuenca alta y el valle bajo. En las zonas más altas de la subcuenca

Vichaycocha operan varias minas artesanales como minas de cal y carbón; y en las zonas bajas arcillas, gravas y áridos. Actualmente existe actividad minera en las proximidades de Huaral y en la subcuenca Vichaycocha: En la subcuenca Vichaycocha, hay dos zonas de actividad minera que dependen de la Empresa Administrativa Chungar S.A.C., en el distrito de Santa Cruz de Andamarca. Minera Colquisiri en la cuenca baja. Realiza operaciones mineras de explotación subterránea y tratamiento de flotación selectiva para la recuperación de minerales: Plata, Cobre, Plomo y Zinc.

e) Industriales, Usuarios que aprovechan el recurso hídrico con fines productivos en sector industrial. Concentrados en la parte baja y en la intercuenca.

f) Pecuario, Constituidos por usuarios con actividades de explotación pecuaria diversa (vacunos, porcinos, aves y animales menores). Con lo que respecta al uso ganadero del agua en el valle, el agua subterránea constituye la principal fuente de agua desde la zona media y baja y en la intercuenca

g) Pesquera, Las principales actividades pesqueras en la provincia de Huaral se desarrollan en el Puerto de Chancay. Éstas son: Pesca Industrial: en el distrito de Chancay hay 7 fábricas con capacidad de procesamiento de 563 TM de pescado por hora. Desarrollo de desembarque en el puerto Chancay de recursos hidrobiológicos a través de IMARPE y DICAPI. La población total dependiente dedicada a la pesca artesanal marítima se estima en 250 personas. En la cuenca media existen dos empresas piscícolas que se dedican a la crianza de truchas. La principal de ellas es “piscícola Rossell”, en el Río Cárac, en el distrito de Pacaraos. Además se constata la presencia de cultivo en jaulas flotantes de truchas en la laguna de Chungar. Ninguna de estas actividades parece tener formalizados sus derechos de agua.

h) Medicinal, en la cuenca alta existen afloramientos de aguas “Termo medicinales” que reciben el nombre de “Baños termales”, como los existentes en las sub-cuencas de Vichaycocha y Baños, conocidos como baños termales Santa Cruz de Andamarca

En la cuenca se han otorgado 8946 resoluciones administrativas otorgando derechos de uso de agua superficial, de las cuales los derechos para usos agrarios (de tipo consuntivo) y para uso energético (no consuntivo) son los que adquieren mayor relevancia.

De los usos consuntivos destaca, la importancia del volumen en el uso productivo agrícola (39,15 % del volumen total de derechos otorgados y el 92,81 % del volumen total de usos

consuntivos). Por otro lado, dentro de los usos no consuntivos se ubica al uso productivo energético, que representa el 60,85 % del volumen total de derechos de uso

La demanda promedio anual de agua de todos los sectores es del orden de los 370 hm³, siendo la agricultura bajo riego el mayor uso con un volumen de 360 hm³ (96%). La oferta de toda fuente es del orden de los 530 hm³ por año, las bajas aportaciones del estiaje, principalmente durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, podrían producir pequeños déficit en el periodo del orden de 50 hm³ a 60 hm³.

El problema del déficit radica en la inadecuada gestión de los recursos hídricos que se manifiesta en bajo aprovechamiento de los recursos hídricos, poca regulación de la cuenca y deterioro de la calidad del agua como resultado de la desarticulación entre las instituciones y organizaciones locales para desarrollar una gestión multisectorial de los recursos hídricos y baja valoración del agua.

Las intervenciones definidas para mejorar la Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Chancay-Huaral son:

- a) Aprovechamiento de recursos hídricos. Las intervenciones propuestas para alcanzar los objetivos expuestos pueden dividirse en: Aprovechamiento y reserva distribuida mediante reservorios en parcelas y agrupaciones de parcelas en subcuencas de la parte media, que incluye el desarrollo de un sistema de riego semitecnificado, para aumentar la eficiencia de aplicación y reducir las pérdidas de agua.
- b) Desarrollo de 2 reservorios en subcuencas de la parte media que permitan almacenar y regular de forma interanual los excedentes, Quipacaca en Añasmayo, con una altura de presa de 20 m y una capacidad de almacenamiento de entre 1 y 2 hm³ y Yaco Coyonca en Huataya, con una altura de presa de 35 m y una capacidad de almacenamiento de entre 2 y 3 hm³.
- c) Mejora de las estructuras de captación de la cuenca media y alta. Revestimiento de canales, principalmente de aquellos de funcionamiento permanente en el estiaje y aquellos utilizados para el abastecimiento de agua de uso doméstico-poblacional. Mediante esta iniciativa, el incremento de volumen que se alcanzaría estaría entorno a los 0.7 y 3 hm³.

- d) Programa de siembra de agua y mejoramiento de la capacidad de retención y filtración de aguas en las subcuencas Cárac, Añasmayo y Huataya (AMUNAS). Esta intervención debe constituir un programa a largo plazo coordinado por ANA-DCPRH y las comunidades campesinas de la cuenca alta y media.
- e) Afianzamiento y reforzamiento de lagunas de la cuenca alta, mediante nuevas represas de mediana capacidad y rehabilitación de las existentes. Potenciar la capacidad de almacenamiento original de algunas lagunas existentes (en subcuencas de Baños, Quiles y Vichaycocha) mediante proyectos de rehabilitación y/o ampliación y la generación de nuevos diques en algunas de ellas. Por tanto, los volúmenes anuales incrementados con esta iniciativa serían: Rehabilitación de 5 lagunas: 2 en el subsistema Chicrín, 2 en el Quiles y 1 en Vichaycocha. Incremento anual de volumen de hasta 17.2 hm³: Ampliación de 2 lagunas del subsistema Baños. Se estima también un volumen de ampliación de 5.7 hm³. Nuevas represas en 3 lagunas, dos ubicadas en el subsistema Quiles y el subsistema Puajanca de donde se trasvasa agua hacia Baños. Incremento anual de volumen en torno a 3 hm³.
- f) Construcción de 2 grandes reservorios en la cuenca alta. Aprovechamiento de excedente mediante la construcción de 2 grandes reservorios en la cuenca alta. El almacenamiento y regulación, permitirán incrementar la oferta de recurso hídrico durante el periodo de estiaje, garantizando el suministro a los distintos usos sectoriales del valle (principalmente uso agrícola y abastecimiento poblacional). Los dos reservorios que se proponen son: Purapa en la subcuenca de Vichaycocha, con una altura de presa de 30-40 m y una capacidad de almacenamiento de entre 6 y 12 hm³. Reservorio en la microcuenca Quiles, con una altura de presa de 70 m y una capacidad de almacenamiento en torno a 12 hm³.
- g) Recuperación de 11 reservorios de regulación diaria abandonados en el valle Chancay-Huaral, con el objetivo de fomentar el riego de día y mejorar las eficiencias de aplicación del riego por bloques durante el estiaje.
- h) Sistema de uso conjuntivo racionalizado de aguas superficiales y subterráneas mediante la perforación de 20-25 pozos tubulares para la inclusión de áreas marginales, las cuales ocupan una superficie de 3000 ha aproximadamente (un 15% de la superficie aluvial del valle). El objetivo que persigue esta intervención es utilizar el agua de río

durante la estación húmeda (de diciembre a abril) y un uso conjuntivo en el periodo de estiaje (de mayo a noviembre).

i) Actualización del conocimiento e inventario de fuentes de agua, determinación de demandas con propósitos de preservación y aprovechamiento. Para lograr este propósito se requiere: Actualizar el inventario de todos los recursos hídricos de la cuenca, incluidos las cuencas media y alta. Formulación de un plan de preservación de fuentes y cuerpos de agua de la cuenca media y alta. Formulación de planes de monitoreo y seguimiento de planes de explotación sectorial.

2.2 EMBALSE PROYECTADO “VASO PURAPA”

El vaso Purapa se encuentra ubicado en el río Vichaycocha, a 11 km aguas arriba de la localidad del mismo nombre, a una altitud de 4120 msnm. Hidrográficamente se ubica dentro de la cuenca Chancay-Huaral.

La identificación de este embalse se realizó por primera vez en un estudio de la ONERN en noviembre de 1969, titulado: *INVENTARIO, EVALUACION Y USO RACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA COSTA VALLE – CHANCAY HUARAL VOL I*, en el cual se menciona el embalse del vaso Purapa con capacidad de 10 millones de metros cúbicos (hm^3), que presenta buenas condiciones geomorfológicas en la boquilla y geomecánicas de las rocas en el cierre, condiciones necesarias para un embalse de gran volumen.

El propósito de este embalse es principalmente con fines agrícolas, para satisfacer las demandas de las áreas bajo riego de la cuenca media y baja, las cuales actualmente tienen problemas de abastecimiento de agua durante la época de sequía (mayo a noviembre).

Recientemente, en el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Chancay-Huaral (ANA, 2014), se ha retomado el proyecto de construcción de una presa en el vaso Purapa con el objetivo de disminuir el déficit hídrico en el valle agrícola, sin embargo aún no se han iniciado los estudios de preinversión.

2.3 IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

El objetivo de la evaluación de recursos hídricos de un sistema es determinar, en los puntos de interés, la cantidad de recurso hídrico y su distribución en el tiempo y para ello las herramientas que fundamentalmente se utilizan están basadas en la modelización. A continuación se trata sobre los modelos matemáticos utilizados para tal fin, los tipos existentes y su campo de aplicación (Estrela, 1992).

Los modelos matemáticos pueden dividirse en dos grandes grupos, los determinísticos y estocásticos. En los primeros las variables vienen determinadas por las leyes físicas (empíricas, conceptuales o teóricas) consideradas como exactas y que explican toda su variabilidad, mientras que en los segundos las variables son regidas en todo o en parte por las leyes del azar y por tanto caracterizadas en términos de probabilidad (Estrela, 1992).

Los modelos determinísticos suelen tener mayor potencial que los estocásticos, generalmente cajas negras, para simular aportaciones en cuencas no aforadas, dada la posible relación de sus parámetros con las características físicas de las cuencas. Este tipo de modelos ha sido utilizado por los hidrólogos con un mayor agrado en el campo de la evaluación de recursos hídricos, al reflejar procesos esenciales del ciclo hidrológico en su fase terrestre. (Estrela, 1992).

2.3.1 Implementación de los modelos determinísticos

La implementación de cualquier modelo determinístico consta de las siguientes fases o etapas:

- Formación del modelo conceptual
- Construcción del modelo
- Calibración de los parámetros del modelo
- Validación del modelo

Formación del modelo conceptual

Por modelo conceptual se entiende la idea, fundamentalmente cualitativa, que se tiene del funcionamiento del sistema. Aunque el propio proceso de modelación contribuirá a formar una idea definitiva de su funcionamiento, y a eliminar ciertas subjetividades en el

planteamiento inicial, es conveniente formular con anterioridad, la o las posibles hipótesis basándose en los datos disponibles y en la experiencia existente en sistemas similares.

Dada la subjetividad de este proceso, es difícil dar reglas precisas de como atacarlo. De hecho, en la formulación del modelo conceptual es donde entran en juego todas las técnicas hidrológicas existentes o relacionadas con ellas. (Estrela, 1992).

Construcción del modelo

La construcción del modelo es la etapa del proceso de implementación del mismo en la que se formulan las ecuaciones que describen los distintos procesos que tienen lugar en el modelo conceptual formado, se establecen las relaciones entre ellas y se procede a su resolución bien mediante técnicas analíticas o numéricas.

Uno de los puntos claves en la construcción de un modelo determinístico es saber aprovechar los esfuerzos ya realizados por otras personas u organismos en modelos similares, bien aprovechando parcialmente los mismos e incluso utilizándolos íntegramente si el problema objeto del estudio se adapta a sus hipótesis de funcionamiento. (Estrela, 1992).

Calibración de los parámetros del modelo

La calibración es la etapa del proceso de modelización que obliga a que el funcionamiento del modelo matemático reproduzca en mayor o menor grado la historia del sistema real. Asegura que todos los datos disponibles (variables y parámetros) son cualitativa y cuantitativamente compatibles. Además de ello, la calibración suele utilizarse para dar valores numéricos a aquellos parámetros sobre los que se dispone de pocos o ningún dato. Aun en el caso hipotético de tener datos sobre todos los parámetros del modelo, no es conveniente proceder a la simulación sin haber calibrado del modelo, ya que sería difícil, sino imposible, determinar la fiabilidad de los resultados. (Estrela, 1992).

Validación del modelo

La validación del modelo es el paso siguiente a su calibración. Consiste en comprobar el adecuado funcionamiento del modelo con observaciones no utilizadas en el proceso de calibración. En la práctica a esta fase se le concede poca importancia y en muchas ocasiones ni siquiera tiene lugar, utilizándose todos los registros disponibles en la fase de

calibración. Esta forma de actuar es sólo justificable cuando se dispone de series de observaciones muy cortas. (Estrela, 1992).

2.3.2 Tipos de modelo de simulación continúa.

Dentro de los modelos matemáticos determinísticos destacan por su utilización los modelos hidrológicos agregados de simulación continua de la cuenca, los cuales simulan el ciclo hidrológico en su fase terrestre, completo y de forma cotinuada en el tiempo, estableciendo balances de humedad entre los distintos procesos que tienen lugar desde el momento en que llueve hasta que el agua fluye por el río. Es por esto por lo que suele también llamarse modelos determinísticos de balance de humedad.

El uso de modelos distribuidos de simulación continua aún no está muy extendido, y es debido fundamentalmente a su complejidad (resolución de las ecuaciones diferenciales de flujo y conservación de masa) y a la disponibilidad de datos que precisan.

Un caso intermedio lo constituyen los modelos cuasidistribuidos, que no resuelven las ecuaciones diferenciales de los procesos estudiados, sino que en esencia se basan en integrar un modelo agregado “n” veces, tantas como se divida la zona en estudio en subcuencas.

Las principales aplicaciones de los modelos de simulación continua en el campo de evaluación de recursos hídricos son las siguientes:

- a) Extender series de aportaciones en puntos aforados a partir de series meteorológicas más largas.
- b) Generar series de aportaciones en puntos no aforados a partir de series meteorológicas.

2.4 MODELO WEAP

En el presente trabajo se utilizó el modelo WEAP, que corresponde a un modelo formal ya que utiliza ecuaciones para simular los procesos asociados, modelo conceptual pues utiliza la simplificación de las variables que intervienen en el ciclo hidrológico y semi-distribuido ya que distribuye de forma discreta las variables observadas y finalmente determinístico, porque las ecuaciones no consideran procesos estocásticos para calcular las variables hidrológicas de la cuenca.

El modelo del Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP por sus siglas en inglés), es una herramienta moderna para la evaluación hidrológica, planificación, y distribución del agua. Dentro de sus posibilidades, permite la inclusión de módulos para diversos modelamientos, en el presente trabajo se ha seleccionado del módulo *Soil Moisture Method* (balance de humedad del suelo) para una adecuada representación de los procesos hidrogeológicos de la cuenca.

El modelo WEAP fue desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI) de EEUU. Funciona utilizando el principio básico del balance hídrico y puede ser aplicado a una sola cuenca o en complejos sistemas de cuencas. El modelo hidrológico integrado en el WEAP es espacialmente continuo con un área de estudio configurado como un set de subcuencas contiguas que cubren toda la extensión de la cuenca de análisis. Un set homogéneo de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) es utilizado en cada una de estas subcuencas, que se encuentran divididas en diferentes tipos de cobertura/uso de suelo.

2.4.1 Modelamiento de aportaciones

El programa WEAP incorpora un modelo conceptual de transformación precipitación-escurrentía denominado “Método de Humedad del Suelo” (Soil Moisture Method). Este modelo fue utilizado para simular las aportaciones de la subcuenca Vichaycocha.

Este método opera con dos reservorios de balance de agua para cada tipo de cobertura y uso de suelo, reparte el agua entre escurrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación. Los valores de cada una de estas áreas se suman para obtener los valores agregados en una subcuenca.

Considera que en la capa superior se incluyen los aportes de precipitación y derretimiento de hielo, además de la irrigación, y se consideran como pérdidas desde la cuenca o área la evapotranspiración y los flujos de caudal. Además, existe percolación hacia la capa más profunda la cual se calibra para mejorar la simulación del flujo base en la cuenca.

La escorrentía total se define como la suma de la escorrentía directa y la superficial, la escorrentía sub-superficial representada por el modelo y el flujo base derivado de las capas de suelo más profundas. El método no toma en cuenta el tiempo de tránsito que hay entre los aportes de las distintas áreas hacia al cauce. Otra característica importante de WEAP es que no hay trasvase de agua entre áreas distintas.

Los “Catchment” son las áreas o subcuencas tiene asociadas parámetros del terreno, los cuales se calibran de acuerdo a las propiedades de suelo, vegetación y otros. Las variables meteorológicas son ingresadas de forma independiente para cada área.

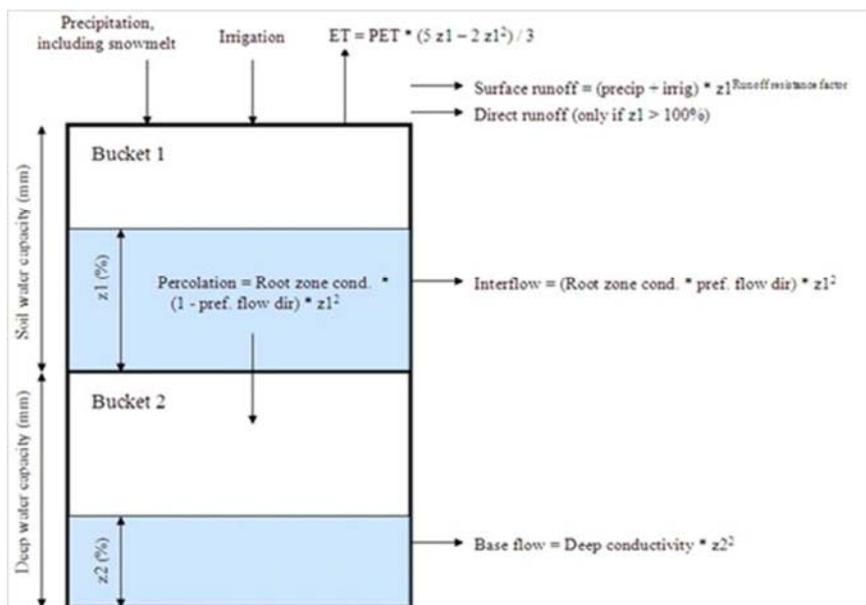


Figura 1: Esquema del balance de humedad en el suelo para el modelo “Soil Moisture Method”

Fuente: Manual de usuario del programa WEAP.

Una unidad de cuenca (denominado “catchment” en el modelo) puede ser dividida en “N” fracciones representando distintos usos y tipos de suelo. Un balance de agua se calcula para cada fracción de área “j” de los “N” considerados. El clima se asume uniforme sobre

cada “catchment” y el balance de agua en el primer compartimiento (“tanque 1”) viene dado por la siguiente expresión:

$$Rd_j \frac{\Delta z_{1,j}}{\Delta t} = Pe(t) - PET(t)k_{c_j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - Pe(t)z_{1,j}^{RRFj} - f_j k_{1,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_{1,j} z_{1,j}^2$$

Dónde:

- $Z_{1,j}$ es el almacenamiento relativo expresado como fracción del almacenamiento total efectivo en la zona de raíces (primer compartimiento).
- Rd_j (mm) es la capacidad de almacenamiento efectivo en la zona de raíces para la fracción “j” de cobertura de suelo.
- Pe (t) (mm) es la precipitación total, que incluye el deshielo de la capa de nieve acumulada en cada unidad de cuenca, donde m_c es el coeficiente de fusión según:

$$m_c = \begin{cases} 0 & T_i < T_s \\ 1 & T_i > T_l \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & T_s \leq T_i \leq T_l \end{cases}$$

Donde T_i es la temperatura observada para el mes “i”, y T_l y T_s son los umbrales de fusión y congelamiento, respectivamente. La acumulación de nieve Ac_i es una función de m_{c_i} y de la precipitación total mensual observada P_i , según la siguiente relación:

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1 - m_c)P_i$$

Donde la tasa de fusión se define como:

$$m_r = Ac_i m_c$$

Luego, la precipitación efectiva se calcula como:

$$Pe = P_i m_c + m_r$$

- $PET(t)$ (mm) es la evapotranspiración potencial calculada según la ecuación de Penman-Monteith, donde K_{c_j} es el coeficiente de cultivo para la fracción de cobertura de suelo “j”.

- RRf_j es el factor de resistencia a la escorrentía del tipo de cobertura “j” del suelo. Valores elevados de este parámetro implican menor escorrentía superficial.
- f_j es la dirección de flujo preferente para el tipo de cobertura “j” del suelo. Este coeficiente determina el reparto entre flujo horizontal (subsuperficial) o vertical (percolación profunda).
- K_{sj} representan la conductividad saturada del compartimiento superior, para la fracción “j” de la unidad de cuenca.

En la Figura 1, SWC (mm) y DWC (mm) representa la máxima capacidad de almacenamiento de los compartimientos superior e inferior respectivamente.

El balance de humedad en el suelo en el segundo compartimiento, en los casos en los que no exista un nodo de agua subterránea, se calcula con la siguiente expresión:

$$S_{max} \frac{\Delta z_2}{\Delta t} = \left(\sum_{j=1}^N (1 - f_j) k_{1,j} z_{1,j}^2 \right) - k_2 z_2^2$$

Dónde:

- S_{max} es la capacidad máxima del almacenamiento del segundo tanque.
- K_2 representan la conductividad saturada del compartimiento inferior. K_2 es definido por un solo valor para cada unidad de cuenca, por tal razón no tiene el subíndice “j”.

Cuando se introduce un acuífero en el modelo y se establece una relación entre la unidad de la cuenca y el nodo de agua subterránea, el término de almacenamiento definido en la ecuación anterior se ignora y se define la recarga del acuífero R (volumen/tiempo) con la siguiente expresión:

$$R = \sum_{j=1}^N A_j (1 - f_j) k_{1,j} z_{1,j}^2$$

2.4.2 Asignación de agua en el modelo.

WEAP calcula el balance de agua en un paso de tiempo mensual. El agua se distribuye para satisfacer las necesidades hídricas sin perjuicio de prioridades, preferencias de oferta, equilibrio de masas y otras limitaciones.

En los cálculos cada mes es independiente del anterior, a excepción del caso de almacenamiento de agua. Es así que toda el agua que ingresa al sistema en un mes, se almacena en un acuífero o depósito, o sale del sistema al finalizar el mes.

En los cálculos se asume que todos los flujos se producen instantáneamente, por tanto un sitio de demanda puede retirar agua del río, consumir una parte del agua extraída y devolver el resto a una planta de tratamiento de aguas residuales o a un río. El caudal de retorno de cada sitio de demanda, se encuentra disponible para su uso en el mismo mes, en un sitio de demanda aguas abajo del punto de entrega de agua excedente.

Los cálculos que el programa realiza para determinar la asignación de agua a cada sitio de demanda, siguen el siguiente orden:

1. Demanda hídrica anual y mensual de cada sitio de demanda, tomando en cuenta si es que existe un requerimiento de caudal.
2. Flujos de escorrentía e infiltración, suponiendo que no hay flujo de irrigación.
3. Ingresos y salidas de agua en cada nodo del sistema. Esto incluye el cálculo del caudal extraído de los ríos para atender las demandas y el almacenamiento en los embalses. Este paso se resuelve mediante programación lineal, el cual intenta optimizar la cobertura de los sitios de demandas y de los requisitos de caudales ecológicos.

WEAP utiliza un sistema de programación lineal, con el fin de maximizar la satisfacción de abastecimiento de agua en cada sitio de demanda.

Cada elemento de un sistema modelado en WEAP, recibe un valor de prioridad que varía desde 1 (máximo valor de prioridad) hasta 99 (valor mínimo de prioridad).

Es importante asignar el valor de prioridad correcto a cada elemento del sistema modelado, ya sea el caso de un sitio de demanda agrícola o poblacional, requerimiento de

caudal ecológico, derivación de agua hacia un embalse, entre otros; ya que el sistema de programación lineal de WEAP distribuye el agua en función al valor de prioridad asignado a cada elemento del sistema hídrico.

En primer lugar el sistema de programación lineal se encarga de resolver la asignación de agua a los elementos que poseen prioridad 1, suspendiendo la asignación a los elementos que poseen otros valores de prioridad. Después de atender a los elementos de prioridad 1, el programa se encarga del suministro de los elementos que poseen prioridad 2 y así sucesivamente.

2.4.3 Operación de reservorios

En el programa WEAP, los reservorios son modelados de forma independiente del caudal del río. La representación de embalses se encuentra dividida en cuatro zonas, estas incluyen desde arriba hasta abajo, la zona de control de inundación, la zona de conservación, la zona de amortiguamiento y la zona inactiva.

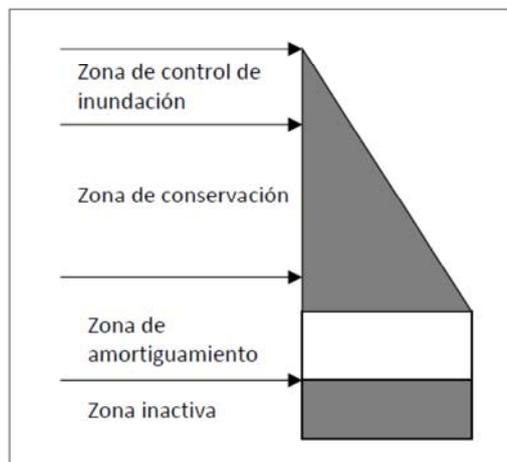


Figura 2: Modelación de embalses en WEAP.

FUENTE: Manual de usuario del programa WEAP

Las zonas de conservación y amortiguamiento constituyen el agua disponible de un embalse para su aprovechamiento. El programa WEAP se asegura de que siempre la zona de control de inundación se encuentre a disposición, permitiendo la liberación del agua de la zona de conservación para cumplir con los requerimientos de los sitios de demanda o para generación hidroeléctrica.

Cuando el nivel de almacenamiento de agua, desciende hasta la zona de amortiguamiento, la liberación de agua está controlada de acuerdo a un coeficiente de amortiguamiento determinado por el operador. El agua de la zona inactiva no se encuentra disponible, de esta manera WEAP permite representar un mecanismo de conservación de agua en la operación de los embalses.

Si la prioridad asignada al almacenamiento de agua en un reservorio es inferior a las demandas o a otros elementos, WEAP asignará la mayor cantidad de almacenamiento disponible priorizando el abastecimiento de los sitios de demanda, teniendo en cuenta las emisiones de otros depósitos, extracciones de los ríos y otras fuentes.

2.5 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

2.5.1 Método de Rippl.

Uno de los primeros métodos que se utilizó para estimar el tamaño de almacenamiento de un embalse para satisfacer cierta demanda fue el método de Rippl. El método (como se usa actualmente) es ilustrado en la siguiente figura:

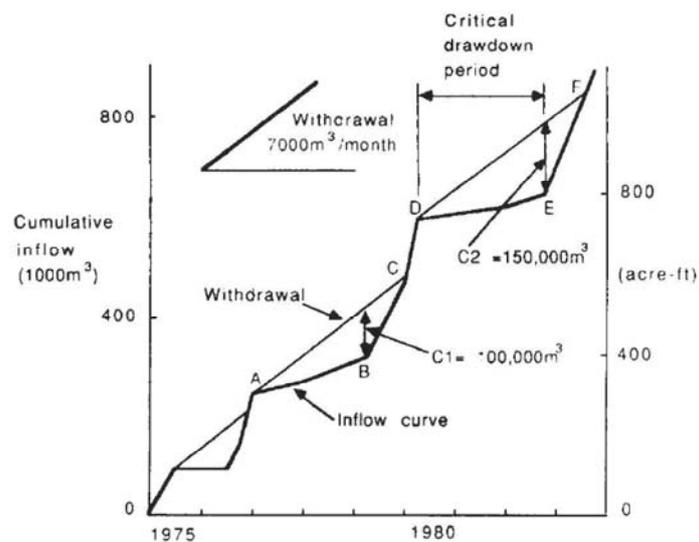


Figura 3. Estimación de la capacidad de almacenamiento por el procedimiento de curva masa

Fuente: Handbook of Hydrology (D. Maidment, 1993)

Los pasos son:

- Para el sitio propuesto, construir una curva acumulativa de caudales, de preferencia con datos mensuales. Determina la pendiente de la demanda acumulada, acorde a la escala del gráfico.
- En el diagrama de acumulaciones, sobrepone la línea de demanda acumulada de tal forma que sea tangencial a la curva acumulada de caudales, como se muestra en la figura anterior.
- Mide la diferencia más larga entre la curva de caudales y la curva de demanda.

En el ejemplo de la figura anterior, C2 es mayor que C1, y por lo tanto la capacidad de diseño se tomaría como el valor de C2 ($150\,000\text{ m}^3$). De la figura se puede ver que el reservorio está lleno en el punto A, empieza a vaciarse desde A hasta B, se vuelve a llenar

de B a C. De C a D, el agua se vierte por el vertedero, y a partir de ahí nuevamente empieza a vaciarse hasta llegar a E (embalse completamente vacío).

En el procedimiento de curva masa, dos asunciones importantes se hacen:

- a) El reservorio está lleno al inicio del periodo de vaciado crítico (D a E en el ejemplo anterior)
- b) Como el análisis usa data histórica, está implícito que futuros escenarios de caudales no contendrán una sequía más severa que la utilizada en el procedimiento.

El procedimiento exhibe dos atributos importantes:

- a) Es simple y fácil de comprender.
- b) Debido a que usa data histórica la estacionalidad, la autocorrelación, y otras características de la serie histórica de caudales son tomados en cuenta.

El método de la curva masa de Rippl es equivalente al algoritmo de picos secuentes (Loucks et al. citado por Maidment, 1993), sin embargo presenta complicaciones a la hora de considerar una demanda variable y sistemas de múltiples reservorios.

2.5.2 Análisis de picos secuenciales.

El análisis de picos secuenciales es más adecuado cuando se utilizan series hidrológicas largas, o cuando la demanda no es constante.

El procedimiento es el siguiente:

- a) Se calcula la diferencia entre entradas (S: “supply”) y demandas (D: “demand”).
- b) Los valores acumulados de la diferencia “S-D” se grafican como se muestra en la siguiente figura.
- c) En esta figura se determinan el primer pico y el siguiente más largo (pico secuencial).
- d) El almacenamiento requerido entre estos dos puntos es la diferencia entre el primer pico y el punto más bajo en este periodo.
- e) Este proceso se repite para todos los picos del periodo. El máximo almacenamiento encontrado es la capacidad de diseño requerida.

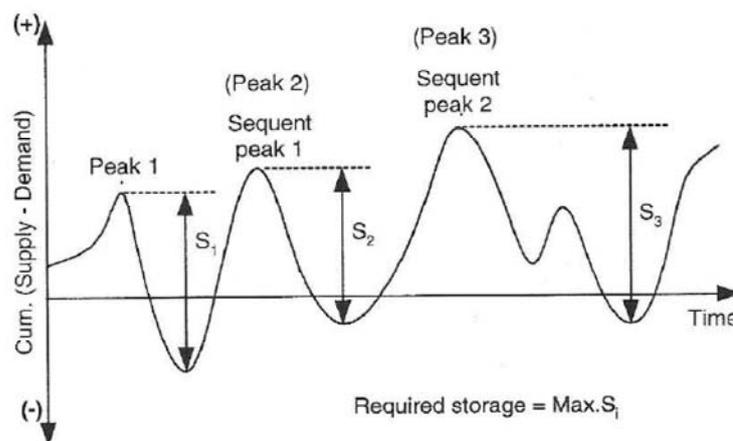


Figura 4: Diagrama de picos secuenciales.

Si el registro de caudales es muy largo, la solución gráfica puede resultar muy trabajosa. En ese caso, se utiliza el procedimiento analítico.

El almacenamiento requerido V_t al final del periodo “t” se puede expresar:

$$V_t \begin{cases} D_t - S_t + V_{t-1} & \text{si es positivo} \\ 0 & \text{si es negativo} \end{cases}$$

Al inicio del análisis, el valor inicial de V_{t-1} es cero y el cálculo continúa hasta el final del periodo en análisis. El máximo valor calculado de V_t es el almacenamiento requerido.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL

La cuenca Chancay-Huaral ocupa una superficie de 3046 km² y se ubica en la costa central del Perú hacia el norte del departamento de Lima, comprendida entre las coordenadas geográficas 11°00' y 11°39' de Latitud Sur y los Meridianos 76°26' y 77°15' de Longitud Oeste, más detalles se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1: Ubicación Geográfica

Coordenadas	Datum	Longitud Oeste	Longitud Sur	Altitud
Geográficas	Horizontal	77°15'43"	11°00'10"	0 - 5259
	WGS 1984	76°26'54"	11°39'59"	msnm

FUENTE: Administración local de agua Chancay-Huaral

La unidad hidrográfica comparte sus límites con:

- Por el Norte : Cuenca del Río Huaura.
- Por el Este : Cuenca del Río Mantaro.
- Por el Sur : Cuenca del Río Chillón.
- Por el Oeste : El Océano Pacífico.

Políticamente se ubica en:

- Departamento : Lima
- Provincia : Huaral y Canta.
- Distritos : Santa Cruz de Andamarca, Atavillos Alto, Pacaraos, Veintisiete de Noviembre, Lampian, Atavillos Bajo, Ihuarí (una parte), Huamantanga (una parte), Sumbilca, Aucallama, Chancay

Las características físicas de la cuenca están estrechamente relacionadas con su régimen hidrológico y son usadas para establecer relaciones y comparaciones, dándonos una aproximación del comportamiento de su régimen hidrológico.

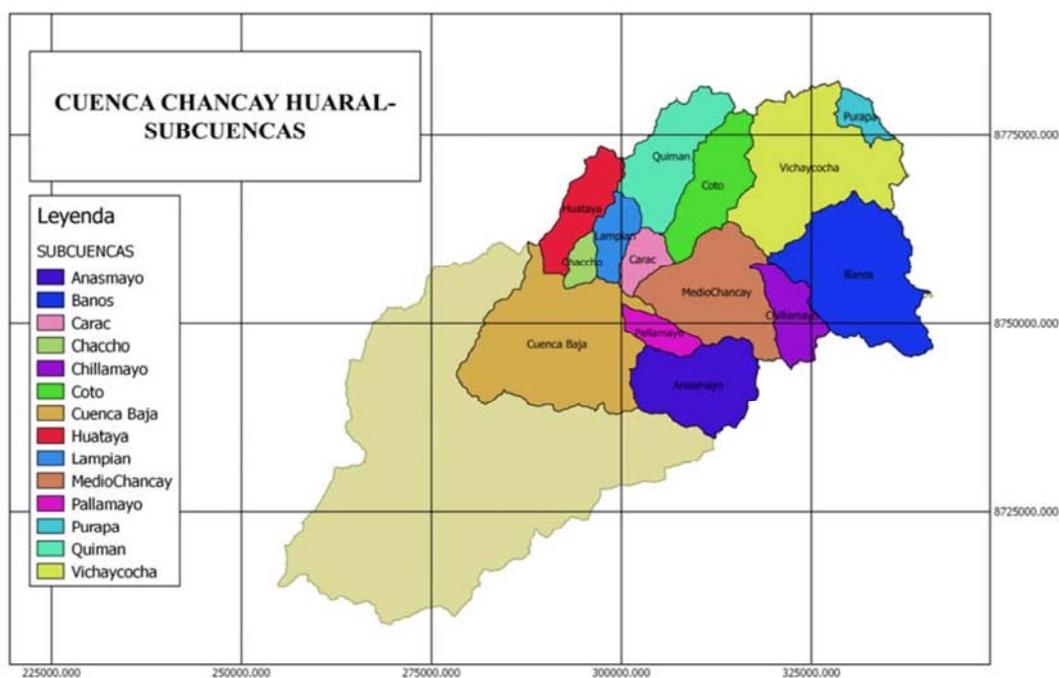
Cuadro 2: Características fisiográficas de la cuenca Chancay-Huaral.

Cuenca Chancay - Huaral	Valor	Unidad
Área	3046	km ²
Perímetro	328	km
Altitud media	2727	msnm
Altitud media	48.8	%
Factor de forma	0.35	
Coefficiente de compacidad	1.66	
Rectando equivalente lado mayor	143	km
Rectando equivalente lado menor	21	km

FUENTE: Elaborado a partir de datos de la ANA.

El estudio “EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA CUENCA CHANCAY-HUARAL” (ALA Chancay-Huaral, 2011) se definieron las subcuencas hidrológicas hasta la estación hidrométrica Santo Domingo (punto de control para el modelo hidrológico)

Figura 5: Definición de subcuencas



FUENTE: ALA Chancay-Huaral, 2011

Cuadro 3: Características fisiográficas de las subcuencas.

Nombre	Área km ²	Perímetro km	Altitud media m.s.n.m.	Pendiente media	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
1. Anasmayo	158.5	55	3804	45	1.23	0.35
2. Medio chancay **	183.4	62	3757	52		
3. Baños	261.7	81	4495	40	1.41	0.39
4. Coto	109.3	50	4395	41	1.33	0.29
5. Vichaycocha	321.9	92	4471	41	1.43	0.5
6. Huataya	80.9	49	3835	46	1.51	0.23
7. Orcon	71.7	36	3316	46	1.19	0.44
8. Pallamayo	26.2	21	3423	56	1.16	0.46
9. Lampian	49.6	32	3621	50	1.27	0.32
10. Anchilon	20	19	3036	58	1.2	0.39
11. Quiman	134.8	58	4282	44	1.4	0.31
12. Carac **	37.8	28	3040	59		
13. Chillamayo	65.1	40	4414	36	1.39	0.3

** Intercuenca

FUENTE: ALA Chancay-Huaral, 2011

A las 13 subcuencas del cuadro anterior se agregó la subcuenca vertiente al cierre Purapa la cual tiene las siguientes características:

Cuadro 4: Características de la cuenca vertiente al vaso Purapa

Nombre	Área km ²	Perímetro km	Altitud media m.s.n.m.	Pendiente media	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
14. Purapa	27.97	34.89	4703.86	41	1.22	0.41

FUENTE: Elaboración propia.

3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CUENCA CHANCAY-HUARAL

La cuenca Chancay-Huaral tiene una regular densidad de estaciones pluviométricas, sin embargo la cantidad de estaciones climatológicas es deficiente, también presentan periodos de registros cortos e incompletos. Para superar este déficit de información, se buscó fuentes alternativas, para diferentes variables hidrológicas en lugares donde no existen estaciones climáticas in situ. Para los parámetros climatológicos como la temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y evapotranspiración; la información utilizada corresponde a series anuales de modelos climáticos mundiales desarrollados por el Climatic Research Unit (CRU).

En la cuenca, se han delimitado 14 subcuencas, la caracterización para cada variable climática se realizó usando una plataforma GIS, utilizando el método de interpolación kriging para todo el ámbito de la cuenca, para luego calcular el valor medio de la variable climática para cada subcuenca.

3.2.1 Temperatura

En el ámbito de la Chancay-Huaral, el modelo climatológico tiene registro para el periodo 1960-1990, estos han servido para determinar la variabilidad de temperatura en la cuenca.

Cuadro 5: Variación de la temperatura media mensual a nivel de cada subcuenca.

Temperatura media C°													
Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
Anasmayo	8.6	8.5	8.5	8	7.5	6.7	6.2	6.5	7	7.7	7.9	8.2	7.6
Madio Chancay	8.2	8.1	8.1	7.6	7.2	6.4	5.9	6.3	6.8	7.5	7.7	7.9	7.3
Baños	4.5	4.3	4.4	4	3.7	3.1	2.6	2.9	3.3	4	4.1	4.3	3.8
Coto	7.4	7.3	7.3	6.9	6.6	5.8	5.3	5.7	6.2	6.8	7	7.3	6.6
Vichaycocha	6.3	6.1	6.2	5.8	5.5	4.8	4.3	4.6	5.1	5.8	5.9	6.1	5.5
Huataya	10.2	10.1	10.1	9.6	9	8.2	7.6	7.9	8.5	9.1	9.5	9.8	9.1
Orcon	10.8	10.9	10.8	10.2	9.6	8.6	8.1	8.3	8.9	9.6	9.9	10.3	9.7
Pallacamyo	10.2	10.1	10.1	9.5	9.1	8.1	7.6	8	8.5	9.2	9.5	9.8	9.1
Lampian	10.6	10.6	10.5	10	9.5	8.6	8	8.4	8.9	9.6	9.9	10.2	9.6
Anchillon	12.5	12.6	12.5	11.9	11.2	10.2	9.7	10	10.6	11.2	11.7	12	11.3
Quiman	7.8	7.7	7.7	7.3	6.9	6.2	5.7	6	6.5	7.1	7.4	7.6	7
Carac	9.9	9.9	9.9	9.3	8.9	8	7.5	7.9	8.4	9.1	9.4	9.6	9
Chillamayo	5.9	5.7	5.7	5.3	5	4.3	3.8	4.1	4.6	5.3	5.4	5.6	5.1

FUENTE: ALA Chancay-Huaral, 2011

3.2.2 Humedad relativa

En la cuenca Chancay-Huaral se registra un periodo de 30 años de 1960-1990, la cual ha servido para determinar el comportamiento de esta variable en la cuenca.

Cuadro 6: Variación de la humedad relativa (%)

Humedad relativa media %												
Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Anasmayo	76	75.9	77.4	72.6	67.2	62.1	59.5	61.8	66.7	69.1	68.4	71.7
Madio Chancay	75.8	76	77.7	72.5	66.9	61.8	59	61.2	66.2	68.7	68.1	71.4
Baños	77.3	76.9	78.5	72.7	66.8	60.9	57.4	60.4	66.3	68.2	68.4	71.9
Coto	76.1	76.5	77.7	72.8	66.9	61.8	58.8	60.8	66.2	68.6	68.1	71.4
Vichaycocha	76.4	76.7	77.9	72.8	66.7	61.3	58	60.2	65.9	68.3	68	71.3
Huataya	76.3	76.7	77.9	73.8	68.8	64.3	62	63.5	68.2	70.3	69.5	72.4
Orcon	76.3	76.2	77.7	73.5	68.8	64.5	62.4	64.3	68.5	70.6	69.7	72.6
Pallacamy	75.8	75.9	77.3	73	67.8	63.3	61	62.8	67.3	69.7	68.8	71.9
Lampian	75.9	76.4	77.6	73.6	68.5	64.1	61.9	63.4	67.9	72	69.2	72.2
Anchillon	76.1	76.5	77.8	74.2	69.7	65.8	64.1	65.3	69.2	71.3	70.1	72.9
Quiman	76.1	76.6	77.8	73.1	67.3	62.2	59.3	61.1	66.5	68.9	68.4	71.6
Carac	75.6	76.1	77.3	73	67.7	63.1	60.7	62.3	67	69.5	68.6	71.7
Chillamayo	76.8	76.5	78	72.5	66.7	61.1	57.9	60.7	66.2	68.4	68.2	71.7

FUENTE: ALA Chancay-Huaral, 2011

3.2.3 Velocidad del viento

La fuente consultada presenta un registro desde 1960-1990, la cual fue usada para ver el comportamiento de esta variable en la cuenca.

Cuadro 7: Velocidad del viento

Velocidad media del viento m/s												
Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Anasmayo	2.7	2.6	2.7	2.5	2.5	2.5	2.7	2.9	2.8	2.9	2.9	3
Madio Chancay	2.7	2.6	2.7	2.5	2.5	2.5	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	3
Baños	2.8	2.7	2.8	2.6	2.5	2.6	2.8	3	2.9	2.9	3	3.1
Coto	2.7	2.6	2.7	2.5	2.5	2.5	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	3
Vichaycocha	2.7	2.6	2.7	2.5	2.5	2.5	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	3
Huataya	2.6	2.5	2.6	2.4	2.4	2.4	2.6	2.8	2.7	2.8	2.8	2.9
Orcon	2.7	2.5	2.6	2.4	2.5	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9
Pallacamy	2.6	2.5	2.6	2.4	2.4	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9
Lampian	2.6	2.4	2.6	2.4	2.4	2.4	2.5	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9
Anchillon	2.5	2.3	2.5	2.3	2.3	2.3	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8
Quiman	2.7	2.6	2.7	2.5	2.5	2.5	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	3
Carac	2.6	2.5	2.6	2.4	2.4	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9
Chillamayo	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.6	2.7	3	2.9	2.9	2.9	3.1

FUENTE: ALA Chancay-Huaral, 2011

3.2.4 Evapotranspiración potencial

Esta variable ha sido calculada por el método de Penman modificado por la FAO, la información consultada presenta datos para las subcuencas de la Cuenca Chancay-Huaral.

Cuadro 8: Evapotranspiración potencial a nivel mensual

Evapotranspiración Potencial mm/mes												
Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Anasmayo	114.9	102.6	106.5	94.9	89.2	81.6	87.2	95.8	106	112.5	113.2	115.7
Madio Chancay	113.1	100.9	104.8	93.5	88.5	80.9	86.3	95.4	100.3	112.1	112.6	114.4
Baños	94.7	84.6	87.5	79.2	75.9	70.9	76.3	83	86	96.5	95.5	97
Coto	109.2	97.3	101.3	90.8	86.6	79.1	84.8	93.5	97.9	109	109.4	111.6
Vichaycocha	104.2	92.6	96.7	86.9	82.9	76.2	81.9	89.8	93.6	104.6	104.4	106.2
Huataya	122	108.7	113.2	100.3	93.5	84.9	90.3	100	105.8	118	119.5	122.5
Orcon	124.7	112.5	116.4	102.5	95.5	85.7	91.4	100.6	107	120	121.4	125
Pallacamyo	122.6	109.4	113.7	100.4	94.4	85.1	90.9	100.8	106.4	119	120.3	123.2
Lampian	124.3	113	115.2	101.9	95.5	86.4	91.5	101.9	107.7	120.4	121.7	124.7
Anchillon	133.3	119.8	124.1	108.8	100.5	90.1	95.8	106.4	113.7	127	129.4	132.9
Quiman	111	98.8	102.9	92.1	87.4	80.2	85.9	94.4	98.9	110.1	110.9	112.7
Carac	121.3	108.4	112.9	99.7	93.9	85.1	90.9	101	106.3	118.7	119.9	122.3
Chillamayo	101.9	90.9	95	85	80.9	74.8	79.9	87.4	91.3	102.3	102.2	103.5

FUENTE: ALA Chancay-Huaral, 2011

3.3 ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Las series hidrológicas representa uno de los temas de partida para los estudios hidrológicos especialmente en el control y diseño de estructuras hidráulicas, pero la inconsistencia de los datos y la falta de homogeneidad ocasionan errores significativos en los resultados. Esta inconsistencia y no homogeneidad se observa con la presencia de saltos y/o tendencias en la serie hidrológica afectando sus características estadísticas como la media y la desviación estándar.

Otro de los problemas que presentan las series son los datos faltantes y se deben a diversos factores, por ejemplo, por desperfectos en el equipo de medición, enfermedad o sustitución del observador, por interrupciones debido a limitaciones presupuestales. Es por eso que los datos faltantes son estimados en base a registros cercanos, o en base al propio registro. La extensión y completación de datos mediante estadística es muy utilizada en el diseño de obras hidráulicas con datos de corta duración.

En el capítulo se desarrollará los métodos usados en el análisis y tratamientos de datos pluviométricos.

3.3.1 Información disponible

La información pluviométrica en todo el país es colectada en gran parte por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) disponible en la misma institución y disponible en la plataforma virtual del ANA, el problema que la mayor parte de la información se encuentra en crudo, siendo necesario un procesamiento previo antes de ser usadas en los estudios. Para el presente trabajo se usó los datos a nivel mensual de la red de estaciones del SENAMHI ubicadas dentro de la cuenca Chancay - Huaral y estaciones de cuencas aledañas con un periodo de registro de 1964 a 2009.

Cuadro 9: Estaciones pluviométricas cuenca Chancay-Huaral

Estaciones pluviométricas - Cuenca Chancay-Huaral									
Código	Cat.	Nombre	Entidad	Dpto.	Provincia	Distrito	Lat.	Long.	Altitud
539	CO	Huayan	Senamhi	Lima	Huaral	Huaral	11.45	77.12	350
155202	PLU	Santa Cruz	Senamhi	Lima	Huaral	Sta. Cruz de Andamarca	11.35	76.63	3700
155203	PLU	Carac	Senamhi	Lima	Huaral	Veintisiete de Noviembre	11.18	76.78	2600
155205	PLU	Pallac	Senamhi	Lima	Huaral	Antavillos Bajo	11.35	76.80	2333
155214	PLU	Pica	Senamhi	Lima	Huaral	Antavillos Alto	11.23	76.65	3332

FUENTE: Senamhi

Cuadro 10: Estaciones pluviométricas cuenca del río Huaura

Estaciones pluviométricas - Cuenca Río Huaura									
Código	Cat.	Nombre	Entidad	Dpto.	Provincia	Distrito	Lat.	Long.	Altitud
535	CP	Andahuasi	Senamhi	Lima	Huaura	Sayan	11.13	77.23	470
155207	PLU	Pachamachay	Senamhi	Lima	Huaura	Leoncio Prado	11.05	76.83	4200
155219	PLU	Tupe	Senamhi	Lima	Huaura	Santa Leonor	11.00	76.65	4450

FUENTE: Senamhi

Cuadro 11: Estaciones pluviométricas cuenca del río Chillón

Estaciones pluviométricas - Cuenca Río Chillón									
Código	Cat.	Nombre	Entidad	Dpto.	Provincia	Distrito	Lat.	Long.	Altitud
155209	PLU	Huamantanga	Senamhi	Lima	Canta	Huamantanga	11.50	76.75	3392
155218	PLU	Huaros	Senamhi	Lima	Canta	Huaros	11.40	76.57	3585
155112	PLU	Pariacancha	Senamhi	Lima	Canta	Huaros	11.03	76.50	3800

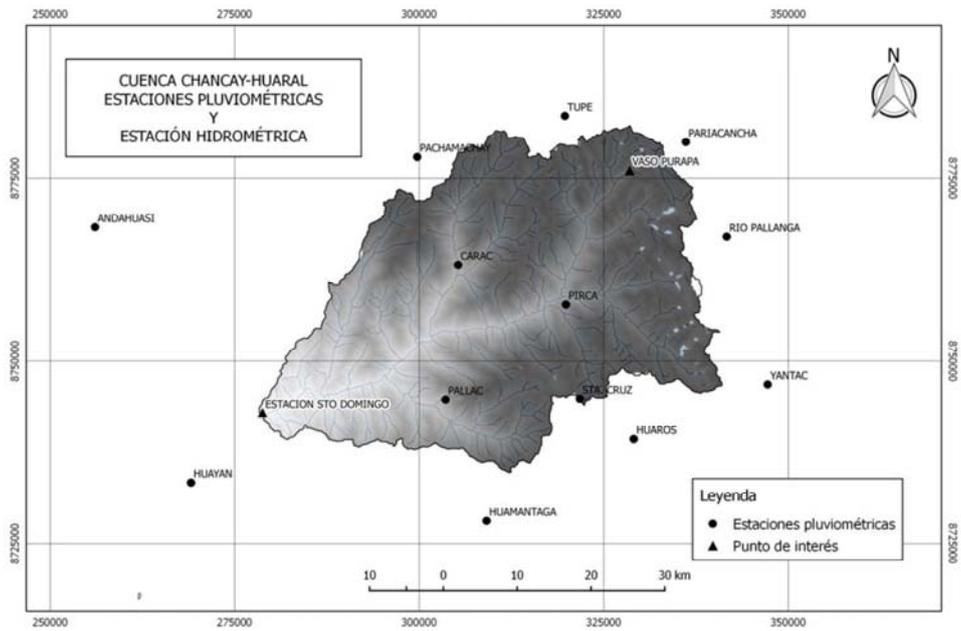
FUENTE: Senamhi

Cuadro 12: Estaciones pluviométricas cuenca del río Mantaro

Estaciones pluviométricas - Cuenca Río Mantaro									
Código	Cat.	Nombre	Entidad	Dpto.	Provincia	Distrito	Lat.	Long.	Altitud
155114	PLU	Río Pallanga	Senamhi	Junin	Yauli	Sta.B. de Carhuacayan	11.15	76.45	4633
155121	CO	Yantac	Senamhi	Junin	Yauli	Marcapomacocha	11.33	76.40	4600

FUENTE: Senamhi

Figura 6: Ubicación de estaciones pluviométricas



Elaboración propia.

3.3.2 Análisis gráfico

Se realiza con el fin de comprobar tendencias y cambios en la serie de tiempo por medio visual. Se considera como un análisis primario antes de usar un análisis cuantitativo para confirmarlo. Se recomienda usar graficas de serie de tiempo y doble masa.

a) Gráfica de series de tiempo

Presenta cronológicamente los datos en las ordenadas y el tiempo en las abscisas, en los cuales se pueden distinguir las tendencias y cambios.

b) Análisis de doble masa

Consiste en comparar la serie de estudio con una serie patrón que no presenta ningún problema de homogeneidad, tendencia o cambio. Para realizar el contraste se grafican en el eje de la abscisas los valores acumulados de la estación patrón y en el eje de las ordenadas los valores acumulados de la estación en estudio (Lobo, 2004). Si la serie en estudio no presenta cambio, la gráfica debe mantener una relación estable de proporcionalidad entre las dos estaciones, caso contrario se observan quiebres en la pendiente, se puede concluir la presencia de puntos atípicos. (Lobo, 2004).

En los posibles quiebres en la recta analizada (cambio de pendiente), de ser necesario se aplicaran métodos estadísticos para confirmar que las posibles anomalías. Para efectuar el análisis de doble masa se emplearon las estaciones: Santa Cruz, Carac, Pallac, Pariacancha, Huaros, Huamantanga.

Para un adecuado análisis, se optó por agruparlas teniendo en consideración la cercanía dentro de la cuenca, similitud altitudinal, pluviosidad y periodo de registro concurrente, así se estableció lo siguiente:

Grupo 1: Doble Masa, estación Santa Cruz, Carac y Pallac, periodo 1967-2002

Grupo 2: Doble Masa, estación Pariacancha, Huaros yHuamantanga, periodo 1969-2009

En la Figura 7 y 8 se muestran los diferentes doble masa de las series analizadas.

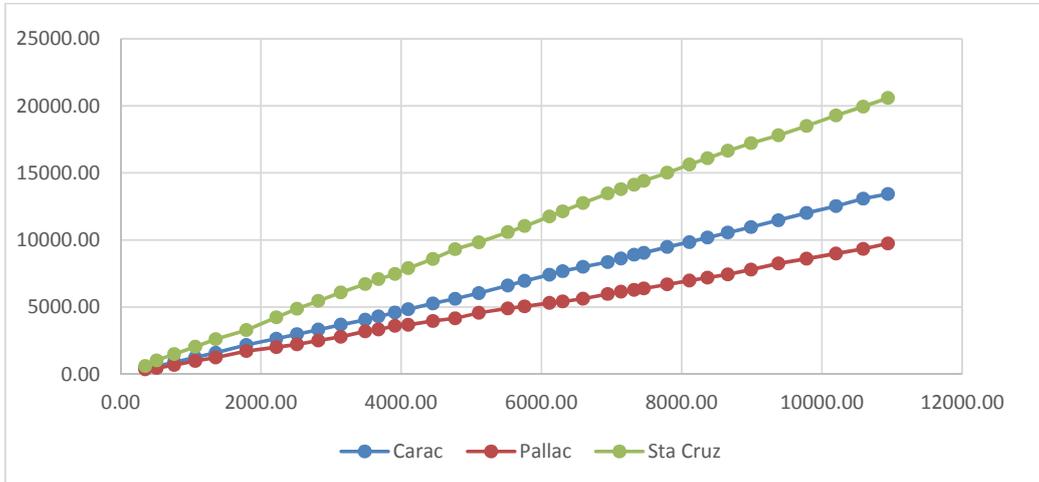


Figura 7: Doble masa grupo 1, estaciones pluviométricas.

FUENTE: Elaboración propia.

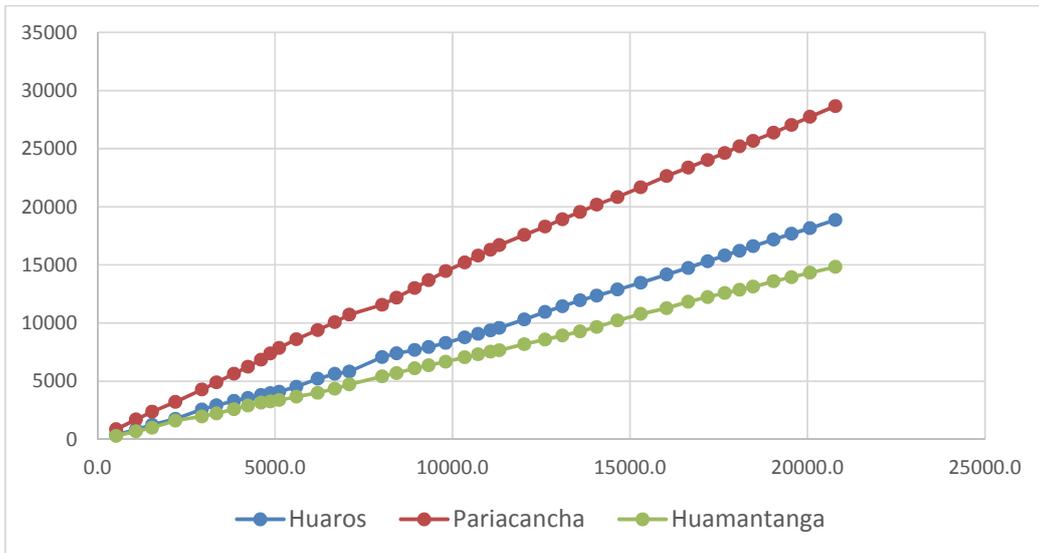


Figura 8: Doble masa grupo 2, estaciones pluviométricas.

FUENTE: Elaboración propia.

3.3.3 Análisis estadístico

Consiste en aplicar técnicas estadísticas, con el fin de determinar si la serie no presenta tendencia y es homogénea, los cuales son supuestos necesarios para usar las series en modelaciones o simulaciones. Este análisis se aplica luego de identificar el periodo de posible corrección de tatos mediante el análisis gráfico.

Varianza en la media

Identificar cambios en la varianza y en la media son pasos fundamentales para determinar si la serie presenta homogeneidad o no. El hecho de que no sea significa que los parámetros estadísticos varían, ya sea debido a causas naturales o antropogénicas. Se recomienda hacer un test para la estabilidad de la varianza.

Test F

Es una prueba paramétrica que relaciona la varianzas de dos grupos de información que resultan de dividir la serie hidrometeoro lógica en dos partes iguales. Se conoce como distribución F o Fisher de la relación entre varianzas de muestras que vienen de una distribución normal; el test F dará una buena estimación de la estabilidad de la varianza.

$$F1 = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde s_2 representa la varianza de cada subconjunto y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde x_i denota la observación y n el número total de datos en la muestra.

La hipótesis nula para el test es, $H_0: s_1^2 = s_2^2$ (igualdad de varianzas), y la hipótesis alterna: $H_a: s_1^2 \neq s_2^2$. La prueba se rechaza si el estadístico estimado se encuentra en la siguiente zona de rechazo, para un nivel de significancia α .

Donde n_1 y n_2 son la cantidad de datos para cada uno de los subconjuntos, y (n_1-1) , (n_2-1) son los grados de libertad de la distribución. (Sarango, 2012)

Estabilidad de la media

Mediante la prueba de significación “T” se analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes.

Test T

Es una prueba paramétrica que involucra el cálculo y la comparación de las medias de dos subconjuntos de la serie cronológica (los mismos subconjuntos que se usaron para determinar la estabilidad de la varianza con el Test - F). La hipótesis nula es $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$; y la hipótesis alterna, $H_a: \bar{x}_1 <> \bar{x}_2$. El estadístico (Sarango, 2012) se calcula con la siguiente expresión:

$$t_t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde n_1 y n_2 son los números de datos en los dos arreglos subconjuntos, \bar{x} representa la media de cada subconjunto y S^2 su varianza. La prueba exige que las varianzas no sean significativamente diferentes. La prueba se rechaza si t_t cae dentro de la siguiente región de rechazo para un nivel de significancia: α .

Corrección de datos

En los casos en que los parámetros la media y la desviación standart resultan estadísticamente iguales, la información original no se corrige por ser consistente con el 95% de probabilidad, aun cuando en la gráfica doble masa se observe pequeños quiebres. Si resulta estadísticamente diferentes, entonces se procederá a corregir la información. Luego de analizar los datos con los métodos anteriormente descritos la corrección des estos no fue necesaria.

3.3.4 Completación y extensión de información pluviométrica

Las series hidrológicas por lo generar presentan datos faltantes o periodos de registros muy cortos, para lo cual existen varias técnicas que dan solución pero requieren de datos con homogeneidad verificada. Realizado el análisis de consistencia de la información histórica, se procedió a la completación de datos faltantes y extensión de los registros a un período común 1964-2009, que corresponde a 46 años.

Método del promedio aritmético

Consiste en calcular el promedio aritmético simple de los valores correspondientes al mes faltante de todas las estaciones con registros completos para estimar el dato anual o mensual faltante. Es aplicado para valores mensuales o anuales. En el presente trabajo fue aplicado para la completar datos puntuales en las series mensuales.

$$Px = \frac{\sum Pi}{n}$$

Dónde:

Px : Precipitación mensual faltante en mm.

Pi : Precipitación mensual en la estación i en mm.

N : Número de estaciones con registros completos.

Matriz de correlación

La completación y extensión de los datos se realizó utilizando el Software denominado HEC4 del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) que forma parte del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE), muy conocido por su validez en el campo de la Hidrología. Los registros completados y/o extendidos son las siguientes estaciones pluviométricas para las estaciones Santa Cruz, Carac, Pallac, Pariacancha, Huaros, Huamantanga, Pallanga, Yantac, Huayan, Pachamachay, Tupe y Andahuasi, información que se presenta en el Anexo II Precipitación Completada y Extendida.

3.4 REPOCILACIÓN DE DATOS HIDROMÉTRICOS

La estación hidrométrica se encuentra en la parte baja de la cuenca, a una altitud de 697 msnm, en la cabecera del valle agrícola, cuenta con un amplio periodo de registro, para fines de la presente tesis se utilizó el periodo 1964-2009.

Cuadro 13: Estación hidrométrica Santo Domingo

Nombre	Cuenca	Ubicación política			Ubicación geográfica		
		Dpto.	Provincia	Distrito	Lat.	Long.	Altitud
Santo Domingo	Chancay-Huaral	Lima	Huaral	Huaral	11.38	77.05	697

FUENTE: Senamhi

Cuadro 14: Serie de caudales aforados, Estación Santo Domingo

Estación Santo Domingo													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964	11.1	36.8	69.6	41.7	13	7.9	5.8	5.9	5.4	6.3	8	6.9	18.2
1965	13.4	37	97.4	20	8.7	6.5	5.5	5.2	4.7	4.8	5.8	7.6	18.1
1966	16.6	13.9	24.5	10.7	6.5	5	4	3.5	3.2	8.9	9.5	19.5	10.5
1967	34.7	135.5	113.8	20.8	11	7.1	5.9	5.5	5.3	7.8	6.8	7.7	30.2
1968	12.9	11	22.4	12	4.5	4.2	4.1	4	3.7	5.1	7.7	7.3	8.2
1969	6.9	12.1	52.3	28.3	6.1	4.3	3.9	3.7	3.4	4.4	4.4	34	13.7
1970	85.5	26.9	23.9	17.8	12.5	8.8	5.8	4.7	7.2	5.5	7	13.7	18.3
1971	25.9	36.6	50.2	25.8	8.3	7	6	5.6	5.2	5	5.9	10	16.0
1972	31.2	36.7	44.8	39.7	15.4	10.3	7.2	6.4	6.1	6	6.5	16.4	18.9
1973	45.2	47.6	72.2	43.7	17.9	10.2	7.3	6.8	7.6	9.2	9	24.9	25.1
1974	39.8	58.2	61.7	24.9	12.6	9.5	7.7	7.3	6	5	5.6	5.6	20.3
1975	15.2	16.2	60.1	18.4	10.1	7.3	5.6	5.5	5.5	5.7	6.1	7.9	13.6
1976	23	47.1	42.8	20.7	9.6	7.4	6.2	5.6	6	5	4.9	6.6	15.4
1977	11	51.8	45.5	19.7	8.8	6.3	5.5	4.8	4.3	4.4	10.4	10.8	15.3
1978	10	31.6	20.9	13.3	6.4	5.4	4.4	4.3	4.9	4.6	6.5	8	10.0
1979	6.6	26.3	51.2	13.3	6.2	6.1	4.8	4.8	3.9	3.8	4	4.6	11.3
1980	18.9	9.9	19.9	14.8	6.5	6.2	4.1	3.9	3.9	6.6	6.6	12.4	9.5
1981	15.6	65.2	69	25.9	8	6.9	5.7	5.1	5.3	5.9	8	11.6	19.4
1982	14.6	48.4	22.9	18.5	8.8	6.6	5.6	5.7	5.2	5.5	17	15.5	14.5
1983	26.9	51.9	47	39	9.3	5.3	4.8	4.5	4.2	4.9	5	11.5	17.9
1984	13.8	62.9	48.9	22.6	12.6	9.3	6.6	5.8	5.3	6.6	7.6	13.6	18.0
1985	9.2	18.1	39.1	20.1	12.6	8.5	6.6	5.9	5.9	6.6	5.4	11.4	12.5
1986	30.2	35.7	46.9	35.3	19.2	9.2	6.5	5.7	5.7	5.4	5.8	15.4	18.4
1987	44.5	48.9	26.2	10.1	6.8	5	5	5.8	5.4	5	5.6	10.4	14.9
1988	21.2	39.5	17.4	27.5	12.7	6.3	5.3	4.8	5.8	5.5	5.2	6.3	13.1
1989	27.2	57.3	46	32.9	15.5	10.5	6.8	5.2	5	5.5	3.5	4	18.3
1990	10.1	7.2	9.3	5.3	4.3	4.4	3.9	2.9	3.7	6.1	16.8	11.8	7.2
1991	14.3	18.2	33.5	10.6	8.2	5.6	5.2	4.4	4	4.5	6.8	5.3	10.1
1992	8.1	4.6	14.7	9.4	4.1	3.1	3	2.6	2.9	4.1	2.6	3.1	5.2
1993	7.4	25	33	19.6	10.9	6.3	4.7	3.2	4	4.2	16.1	26	13.4
1994	34.1	46.9	33.2	25.8	18.1	9.5	5.7	5.1	4.5	6.2	6.6	5.8	16.8
1995	14.3	12.5	21.8	22.7	6.9	5	4.4	3.9	3.6	3.6	5.6	8.8	9.4
1996	23.3	54.2	34.2	20.9	10.5	5.2	4.1	4	4.2	4.2	4	6.1	14.6
1997	11.6	39.6	18.8	6.1	4.3	3.5	3.3	3.2	3.4	3.4	6.4	33.9	11.5
1998	48.8	64.4	62.5	39.2	10.4	5.8	5.5	4.6	4.2	4.6	7.1	6.9	22.0
1999	11.4	57.3	47.8	27.8	14	7.3	4.8	3.9	4.3	5.4	4.6	10.9	16.6
2000	22.2	49.2	44.4	23.7	14.9	8.3	6.4	5.2	4.5	7.5	6	19.2	17.6
2001	41.4	38.8	97.3	44.6	14.6	8.9	7.2	5.9	5.5	5.6	11.3	12.3	24.5

Estación Santo Domingo													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2002	11.3	30.2	53.2	36.2	11.7	7.4	5.9	5	4.7	6.4	13.2	13.4	16.6
2003	33.3	45.6	80.8	29.4	11.5	6.5	5.3	5.4	5.7	5.5	4.8	14.4	20.7
2004	10.6	27.2	19.1	14.2	5.6	4	3.4	3.6	3.6	5.2	13.6	24.5	11.2
2005	28	14.6	37.3	32.4	7.7	5.4	5	5.2	5.6	5.4	5.8	8.8	13.4
2006	12.3	37.6	49.7	37.5	9.5	6.3	5.6	5.7	6.2	6.3	7.3	17.1	16.8
2007	41.7	32.4	50.3	49.5	13	7.9	5.9	6.2	6.6	7.1	7.9	8.4	19.7
2008	24.1	34.7	30.4	21.1	7.7	6	5.7	5.7	5.3	6.5	6.6	8.3	13.5
2009	28.2	62.1	51.2	43.6	16.8	9.4	9.9	6.9	7.1	8.9	9.2	12.2	22.1
Prom	22.8	38.4	44.8	24.7	10.3	6.8	5.5	5.0	5.0	5.6	7.4	12.2	15.7

FUENTE: Senmahi

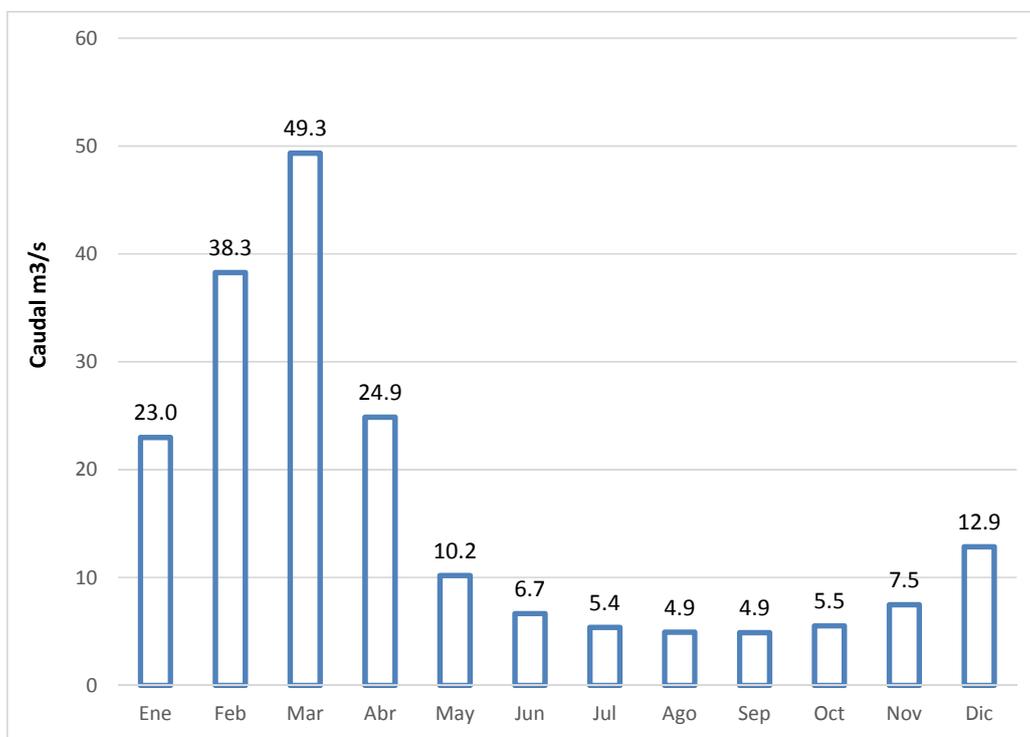


Figura 9: Caudal promedio mensual, estación Santo Domingo.

Elaboración propia.

3.5 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN WEAP

Para el presente trabajo se eligió la plataforma WEAP para realizar modelamiento Hidrológico de la cuenca Chancay-Huaral y obtener la oferta hídrica en el punto de interés (Vaso Purapa), llevando a cabo una simulación de las condiciones históricas.

3.5.1 Definición del esquema topológico

Para iniciar es necesario definir los siguientes límites geográficos y temporales en función a la necesidad del estudio y disponibilidad de datos recopilados.

La delimitación geográfica es la cuenca Chancay – Huaral hasta la estación Santo Domingo, Figura N° 10 y la delimitación temporal, comprende el periodo 1964-2009 con datos a nivel mensual.

Luego de revisar la información SIG proporcionada por la ANA, se procede a construir el esquema del territorio a estudiar, teniendo en cuenta los diferentes elementos de la cuenca como: ríos, obras de afianzamiento hídrico y puntos de interés del estudio. También en esta etapa se procede a delimitar las zonas de captación, unidades básicas del modelo, identificadas como *catchments*, para fines prácticos coinciden con la delimitación de las subcuencas de Chancay-Huaral. Figura N° 5.

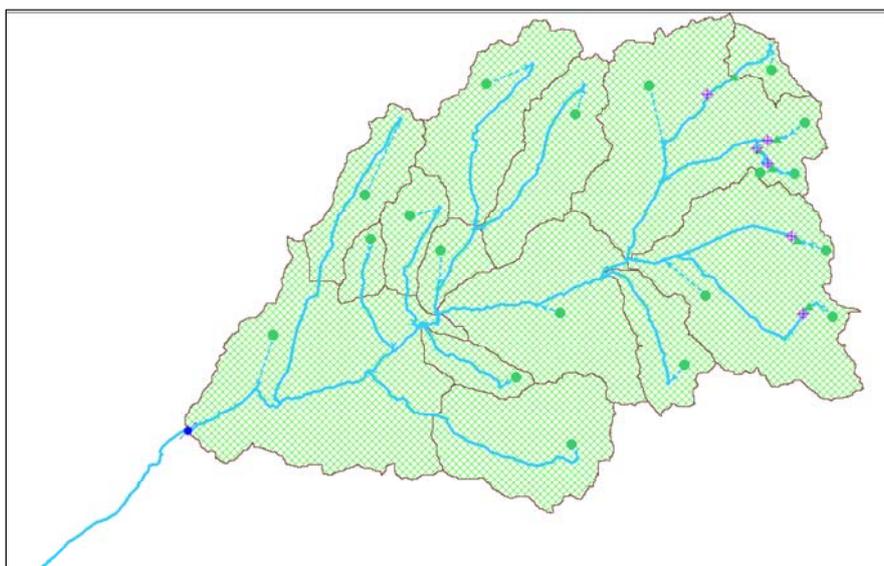


Figura 10: Esquema del modelo WEAP cuenca Chancay – Huaral

FUENTE: Elaboración propia

Los componentes del balance hidrológico modelados usando el programa WEAP son, evapotranspiración, infiltración, escorrentía, escorrentía subsuperficial (interflow), y flujo base. WEAP requiere la entrada de datos climatológicos y de cobertura vegetal para estimar los componentes del balance hidrológico en cada una de las unidades (catchments).

Adicionalmente, los datos de caudales en estaciones de medición son necesarios para poder comparar los resultados del modelo y realizar calibraciones.

3.5.2 Cobertura vegetal

En la cuenca del río Chancay-Huaral se pueden distinguir seis tipos de cobertura: matorral arbustivo abierto, pradera en zona de clima frío, cultivos/áreas intervenidas, nevados, desierto en zona de clima árido, cuerpos de agua cuya distribución en la cuenca es mostrada en

Tipo de cobertura	Área km.	%
Matorral arbustivo abierto	718.3	38.7%
Pradera en zona de clima frío	912.1	49.1%
Cultivos/Áreas intervenidas	10.2	0.6%
Nevados	1.0	0.06%
Desierto en zona de clima árido	206.8	11.1%
Cuerpos de agua	7.8	0.4%
TOTAL	1856.2	100.00%

Fuente: Elaborado a partir de datos del MINAM (2015)

a) Material arbustivo abierto

Se encuentra en la zona media y alta del flanco occidental andino, entre los 2000 y 4000 m.s.n.m. Presenta asociaciones arbustivas verdes con alturas de hasta cuatro metros los cuales varían según el piso altitudinal que ocupan; en las partes inferiores es de carácter xerofílico a base de asociaciones arbustivas que pierden completamente su follaje durante el periodo seco del año, en las partes superiores tiene un follaje siempre verde con presencia de “huarumo” *Tecoma* sp, “manzanita” *Hesperomeles* sp, “mutuy” *Senna* sp, “roque” *Colletia spinosissima*, “chilca” *Baccharis* sp, “tiri” *Miconia* sp, etc.

b) Pradera en zona de clima frío

Se encuentra distribuida en las partes altas de los andes, a partir de los 4000 m.s.n.m. que cuenta con ambiente húmedo y frío. Este tipo de cobertura agrupa dos tipos de asociaciones herbáceas, el tipo pajonal de puna y césped.

c) Cultivos/ áreas intervenidas

Son zonas intervenidas por el hombre que han cambiado las coberturas existentes, por áreas de cultivo o ciudades, modificando las condiciones de drenaje y evapotranspiración.

d) Nevados

Están presentes a partir de los 5500 m.s.n.m. con presencia de glaciares que a lo largo de los años están desapareciendo.

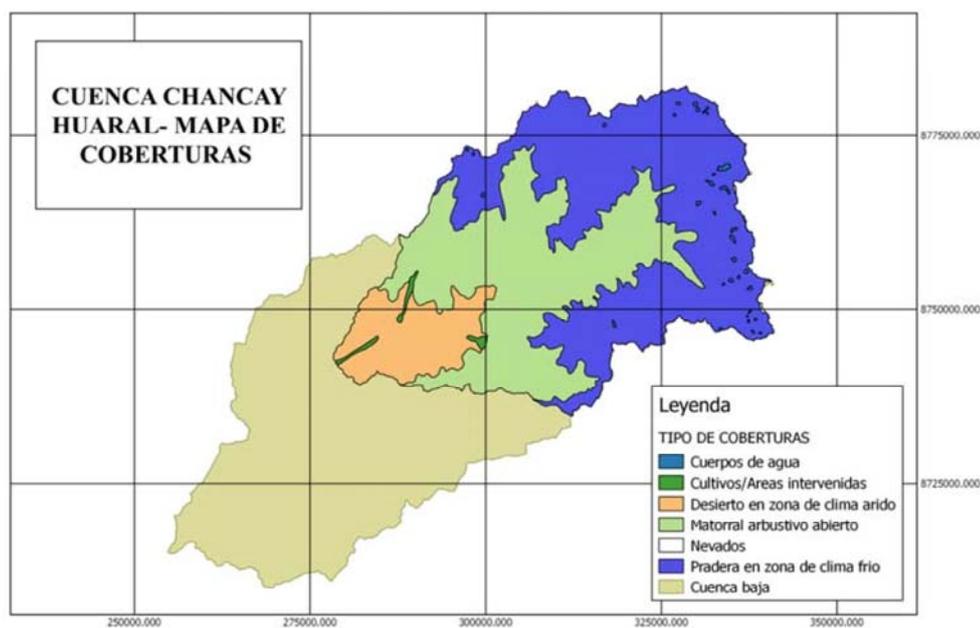
e) Desierto en zona de clima árido

Presenta muy poca vegetación que se caracteriza tener corteza dura y espinas. La mayor parte del desierto es dominado por arenas, que varían de color de acuerdo a las condiciones del lugar.

f) Cuerpo de agua

Dentro de este grupo se consideran a las zonas de acumulación de agua como lagunas, represas, ríos, etc.

Figura 11: Mapa de cobertura vegetal



Fuente: Elaborado a partir de datos del MINAM (2015).

3.5.3 Datos climáticos

Los datos de precipitación deben ser series continuas para el periodo de modelación, estos pueden presentarse en forma de: Isoyetas, relaciones de altura o precipitación. En el presente trabajo se procesó los datos para ser presentados en forma de isoyetas, para ello se usó el software Hydraccess y el método de interpolación Kriging, obteniendo series de tiempo para cada catchment.

Los datos de temperatura media, humedad relativa y velocidad del viento fueron obtenidos del documento de Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Chancay-Huaral y no fue necesario realizar ningún proceso adicional.

3.6 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

La evaluación del proceso de calibración se realizó mediante la comparación de los caudales observados en la estación de aforo Santo Domingo y los caudales obtenidos a través de la simulación.

El proceso de calibración del modelo fue un proceso iterativo y manual; se hicieron las modificaciones necesarias en el funcionamiento del modelo, en especial en los parámetros de conductividad, capacidad de almacenamiento, factor de resistencia a la escorrentía y dirección de flujo.

El proceso de calibración y validación del modelo se realizó para un periodo de tiempo en el que los datos climáticos (precipitación, temperaturas, HR, etc.) coinciden con los datos hidrométricos.

Los índices utilizados en la medición del grado de aproximación del modelo, fueron: el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe, el sesgo (Bias o desviación relativa de los caudales), y el coeficiente de correlación de Pearson.

Cuadro 15: Indicadores de eficiencia del modelo

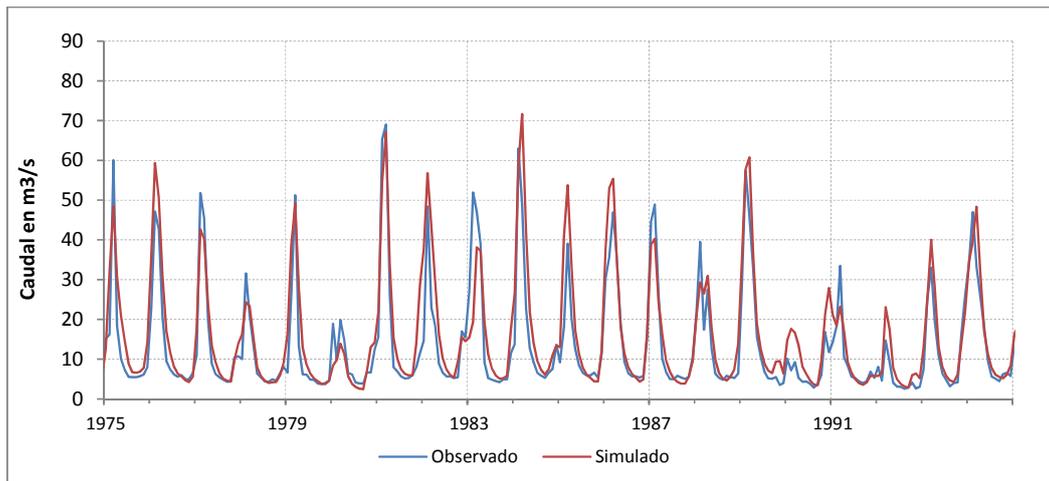
Indicador	Ecuación	Rango	Valor esperado
Índice de Nash	$E_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{0,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{0,i} - \bar{Q}_0)^2}$	-∞ a 1	1
Bias Score	$BIAS = \left[\frac{\bar{Q}_s - \bar{Q}_0}{\bar{Q}_0} \right]$	-∞ a +∞	0
Pearson	$\frac{\sum (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)(Q_{0,i} - \bar{Q}_0)}{\sqrt{\sum (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2 \sum (Q_{0,i} - \bar{Q}_0)^2}}$	-1 a 1	1

FUENTE: Elaboración propia

Con la información disponible de registros hidrométricos ha sido posible calibrar y validar el modelo hidrológico en la estación de control Santo Domingo, obteniendo valores estadísticos satisfactorios (índice de Nash, BIAS, Pearson), lo que demuestra que el modelo está representando adecuadamente la cuenca

En los siguientes gráficos se muestra los resultados de los caudales simulados y observados en los procesos de calibración y validación en la estación Santo Domingo. Estos gráficos permiten comparar los caudales simulados con los caudales medidos a nivel de paso mensual.

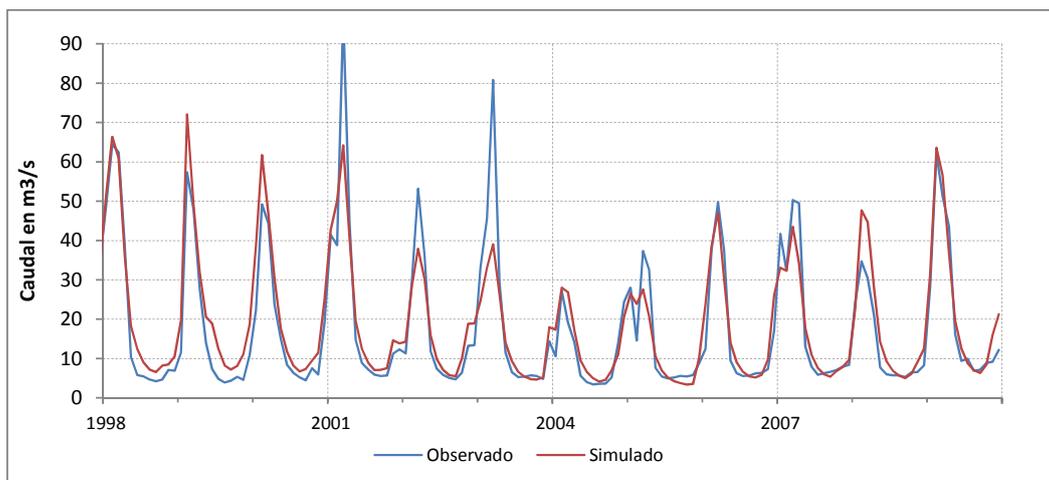
Figura 12: Periodo de calibración (1975-1994)



Cuadro 16: Indicadores de eficiencia del modelo, periodo de calibración.

Indicador	Valor
Nash	0.77
Nash-In	0.82
BIAS	0.18
Pearson r	0.91

Figura 13: Periodo de validación (1995-2009)



Cuadro 17: Indicadores de eficiencia del modelo, periodo de validación.

Indicadores	Valor
Nash	0.86
Nash-ln	0.87
BIAS	0.09
Pearson r	0.93

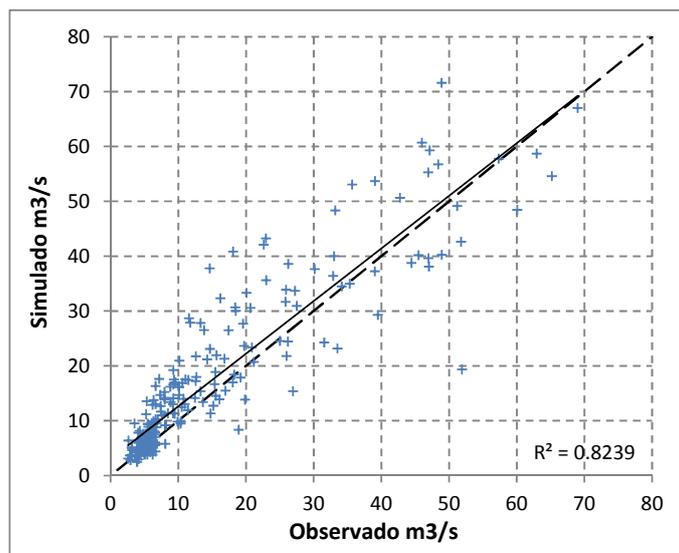


Figura 14: Comparación caudales simulados vs observados, periodo de calibración.

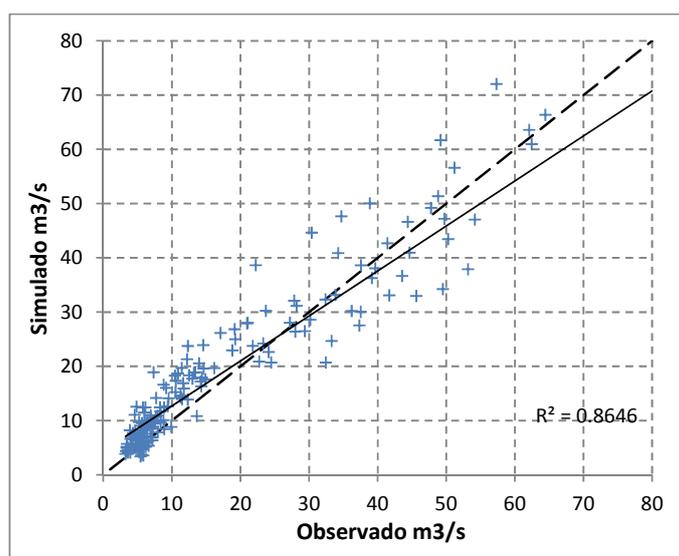


Figura 15: Comparación caudales simulados vs observados, periodo de validación.

3.7 SIMULACIÓN DE OPERACIÓN DEL EMBALSE

3.7.1 Demanda impuesta

a) Caudal ecológico

En el artículo N° 153 de la Ley de Recursos Hídricos define el caudal ecológico como el volumen de agua que se debe mantener en las fuentes naturales de agua para la protección o conservación de los ecosistemas involucrados, estética del paisaje, u otros aspectos de interés científico o cultural.

Mediante resolución jefatural N°154-2016 se aprobó la metodología para determinar caudales ecológicos (DCPRH-ANA). En el artículo 5 menciona los criterios generales para determinar caudales ecológicos que son:

Caudal ecológico mínimo: será el equivalente al caudal determinado al 95% de persistencia en el punto de interés de la fuente natural de agua.

El estudio determinación de caudal ecológico se realiza utilizando información estadística de los últimos 20 años. A falta de información esta será generada utilizando modelamiento hidrológico y estocástico.

Inaplicación de los criterios generales: (1) si se amenaza la supervivencia de determinadas especies hidrobiológicas claves para desarrollo de actividades preexistentes cuya conservación se pretende mantener. (2) los cursos de las aguas se encuentran dentro de zonas protegidas o de amortiguamiento. (3) en los casos que proyectos de infraestructura ocasionen impactos irreversibles en el régimen hidrológico.

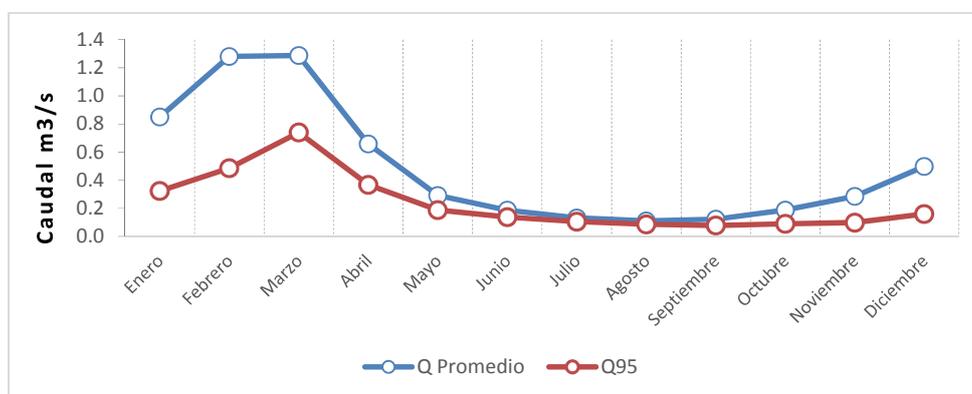


Figura 16: Caudal mensual al 95% de persistencia

b) Descarga de agua para la atención de las demandas en el valle Chancay-Huaral

En el plan de aprovechamiento de disponibilidades hídricas de la cuenca Chancay Huaral agosto 2015 - julio 2016 se ha encontrado que el periodo deficitario para la atención de la demanda agrícola en el valle comprende los meses de agosto a diciembre. Este déficit asciende a 46.71 hm³, siendo el más crítico el mes de diciembre.

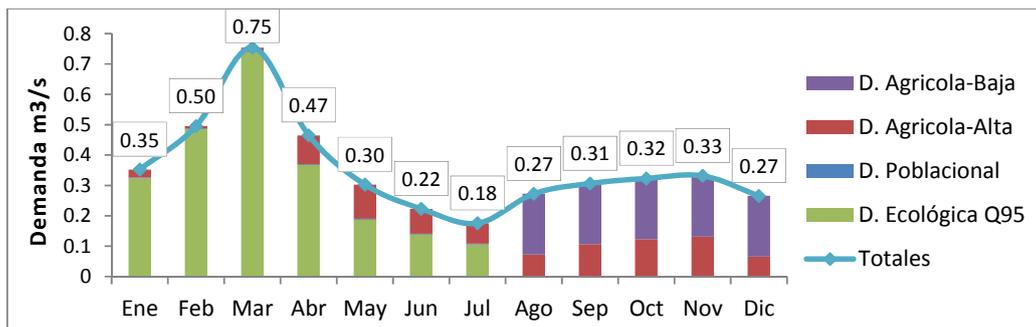


Figura 17: Demanda impuesta agua abajo del embalse Purapa

3.7.2 Curva elevación-volumen

La curva elevación-volumen se obtuvo del modelo de elevación digital del terreno a través de imágenes satelitales.

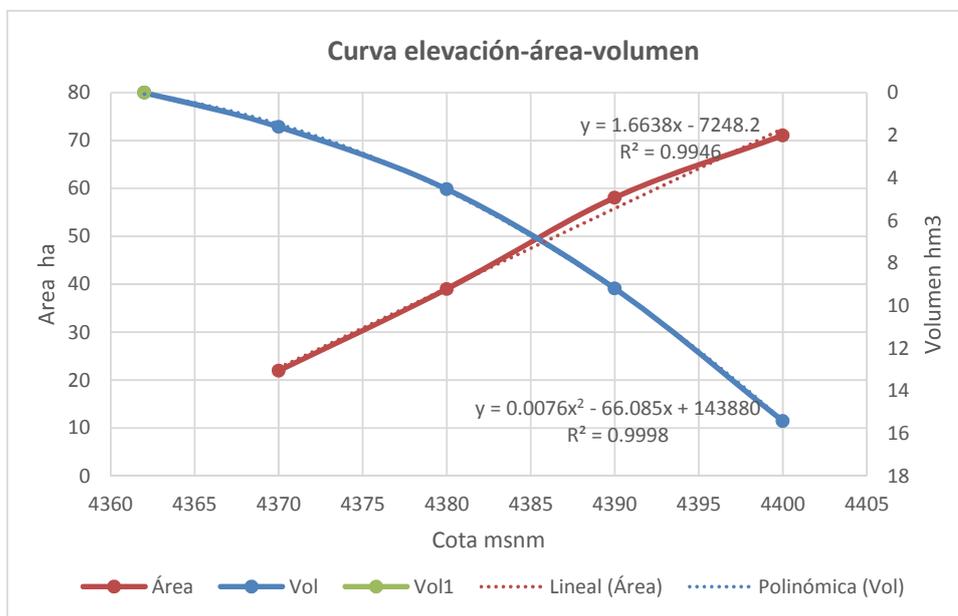


Figura 18: Curva elevación – área-volumen

FUENTE: Elaboración propia.

3.7.3 Garantía de abastecimiento de la demanda

Para evaluar el grado de satisfacción de la demanda hídrica se utilizaron los criterios de confiabilidad en volumen y tiempo, según:

- Confiabilidad en volumen:

Se define como el porcentaje del volumen total demandado que ha logrado ser cubierto durante todo el periodo de simulación.

- Confiabilidad en tiempo

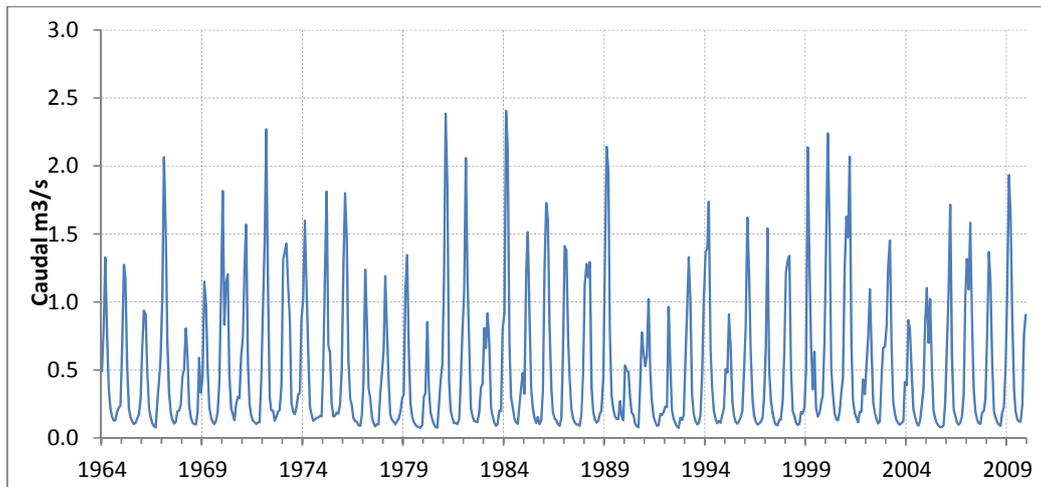
Se define como el porcentaje de meses en el cual la demanda impuesta fue totalmente satisfecha. Por ejemplo, si la demanda no fue cubierta por 6 meses en 10 años, la confiabilidad en tiempo sería de $(10*12-6)/(10*12) = 95\%$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CAUDALES GENERADOS EN EL PUNTO DE INTERÉS

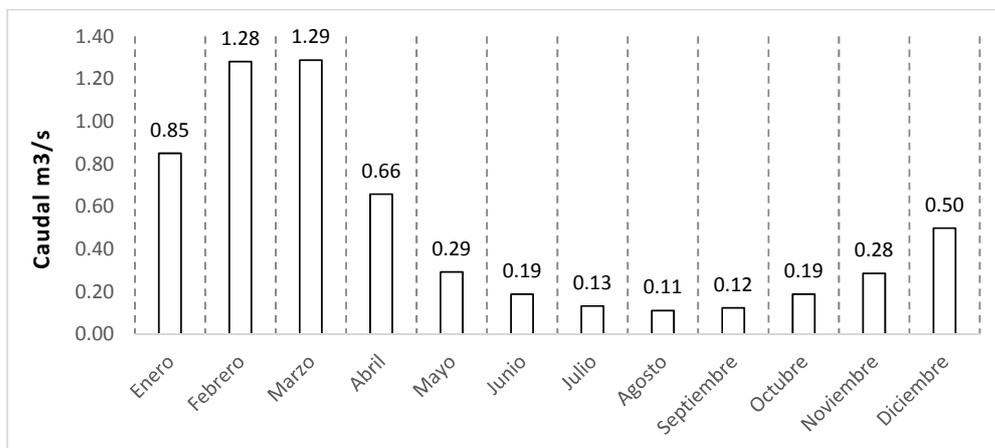
Luego de calibrar y validar el modelo precipitación-escorrentía se procedió a generar series de caudales para el punto de interés a partir de los datos climáticos en el periodo 1964-2009.

Figura 19: Serie de caudales generados en el punto de interés.



Se obtuvo un promedio multianual de $0.49 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que equivale a un volumen de 15.5 hm^3 al año.

Figura 20: Caudal promedio mensual en el punto de interés.



Cuadro 18: Caudales generados en el punto de interés.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964	0.49	0.83	1.33	0.76	0.36	0.22	0.15	0.13	0.13	0.19	0.22	0.24	0.42
1965	0.64	1.27	1.17	0.52	0.22	0.15	0.12	0.10	0.11	0.14	0.17	0.30	0.41
1966	0.66	0.94	0.91	0.50	0.22	0.15	0.11	0.09	0.08	0.27	0.42	0.59	0.41
1967	1.06	2.07	1.50	0.70	0.34	0.18	0.13	0.11	0.12	0.20	0.20	0.25	0.57
1968	0.45	0.51	0.80	0.59	0.24	0.15	0.11	0.10	0.10	0.19	0.59	0.33	0.35
1969	0.46	1.15	0.99	0.52	0.23	0.15	0.12	0.10	0.13	0.19	0.41	1.08	0.46
1970	1.82	0.83	1.14	1.20	0.47	0.22	0.17	0.13	0.24	0.30	0.29	0.59	0.62
1971	0.74	1.25	1.57	0.55	0.25	0.16	0.13	0.12	0.10	0.11	0.12	0.43	0.46
1972	0.96	1.45	2.27	1.14	0.30	0.20	0.20	0.13	0.15	0.19	0.21	0.39	0.63
1973	1.31	1.37	1.43	1.12	0.86	0.26	0.19	0.18	0.22	0.32	0.33	0.86	0.70
1974	1.02	1.60	1.14	0.65	0.23	0.17	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.47
1975	0.51	1.24	1.81	0.68	0.63	0.26	0.16	0.16	0.19	0.18	0.25	0.51	0.55
1976	1.25	1.80	1.47	0.58	0.29	0.24	0.15	0.12	0.12	0.09	0.09	0.16	0.53
1977	0.41	1.24	0.85	0.37	0.30	0.15	0.11	0.09	0.10	0.10	0.33	0.48	0.38
1978	0.64	1.19	0.78	0.40	0.17	0.13	0.12	0.10	0.12	0.14	0.19	0.29	0.36
1979	0.32	1.10	1.34	0.67	0.25	0.16	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.09	0.37
1980	0.30	0.33	0.85	0.37	0.19	0.14	0.10	0.08	0.08	0.25	0.42	0.54	0.30
1981	1.20	2.39	1.87	0.41	0.20	0.15	0.11	0.11	0.10	0.13	0.40	0.78	0.65
1982	1.07	2.06	1.19	0.71	0.22	0.16	0.12	0.12	0.12	0.19	0.37	0.40	0.56
1983	0.81	0.66	0.92	0.69	0.23	0.16	0.11	0.09	0.10	0.20	0.20	0.80	0.41
1984	0.92	2.40	2.13	0.68	0.30	0.22	0.14	0.12	0.10	0.25	0.38	0.48	0.68
1985	0.33	1.24	1.51	0.89	0.36	0.22	0.14	0.11	0.15	0.10	0.13	0.35	0.46
1986	1.23	1.73	1.61	0.84	0.36	0.19	0.14	0.13	0.10	0.09	0.14	0.62	0.60
1987	1.41	1.38	0.73	0.43	0.21	0.14	0.11	0.10	0.10	0.09	0.18	0.49	0.45
1988	1.12	1.28	1.18	1.29	0.37	0.20	0.14	0.11	0.13	0.18	0.20	0.45	0.55
1989	1.29	2.14	1.97	0.76	0.31	0.21	0.16	0.14	0.14	0.27	0.16	0.13	0.64
1990	0.53	0.50	0.48	0.30	0.19	0.17	0.10	0.09	0.08	0.37	0.78	0.63	0.35
1991	0.53	0.60	1.02	0.49	0.27	0.16	0.12	0.09	0.09	0.17	0.17	0.19	0.33
1992	0.23	0.23	0.96	0.53	0.20	0.14	0.11	0.08	0.07	0.15	0.13	0.17	0.25
1993	0.57	0.92	1.33	1.00	0.32	0.18	0.13	0.10	0.11	0.17	0.47	1.01	0.53
1994	1.37	1.39	1.74	0.64	0.36	0.20	0.14	0.11	0.12	0.11	0.17	0.22	0.55
1995	0.51	0.48	0.91	0.67	0.27	0.17	0.12	0.10	0.12	0.15	0.20	0.51	0.35
1996	0.81	1.62	1.19	0.65	0.29	0.17	0.12	0.10	0.11	0.12	0.15	0.30	0.47
1997	0.67	1.54	0.51	0.28	0.19	0.13	0.10	0.09	0.13	0.14	0.28	0.63	0.39
1998	1.21	1.30	1.34	0.49	0.20	0.16	0.11	0.10	0.10	0.19	0.18	0.22	0.47
1999	0.50	2.14	1.27	0.68	0.36	0.63	0.22	0.16	0.18	0.26	0.32	0.72	0.62
2000	1.47	2.24	1.51	0.51	0.33	0.18	0.14	0.13	0.20	0.33	0.44	1.24	0.73
2001	1.63	1.48	2.07	0.67	0.28	0.18	0.15	0.12	0.19	0.19	0.43	0.32	0.64
2002	0.53	0.74	1.09	0.69	0.26	0.19	0.14	0.11	0.12	0.46	0.66	0.67	0.47
2003	0.82	1.25	1.45	0.66	0.27	0.18	0.13	0.11	0.10	0.11	0.12	0.41	0.47
2004	0.39	0.87	0.80	0.47	0.21	0.16	0.11	0.09	0.13	0.24	0.37	0.83	0.39
2005	1.10	0.70	1.02	0.54	0.20	0.15	0.11	0.09	0.08	0.08	0.09	0.26	0.37
2006	0.70	1.06	1.71	0.61	0.21	0.17	0.11	0.10	0.11	0.16	0.32	1.03	0.52
2007	1.32	1.09	1.58	0.87	0.36	0.19	0.14	0.11	0.10	0.18	0.20	0.29	0.54
2008	0.72	1.37	1.15	0.55	0.20	0.15	0.12	0.10	0.09	0.19	0.22	0.54	0.45
2009	1.07	1.93	1.63	0.92	0.35	0.19	0.14	0.12	0.12	0.25	0.76	0.91	0.70
Prom	0.85	1.28	1.29	0.66	0.29	0.19	0.13	0.11	0.12	0.19	0.28	0.50	0.49
Min	0.23	0.23	0.48	0.28	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.25
Max	1.82	2.40	2.27	1.29	0.86	0.63	0.22	0.18	0.24	0.46	0.78	1.24	0.73

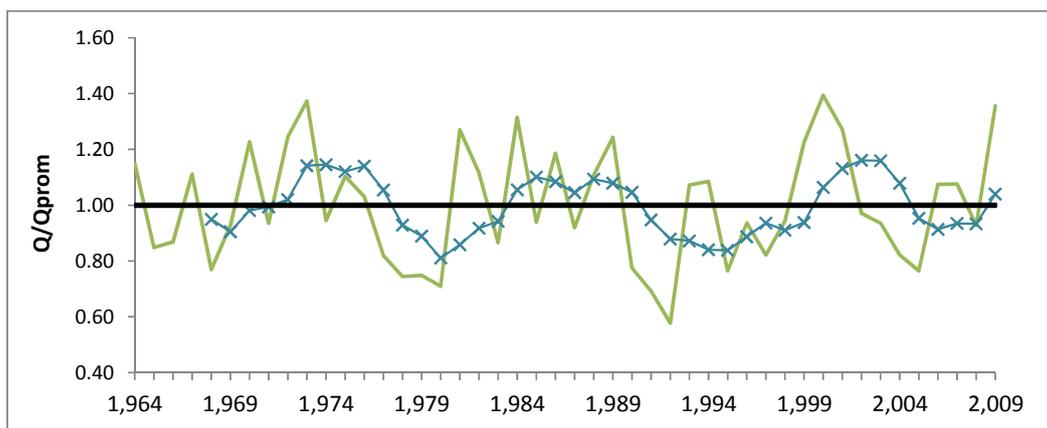


Figura 21: Régimen anual de escorrentía en el punto de interés.

En la figura anterior se presenta el régimen anual de escorrentía en el punto de interés y la media móvil de 5 años. Cada caudal medio anual ha sido dividido por el caudal promedio multianual de toda la serie. Se observa una alternancia de ciclos húmedos (mayores a 1) y secos (menores a 1) y una serie estacionaria (sin tendencia). Los periodos de sequía más críticos corresponden a los años 1977-1981 y 1990-1998.

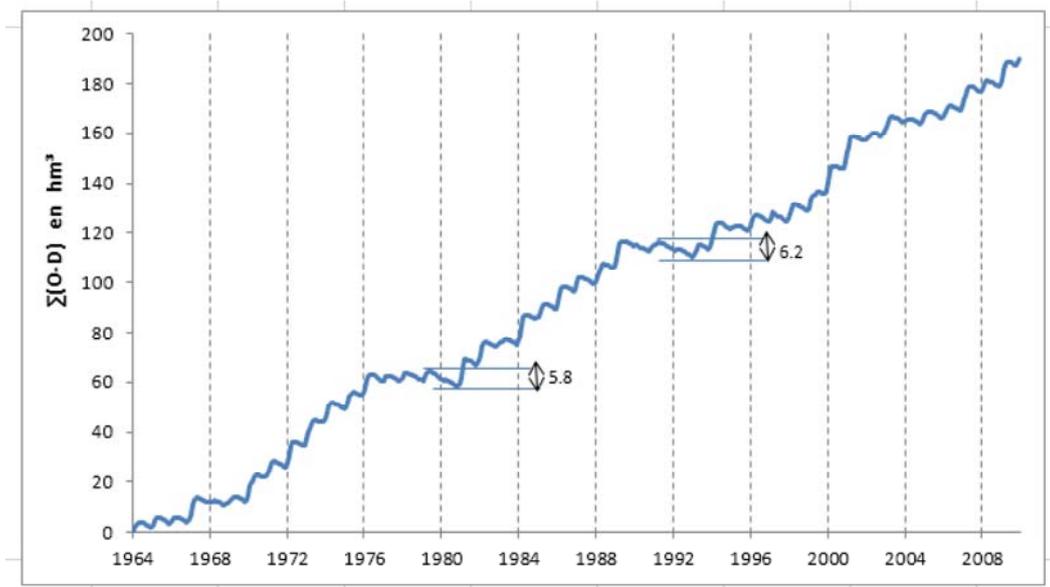
4.2 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

Una vez obtenida la oferta de caudales en el punto de interés se procedió a realizar el método de picos secuenciales con el fin de calcular el volumen útil para el vaso Purapa.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

- Se calculó mes a mes la diferencia entre el caudal generado para el punto de interés y la demanda de agua.
- Se acumularon los valores de la diferencia entre oferta (O) y demanda (D), a nivel mensual.
- Se realizó la gráfica de los valores acumulados, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 22: Determinación del almacenamiento requerido, vaso Purapa. Método gráfico.



- En la figura anterior se identificaron los picos de mayor valor y se calculó la diferencia entre el primer pico y el punto más bajo en el periodo comprendido entre dos picos secuenciales (Oct-1980 y Dic-1992)

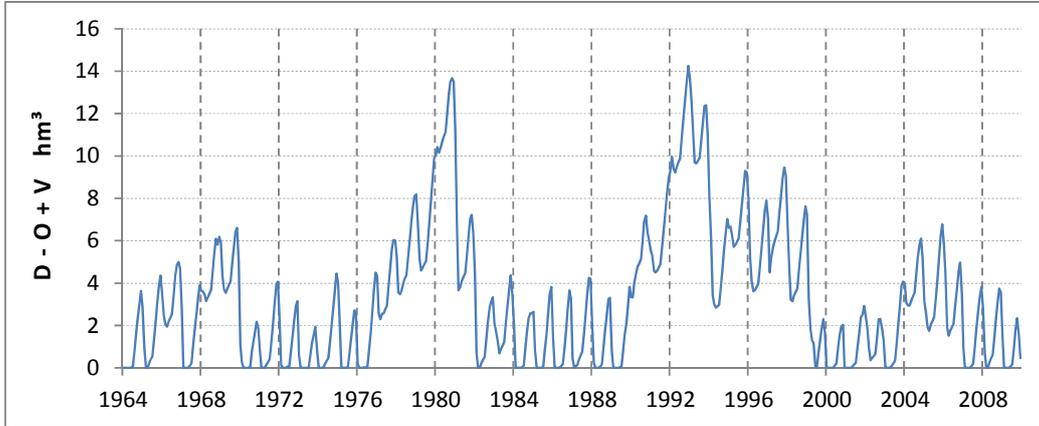
- Se obtuvo como resultado un volumen de almacenamiento requerido de 6.2 hm^3 .

Como era de esperarse, el procedimiento analítico arroja el mismo resultado que el encontrado en la Figura 22.

Cuadro 19: Determinación del almacenamiento requerido, vaso Purapa. Método analítico.

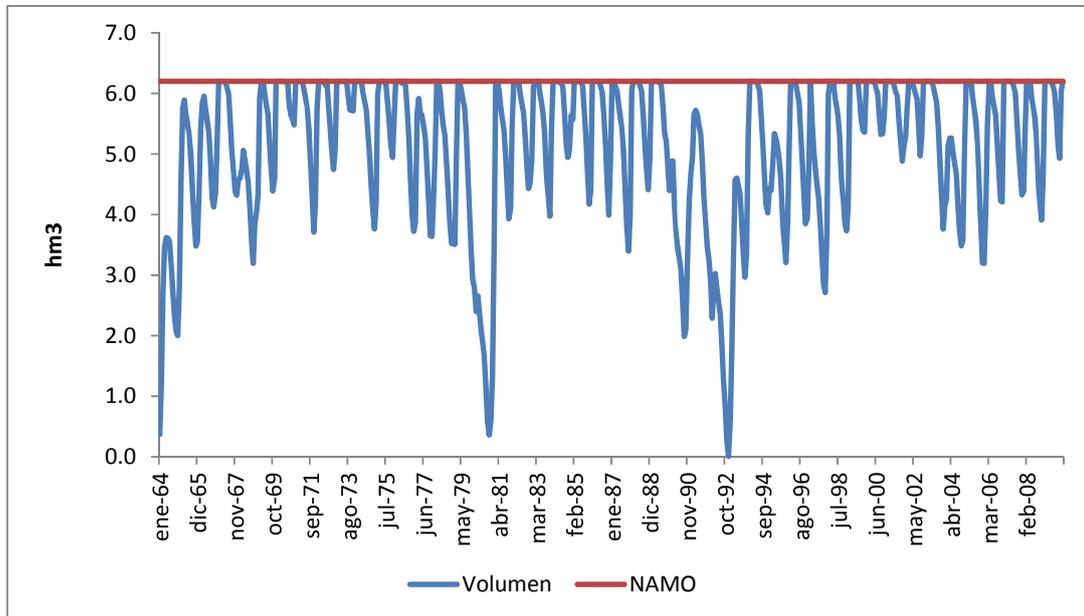
Fecha	Oferta	Demanda	D-O+V	Fecha	Oferta	Demanda	D-O+V
	hm3	hm3	hm3		hm3	hm3	hm3
ago-79	0.3	0.7	0.9	abr-91	1.3	1.2	0.5
sep-79	0.2	0.8	1.5	may-91	0.7	0.8	0.6
oct-79	0.2	0.9	2.2	jun-91	0.4	0.6	0.7
nov-79	0.2	0.9	2.8	jul-91	0.3	0.5	0.9
dic-79	0.3	0.7	3.3	ago-91	0.2	0.7	1.4
ene-80	0.8	0.9	3.4	sep-91	0.2	0.8	1.9
feb-80	0.8	1.2	3.8	oct-91	0.5	0.9	2.3
mar-80	2.3	2.0	3.5	nov-91	0.4	0.9	2.7
abr-80	1.0	1.2	3.8	dic-91	0.5	0.7	2.9
may-80	0.5	0.8	4.1	ene-92	0.6	0.9	3.3
jun-80	0.4	0.6	4.3	feb-92	0.5	1.2	3.9
jul-80	0.3	0.5	4.5	mar-92	2.6	2.0	3.4
ago-80	0.2	0.7	5.0	abr-92	1.4	1.2	3.2
sep-80	0.2	0.8	5.6	may-92	0.5	0.8	3.4
oct-80	0.7	0.9	5.8	jun-92	0.4	0.6	3.7
nov-80	1.1	0.9	5.6	jul-92	0.3	0.5	3.8
dic-80	1.4	0.7	4.9	ago-92	0.2	0.7	4.3
ene-81	3.2	0.9	2.6	sep-92	0.2	0.8	5.0
feb-81	5.8	1.2	0.0	oct-92	0.4	0.9	5.4
mar-81	5.0	2.0	0.0	nov-92	0.3	0.9	5.9
abr-81	1.1	1.2	0.1	dic-92	0.5	0.7	6.2
may-81	0.5	0.8	0.4	ene-93	1.5	0.9	5.6

Figura 23. Gráfico del valor $D_t - O_t + V_{t-1}$



4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL EMBALSE

En base al volumen útil obtenido (6.2 hm^3) se realizó la simulación de operación del embalse. En la siguiente figura se muestra la variación del volumen almacenado en el periodo de simulación.

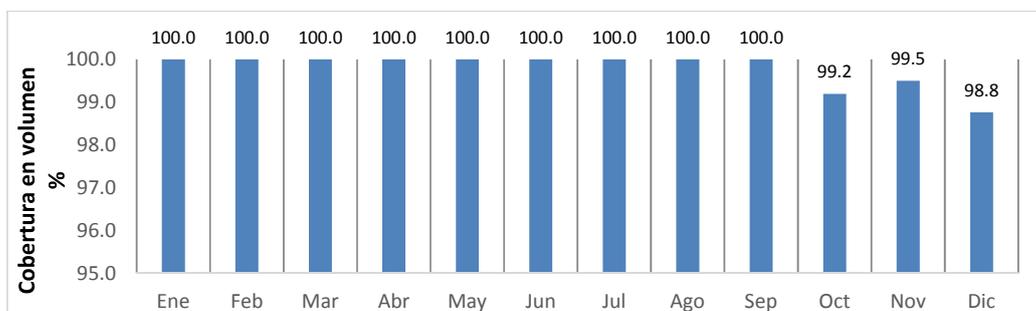


Los meses en el que reservorio llega a un vaciado total corresponde a los meses en que se encontró el punto más bajo entre picos secuenciales (Oct-1980 y Dic-1992)

4.4 GARANTÍA DE ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA

Para un volumen total de 6.2 hm³ se obtuvieron los siguientes resultados de cobertura de la demanda en volumen y tiempo:

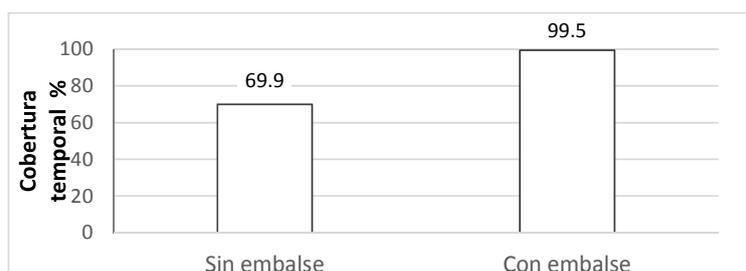
Figura 24: Cobertura volumétrica



En la figura anterior se observa que las coberturas volumétricas a nivel mensual son de 100% durante el periodo de enero a septiembre y alcanza valores muy cercanos a 99% durante octubre, noviembre y diciembre.

Con el método de picos secuenciales se previó que el periodo hidrológico de sequía más crítico será abastecido por el volumen de almacenamiento en el embalse, por lo tanto se deberían tener garantías de abastecimiento del 100%. Las pequeñas diferencias obtenidas de octubre a diciembre se deben a que en la simulación del embalse se consideran las pérdidas por evaporación.

Figura 25: Cobertura temporal



En el escenario “sin embalse”, que es la condición actual, la cobertura de la demanda impuesta sólo se logra en el 69.9% de los meses simulados (386 meses). A diferencia del primer escenario, en el escenario “con embalse”, condición futura, se logra cubrir la demanda en el 99.5 % de los meses simulados, es decir que sólo se deja de atender 3 meses de los 552 meses simulados.

V. CONCLUSIONES

1. El método de picos secuenciales permitió determinar el volumen de almacenamiento requerido para el vaso Purapa, asegurando un 99.8 % de garantía de cobertura de la demanda en el tiempo y 99.5 % de garantía de cobertura de la demanda en volumen.
2. La simulación hidrológica realizada mediante el modelo WEAP ha permitido representar adecuadamente el comportamiento hídrico natural de la cuenca Chancay-Huaral hasta la estación hidrométrica Santo Domingo.
3. Se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto a la calibración y validación del modelo hidrológico en el punto de control Santo Domingo. Los indicadores de eficiencia en el periodo de Calibración son: NASH con 0.77 y Pearson r con 0.91. Y los valores del periodo de Validación son: NASH con 0.86 y Pearson r con 0.93.
4. La Operación de la presa en el Vaso Purapa, incrementará la oferta hídrica en los meses de estiaje en un 26%, los cuales comprenden desde el mes de Septiembre hasta Enero del siguiente año. El embalse podrá entregar un caudal promedio de 0.36 m³/s durante todo el año.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tomar en cuenta el método de picos secuenciales como primera aproximación en el dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento de un embalse. Este análisis permite iniciar el diseño del reservorio asegurando que las demandas son cubiertas aún en el periodo hidrológico más crítico.
2. La información topográfica para determinar la curva elevación – volumen se obtuvo mediante un método de medición indirecta (modelo de elevación a través de imágenes de satélite). Se recomienda realizar un levantamiento topográfico del vaso para corroborar la información utilizada en el presente estudio.
3. Para mejor comprensión de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Chancay-Huaral se recomienda realizar el modelo hidrológico en WEAP de todo el sistema hidráulico existente y proyectado. Esto permitirá optimizar la operación de los múltiples reservorios de la parta media y alta de la cuenca.
4. En el estudio se utilizaron series hidrológicas comprendidas entre los años 1964-2009, longitud de registro suficiente para considerar un periodo que contenga diversas secuencias de años húmedos y secos. Sin embargo, la normativa de la ANA contempla utilizar información actualizada, que en este caso sería al año 2015.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Chamorro de Rodrigues, G; Santos Villar, D; Cahuas Servalli, JL; Patiño Pimentel, L. 2011. Diagnóstico de la red de estaciones hidrológicas instaladas en la cuenca del río Chancay – Huaral y propuesta para su implementación. Informe final. Perú. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 50 p.
- 2- Choquepuma Llave, ME; Pantoja Tapia, G. 2011. Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Chancay-Huaral. ed. rev. Lima, Perú. Autoridad Nacional del Agua. 103p. Ala Chancay - Huaral
- 3- Estrela, T. 1992. Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. CEDEX. Madrid, España.
- 4- Maidment, DR. 1993. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, Inc.
- 5- Ponce, VM. 1989. Engineering Hydrology: Principles and Practices. Prentice Hall. p. 389-451. Consultado 5 ago. 2016. (en línea). Disponible en: <http://ponce.sdsu.edu/textbookhydrology389.html>
- 6- Universidad Católica de Chile, SEI (Stockholm Environment Institute, SE). 2009. Guía metodológica - modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP. CL. 86 p. (en línea). Consultado 2 ago. 2016. Disponible en: www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf
- 7- Ven Te Chow. Maidment, D. Mays, L. 1994. Hidrología Aplicada. Traducido por J. Saldarriaga de la primera edición en inglés. Santa Fe de Bogotá, Colombia. McGraw-Hill. p. 2-13
- 8- ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú) 2014. Plan de gestión de recursos hídricos de la cuenca Chancay-Huaral. Lima, Perú 154p.
- 9- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Perú) 1969. Inventario, evaluación y uso de los recursos naturales de la costa: valle Chancay – Huaral. Lima, Perú 554p.

ANEXO 1:

Registros de precipitación completada y extendida.

Estación Andahuasi (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	0.00	3.60	20.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1965	0.20	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00
1966	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1967	0.50	19.00	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
1968	0.00	0.00	0.00	0.40	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1969	0.20	3.30	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1970	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00
1971	1.10	7.60	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1972	0.00	0.70	15.10	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40
1973	8.90	5.10	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1974	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1975	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1976	18.20	22.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1977	0.00	2.30	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1978	0.00	0.00	0.60	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1979	0.00	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1981	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1985	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.00	0.50	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987	0.10	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
1988	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
1989	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
1990	2.60	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996	0.00	0.30	2.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	0.00	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	0.00	0.50	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	0.00	58.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00
2007	0.00	0.00	0.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.00	13.90	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Media	0.84	3.37	1.19	0.12	0.02	0.01	0.00	0.00	0.06	0.05	0.00	0.05
Desv. St	3.01	9.57	3.74	0.27	0.10	0.09	0.00	0.00	0.35	0.19	0.00	0.24

Estación Carac (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	57.96	51.18	62.28	17.66	3.47	0.00	0.00	0.00	0.13	16.23	18.98	32.42
1965	36.12	105.57	118.13	11.15	0.02	0.00	0.00	0.08	0.26	1.01	0.74	7.55
1966	56.26	49.54	64.30	36.30	0.00	0.00	0.00	0.02	0.27	82.10	12.10	28.80
1967	131.70	223.50	89.90	2.10	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	2.50	0.00
1968	11.80	37.00	48.10	25.50	2.20	0.00	0.00	0.00	1.80	4.30	0.00	4.50
1969	1.80	51.70	97.40	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.80	43.40	42.70
1970	146.30	47.70	31.50	29.20	5.70	0.00	0.00	0.00	21.10	0.90	12.90	49.20
1971	60.20	88.60	111.10	19.30	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	7.00	0.50	62.20
1972	96.90	86.70	261.30	35.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.20	25.00	65.70
1973	108.90	79.30	143.20	37.60	1.50	0.00	0.00	3.20	10.40	19.30	9.10	59.90
1974	101.40	81.20	98.20	21.10	0.00	0.40	0.00	1.10	1.20	3.50	2.40	21.70
1975	49.60	91.30	117.40	8.10	5.00	3.20	0.00	1.50	2.60	7.80	14.20	42.50
1976	121.00	121.00	68.30	10.50	1.80	2.60	0.00	0.01	1.10	0.00	1.10	36.80
1977	40.40	155.80	97.80	22.30	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.50	10.20
1978	56.40	46.40	61.80	18.90	0.00	0.00	0.50	0.00	1.70	14.10	15.60	39.70
1979	15.50	71.00	138.80	7.10	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	4.90	1.21	22.10
1980	64.00	28.90	79.10	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.70	14.70	20.70
1981	61.70	156.90	115.50	18.20	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	5.40	27.00	37.52
1982	78.58	124.40	34.90	33.90	0.00	0.00	0.00	1.00	0.60	27.00	34.80	18.20
1983	31.60	52.00	169.90	50.20	2.50	3.50	0.00	0.00	1.90	7.90	9.50	89.50
1984	94.30	186.60	115.20	28.70	28.00	1.50	0.00	0.00	0.00	25.90	37.90	57.00
1985	18.40	103.60	131.70	18.60	5.00	2.10	0.40	0.00	6.00	4.30	5.00	47.70
1986	122.20	109.70	84.20	24.60	1.00	0.00	2.10	3.00	2.00	0.00	18.40	92.60
1987	102.40	61.50	43.40	13.40	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	2.50	3.50	29.20
1988	104.10	75.40	63.20	47.50	14.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.60	3.20	50.10
1989	122.20	109.70	84.20	24.60	2.00	0.00	0.00	1.00	1.30	0.00	0.00	2.00
1990	43.90	19.60	54.50	13.10	3.70	0.60	0.00	0.00	0.00	39.80	39.20	51.30
1991	17.60	48.40	109.20	6.20	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	38.90	29.40	29.00
1992	25.30	16.30	50.30	9.70	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	29.50	6.00	11.70
1993	53.20	65.70	152.70	27.30	4.10	0.00	0.00	1.00	2.00	13.70	52.10	55.40
1994	83.30	91.50	101.80	31.60	6.70	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	7.60	39.10
1995	52.30	55.72	66.20	21.50	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70	33.40	53.10
1996	94.20	118.60	99.80	24.80	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	6.60	19.60
1997	64.90	117.10	22.10	4.80	0.30	0.00	0.00	0.20	10.00	11.40	36.00	132.80
1998	122.90	131.10	174.40	27.10	2.00	0.00	0.00	0.00	1.50	10.60	4.00	46.80
1999	67.20	243.40	122.20	43.10	17.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	8.30	44.12
2000	124.40	153.50	69.30	48.60	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	24.10	10.20	76.70
2001	131.10	92.30	189.50	49.40	0.00	0.00	0.00	0.00	8.80	6.00	57.00	19.20
2002	28.40	88.40	121.30	34.10	1.98	0.00	0.00	0.00	0.56	32.27	68.11	59.82
2003	77.83	67.03	102.07	16.72	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	8.48	5.72	72.20
2004	13.98	106.04	62.23	18.80	0.09	0.00	0.00	0.06	2.66	16.82	25.87	50.55
2005	76.11	50.96	54.08	34.50	0.33	0.00	0.00	0.00	0.01	1.83	4.25	53.87
2006	92.44	108.79	130.22	26.15	1.73	0.00	0.00	0.00	0.56	13.35	24.10	69.54
2007	91.16	68.01	110.28	23.67	0.64	0.05	0.00	0.03	0.15	15.93	18.46	49.31
2008	100.45	103.03	104.51	31.35	0.11	0.00	0.00	0.02	0.17	6.41	31.74	37.42
2009	118.90	226.54	120.46	24.13	8.75	0.00	0.00	0.01	0.13	7.97	32.72	70.99
Media	73.29	94.96	98.87	23.76	3.04	0.30	0.08	0.30	1.96	14.09	18.57	43.76
Desv. S	38.62	52.22	45.68	12.56	5.19	0.85	0.33	0.71	3.89	16.95	16.97	26.13

Estación Huamantanga (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	48.25	53.98	0.00	2.42	1.29	0.00	0.00	0.00	0.08	18.70	11.32	30.87
1965	34.50	81.80	164.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1966	51.20	31.80	50.60	16.10	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	18.20	0.00	6.40
1967	135.00	195.70	118.80	20.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.80
1968	23.60	9.60	24.40	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00
1969	15.00	88.70	101.20	19.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	25.10	41.60
1970	129.00	14.90	89.20	52.40	6.90	0.00	0.00	0.00	3.70	34.70	13.90	54.50
1971	70.80	97.41	113.20	25.36	0.35	0.00	0.00	0.00	0.05	4.24	0.72	49.24
1972	55.40	120.00	326.10	62.52	1.49	0.00	0.00	0.00	0.28	5.79	11.42	33.05
1973	31.50	44.30	119.80	3.73	2.01	0.00	0.00	0.00	0.43	17.10	0.00	45.60
1974	84.20	70.45	143.05	39.56	0.90	0.00	0.00	0.00	0.08	5.15	0.36	4.53
1975	55.24	86.08	152.12	7.98	5.50	0.00	0.00	0.00	0.44	7.17	4.07	62.90
1976	133.83	133.43	74.00	20.53	68.40	0.00	0.00	0.00	0.05	0.38	5.47	25.88
1977	18.86	125.84	31.23	10.12	0.77	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	5.20	12.50
1978	42.34	71.03	37.35	11.31	0.14	0.00	0.00	0.00	0.15	14.78	3.15	24.77
1979	16.38	55.88	95.50	8.14	0.19	0.00	0.00	0.00	0.01	1.61	0.37	13.94
1980	75.42	32.98	54.46	3.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	40.42	18.81	32.44
1981	32.85	133.76	116.09	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	6.34	11.20	65.49
1982	77.94	95.37	35.80	32.39	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	45.50	33.03	13.01
1983	31.71	71.87	121.54	29.10	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	7.70	47.70
1984	121.30	204.00	203.90	47.60	19.70	0.00	0.00	0.00	14.10	47.60	27.60	1.20
1985	12.40	108.90	103.60	8.90	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	5.70	7.30	29.00
1986	60.50	66.30	139.50	84.50	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.10
1987	136.30	117.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	2.80	16.25
1988	71.28	78.92	93.23	29.06	7.83	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.35	80.68
1989	119.50	153.54	124.54	15.56	1.91	0.00	0.00	0.00	2.53	1.28	0.00	0.86
1990	31.70	33.50	58.40	1.20	10.10	0.00	0.00	0.00	0.00	32.90	40.50	42.50
1991	16.10	50.20	115.40	18.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.60	8.60	8.90
1992	7.10	32.50	48.30	9.40	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	10.60	2.50	11.80
1993	101.40	95.40	155.60	49.50	7.80	0.00	0.00	0.00	2.90	7.80	48.10	49.10
1994	76.50	143.30	96.20	19.30	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.90	36.50
1995	75.20	61.30	77.70	15.60	9.40	0.00	0.00	0.00	2.70	11.90	39.20	53.60
1996	64.80	96.20	128.30	19.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20	4.00	19.76
1997	53.30	121.20	33.10	3.30	4.50	0.00	0.00	1.20	20.20	5.70	33.90	105.80
1998	186.00	126.80	184.30	31.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	3.70	2.90	26.70
1999	67.60	266.60	111.20	33.70	7.40	0.00	1.90	0.00	4.20	13.20	13.50	42.30
2000	111.90	134.90	100.20	16.20	5.30	0.00	0.00	3.60	0.40	35.10	5.90	81.90
2001	153.50	119.00	170.00	62.90	0.50	0.10	0.00	0.00	4.50	7.30	27.30	5.00
2002	43.20	105.50	107.70	51.90	1.40	1.00	0.90	0.00	7.60	19.40	54.80	19.80
2003	61.30	58.30	92.50	29.30	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	0.20	107.50
2004	13.60	106.90	45.20	24.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	9.40	14.30	55.90
2005	62.50	55.80	88.30	19.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	1.90	50.80
2006	100.70	130.10	112.00	14.42	1.60	0.00	0.00	0.00	1.50	4.30	8.00	63.60
2007	77.30	54.10	153.60	35.50	1.44	0.00	0.00	1.10	0.00	6.90	5.30	11.10
2008	100.50	97.60	117.80	21.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	17.00	26.70
2009	108.10	157.90	141.60	25.40	8.80	0.00	0.00	0.00	0.18	19.80	15.40	31.70
Media	69.49	95.46	103.71	23.02	4.54	0.02	0.06	0.13	1.64	10.98	11.97	35.03
Desv. St	42.82	51.12	58.05	18.96	10.69	0.15	0.31	0.57	3.80	12.61	14.00	26.60

Estación Huaros (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	44.70	56.51	146.34	54.64	4.60	0.00	0.00	0.00	0.10	9.46	7.01	32.52
1965	87.70	148.90	163.80	25.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	58.50
1966	98.20	74.30	37.80	34.10	12.80	0.00	0.00	0.00	25.00	77.50	53.00	67.70
1967	160.70	231.30	182.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	43.60	21.00	25.50
1968	36.40	63.20	77.60	17.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00
1969	23.10	36.40	64.50	69.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.10	23.20	152.10
1970	216.60	39.50	79.90	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	9.90	49.40
1971	50.50	66.20	177.80	16.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	0.00	89.40
1972	104.80	32.00	229.00	36.40	11.50	0.00	0.00	0.00	15.70	9.20	20.90	47.70
1973	64.70	150.20	305.80	118.90	1.20	0.00	0.00	0.00	7.20	25.00	10.30	125.50
1974	86.30	73.10	163.20	11.50	4.50	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	17.70
1975	35.30	74.30	150.00	22.20	11.40	0.00	0.00	12.00	0.00	0.00	17.80	53.60
1976	63.90	83.20	90.10	15.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00
1977	0.00	165.00	12.10	45.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	27.80
1978	6.80	36.20	57.90	8.00	1.80	0.00	0.00	0.00	8.00	3.20	7.20	26.50
1979	0.00	22.20	62.20	46.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980	119.70	19.00	64.50	24.90	0.00	0.00	0.00	1.00	36.17	66.10	68.60	60.40
1981	0.00	190.10	246.90	132.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.80	17.00	76.20
1982	106.50	160.10	18.40	34.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.80	38.80	40.40
1983	25.00	0.00	53.60	37.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.30
1984	213.10	285.00	279.00	152.70	45.70	0.00	0.00	0.00	0.00	49.60	123.40	101.10
1985	0.00	68.40	171.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.70
1986	53.30	115.10	91.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.20
1987	94.30	35.30	36.90	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.80
1988	99.90	43.90	26.60	77.00	3.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.00
1989	99.90	93.40	136.60	59.70	19.10	0.00	12.60	0.00	53.10	0.00	0.00	6.90
1990	29.30	19.40	32.70	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.30	87.90	10.70
1991	46.50	41.90	122.60	28.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.10	28.80	26.50
1992	28.30	7.90	75.00	19.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.80	0.00	34.90
1993	83.40	111.90	192.00	70.40	0.13	0.00	0.00	2.50	6.30	37.70	113.60	104.60
1994	129.58	155.90	141.70	81.90	9.60	0.00	2.60	4.10	10.70	4.00	102.60	51.50
1995	82.90	48.80	100.50	62.30	8.90	2.40	0.00	5.40	12.20	35.90	39.10	85.00
1996	89.10	149.00	128.80	59.80	8.40	0.00	0.00	0.90	5.00	12.90	14.20	48.10
1997	73.90	110.30	20.30	6.80	2.60	0.00	0.00	0.00	6.20	24.30	48.00	105.50
1998	139.00	122.90	150.20	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	29.60	15.90	38.30
1999	86.20	219.90	99.80	30.90	19.50	0.60	0.00	0.00	10.50	16.40	22.70	70.10
2000	125.80	175.20	165.00	52.00	14.50	0.00	0.00	8.10	11.70	38.20	27.20	100.50
2001	159.20	56.50	161.50	22.10	2.90	0.00	2.20	0.00	39.30	19.80	56.50	35.80
2002	36.80	103.40	141.20	74.70	11.70	5.00	1.00	0.00	19.30	59.69	66.80	60.60
2003	84.00	97.20	149.50	31.20	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	19.60	12.30	101.10
2004	9.80	116.40	60.80	41.20	3.00	1.20	0.50	0.00	12.30	32.30	51.20	76.70
2005	99.80	57.20	84.30	27.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.80	17.40	95.00
2006	95.40	89.60	157.50	49.97	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	26.00	18.49	134.40
2007	91.10	77.40	163.20	56.80	5.83	0.00	0.00	5.00	4.60	33.10	17.20	41.80
2008	102.90	125.10	89.10	22.80	0.00	0.00	0.00	3.80	0.40	36.70	29.40	67.10
2009	119.10	179.00	135.60	45.60	5.60	0.00	0.00	6.80	0.64	52.80	83.60	75.60
Media	78.34	96.25	119.50	41.70	4.54	0.20	0.48	1.08	6.36	22.40	27.69	61.28
Desv. St	52.07	64.09	68.62	32.96	8.23	0.83	1.94	2.56	11.52	23.69	32.68	35.87

Estación Huayan (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	0.40	0.50	1.90	0.20	1.20	1.50	1.70	1.40	0.10	0.00	0.00	0.20
1965	0.30	0.20	1.50	0.00	2.50	0.50	0.00	0.00	9.20	1.30	0.20	0.50
1966	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.50	4.90	0.30	16.40	0.70	0.00
1967	5.00	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90	1.30	1.00	0.00	0.00	0.00
1968	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1969	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.20	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00
1970	23.90	5.20	0.00	0.00	0.00	3.70	4.40	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00
1971	0.60	0.10	0.00	0.50	0.00	12.70	2.10	13.60	0.00	0.40	0.20	1.00
1972	0.00	3.50	5.00	0.50	0.00	0.00	0.00	3.40	1.60	0.00	8.00	6.00
1973	13.10	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1974	0.40	1.50	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1975	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00	2.40	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
1976	2.70	3.00	0.30	0.00	1.40	2.70	0.60	3.60	3.70	0.00	0.00	0.00
1977	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	2.80	0.00	0.10	0.00
1978	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1979	0.00	0.00	12.10	0.00	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1981	3.50	0.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00	1.60	0.00
1982	0.00	1.80	0.00	0.00	1.40	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	2.20	1.10	5.00	0.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1984	0.00	3.50	1.00	0.00	1.80	0.00	0.00	0.10	1.90	0.00	0.00	0.30
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.10	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	0.00	0.30	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	14.40
1987	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
1988	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.20	0.00	0.00	0.10
1989	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00
1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	2.70	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	1.10	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994	0.40	0.10	0.00	0.00	1.00	0.70	0.00	0.10	0.00	0.20	0.60	0.00
1995	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00	1.20	1.80	0.60	0.00	0.00	0.00
1996	0.00	0.00	7.20	0.10	0.00	2.80	0.70	0.90	0.10	0.00	0.10	0.00
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.10	1.70	0.00	6.70
1998	9.70	15.90	5.60	0.00	0.90	1.80	1.70	2.70	1.10	0.10	0.10	0.00
1999	3.60	12.00	0.90	0.10	0.00	2.00	1.30	1.40	0.50	0.00	1.50	0.00
2000	2.30	1.30	0.30	0.00	0.50	4.50	4.30	2.50	0.50	0.10	0.00	1.20
2001	6.60	2.00	1.70	0.20	1.60	3.40	4.80	2.10	0.90	0.00	4.80	0.10
2002	0.00	39.70	0.10	0.70	0.10	2.70	7.30	6.60	2.70	1.70	0.60	0.20
2003	2.70	1.30	0.60	0.00	0.00	1.60	3.20	4.00	2.60	0.00	0.00	2.90
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	0.60	0.90	0.00	1.00	0.30
2005	0.10	0.00	0.00	0.00	1.90	1.50	1.60	0.80	2.60	0.00	0.00	0.40
2006	0.90	0.20	1.30	0.00	0.00	1.30	1.60	1.20	1.50	0.20	1.00	0.40
2007	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	4.70	0.50	0.00	0.00	0.00
2008	0.00	0.00	2.50	0.00	1.00	5.60	1.20	8.90	4.80	1.50	1.80	1.30
2009	2.80	5.40	3.10	1.00	0.00	6.40	9.40	8.30	3.90	1.40	1.80	2.60
Media	1.95	2.62	1.17	0.08	0.45	1.44	1.78	2.34	1.01	0.55	0.52	1.05
Desv. St	4.262	6.562	2.35	0.21	0.82	2.34	2.30	3.41	1.74	2.44	1.41	2.74

Estación Pachamachay (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	120.60	223.50	106.20	86.60	0.10	0.00	0.00	1.80	3.10	12.40	13.60	109.90
1965	160.90	73.00	183.60	112.70	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	21.50	21.20	157.80
1966	183.10	216.90	381.30	71.70	0.00	0.00	0.00	2.80	16.00	51.50	32.10	64.00
1967	92.20	297.00	73.40	48.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.10	64.10	50.80	84.80
1968	120.70	639.00	100.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	22.30	50.30	216.90
1969	104.40	194.60	295.50	143.30	0.00	0.00	0.00	7.50	0.20	15.50	47.70	165.60
1970	31.50	53.60	290.80	120.60	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	18.00	31.60	56.80
1971	83.20	250.10	226.30	162.00	0.00	0.00	0.00	4.30	0.00	0.00	96.10	111.30
1972	204.10	242.60	95.00	55.90	0.00	0.10	0.00	10.80	1.60	9.20	31.90	113.50
1973	179.80	188.60	114.40	11.10	0.00	0.00	0.00	2.20	19.60	52.10	113.70	114.50
1974	128.60	64.70	192.40	43.50	0.00	0.00	0.00	5.60	0.10	1.40	82.90	63.80
1975	131.10	213.60	95.80	120.30	0.00	0.00	0.00	1.90	3.00	5.70	81.20	108.50
1976	197.70	215.90	48.30	24.50	0.00	0.10	0.00	1.80	1.80	0.00	4.90	68.20
1977	212.10	98.00	151.20	9.80	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	0.00	4.00	175.00
1978	127.20	189.30	198.40	58.50	2.00	0.10	0.00	0.00	0.00	14.80	89.60	63.10
1979	89.20	244.00	117.40	65.90	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	49.90	108.40
1980	132.70	49.50	169.10	121.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	249.70	119.00	66.90
1981	64.50	265.70	298.20	98.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	47.30	185.70
1982	102.00	255.20	120.60	51.60	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	9.30	93.00	86.00
1983	105.20	68.70	135.30	15.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.60	135.70
1984	186.70	182.10	89.80	14.90	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	57.50	62.90	130.00
1985	139.60	266.90	101.50	19.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.60	0.90	53.60	102.10
1986	107.50	100.90	257.80	34.70	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	14.50	83.00	17.10
1987	450.90	129.00	153.20	100.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	128.00	120.40	96.90
1988	139.60	78.20	118.90	118.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.00	109.60
1989	137.70	113.70	84.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	136.00	110.50	19.20
1990	37.40	11.40	77.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.10	131.40	154.50	75.50
1991	88.40	73.30	124.60	16.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.50	19.00	45.00
1992	42.70	84.90	70.00	52.50	0.00	0.00	0.00	0.00	19.40	38.20	37.00	57.50
1993	149.80	149.80	226.50	39.80	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	87.50	70.90	119.40
1994	166.60	150.90	173.30	32.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.30	22.50	89.20
1995	135.40	112.10	69.90	75.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.80	128.80
1996	92.20	161.50	103.40	82.70	14.80	4.30	0.00	3.30	1.70	7.00	12.60	76.40
1997	45.30	256.90	58.00	39.70	0.00	0.00	0.00	0.00	20.20	70.30	69.40	362.40
1998	506.00	335.10	227.50	72.30	0.00	0.00	0.00	0.00	21.30	48.10	45.50	147.30
1999	231.00	340.00	99.50	112.00	63.70	0.00	0.00	0.00	0.00	95.60	156.80	174.50
2000	300.10	124.40	189.80	75.80	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	0.00	62.10	160.30
2001	255.40	251.90	310.60	193.50	0.00	0.00	0.00	0.00	11.10	18.90	137.40	100.50
2002	34.50	242.99	231.10	110.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	123.50	71.20
2003	197.50	155.90	174.10	35.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.50	16.00	179.50
2004	103.30	182.00	146.70	22.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.70	40.20	147.70
2005	125.30	102.30	173.80	52.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.30
2006	168.00	211.40	206.00	151.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.60	256.40
2007	167.40	181.10	209.80	84.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.40	30.20	143.90
2008	224.50	332.80	218.20	58.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	43.70	37.60
2009	177.70	205.40	185.80	45.90	3.20	0.00	0.00	4.10	3.30	50.60	42.10	41.70
Media	151.77	186.53	162.50	66.58	1.89	0.10	0.00	1.02	5.43	35.60	60.38	114.49
Desv. St	92.22	107.2	76.83	47.01	9.58	0.63	0.00	2.24	11.61	48.56	40.44	63.34

Estación Pallac (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	31.40	40.40	30.70	36.80	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	1.19	14.60
1965	52.70	32.50	135.20	12.10	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	2.10	5.30
1966	38.80	44.00	67.90	22.80	0.00	0.00	0.00	0.00	10.40	36.10	9.50	0.40
1967	98.40	128.40	75.30	17.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00	3.10	7.30
1968	9.10	26.60	38.00	18.50	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.30
1969	8.20	47.80	86.60	12.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	12.90	48.40
1970	170.00	32.50	62.50	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	3.50	19.60
1971	48.50	47.10	112.90	22.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	22.40
1972	42.40	102.80	290.20	27.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	24.60
1973	81.50	41.00	97.30	23.50	1.70	0.00	0.00	0.90	1.80	5.30	0.20	34.80
1974	31.00	74.80	70.40	11.90	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	13.40
1975	17.90	108.90	121.60	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	38.70
1976	81.00	142.70	49.80	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00
1977	45.90	211.40	129.50	14.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1978	34.00	33.60	67.70	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1979	7.00	77.30	183.40	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980	23.80	21.60	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.30	0.00	0.00
1981	43.50	94.10	152.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	52.40	42.10	62.80	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	19.40	0.00
1983	15.00	158.00	215.20	20.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
1984	18.50	124.10	164.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	12.60
1985	0.00	67.10	56.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	3.41
1986	69.90	58.20	50.30	12.50	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	60.20
1987	41.30	40.20	29.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
1988	60.80	72.20	25.50	27.50	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00
1989	79.50	168.00	89.70	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00
1990	25.50	14.50	48.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.20	19.70	55.30
1991	18.50	28.70	77.60	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	2.00	0.00
1992	0.50	34.93	12.30	2.30	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.20	2.40
1993	28.50	84.60	141.20	16.20	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	9.00	23.30
1994	53.80	62.30	114.20	27.10	2.00	0.00	0.00	0.00	2.60	0.00	11.00	14.30
1995	37.60	55.40	52.90	9.90	2.50	0.00	1.00	0.00	0.00	3.40	21.60	32.70
1996	47.30	98.00	79.70	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.40
1997	21.00	79.20	35.90	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	3.20	50.60	162.40
1998	150.00	282.61	167.40	30.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	23.90
1999	54.30	185.70	82.00	24.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	2.00	4.80
2000	83.50	135.40	75.30	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	63.40
2001	79.70	105.80	86.20	16.10	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	0.10	17.40	32.70
2002	47.20	103.20	127.70	79.80	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	8.70	33.00	6.00
2003	44.20	65.10	48.50	23.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.10
2004	10.30	73.50	34.10	21.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	3.50	34.20
2005	41.90	27.50	40.20	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.70
2006	64.10	102.10	104.40	9.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	53.40
2007	64.70	28.90	124.70	33.90	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40	1.00	5.50
2008	102.10	201.50	148.60	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	33.50	17.40
2009	150.40	152.60	159.50	23.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	10.10	10.60	19.00
Media	50.60	86.06	92.10	16.16	0.51	0.03	0.02	0.02	0.52	3.76	6.05	21.37
Desv. St	38.15	58.73	57.10	13.95	1.20	0.18	0.15	0.13	1.72	6.81	10.84	28.80

Estación Pariacancha (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	97.35	94.71	137.11	63.36	27.61	0.09	0.52	1.28	21.89	51.88	42.14	53.54
1965	144.12	139.38	132.98	36.31	1.52	0.08	2.98	4.31	25.03	40.48	31.27	64.47
1966	114.01	111.84	90.98	49.80	7.84	0.21	0.35	0.79	8.71	125.16	73.35	91.81
1967	169.91	202.23	155.62	49.01	22.00	0.09	2.50	1.49	19.49	65.72	38.80	68.63
1968	113.61	89.26	118.82	43.13	12.36	0.45	0.04	15.63	15.25	71.30	118.10	38.30
1969	65.73	125.01	110.89	41.07	6.25	0.10	4.66	9.11	28.87	48.30	93.40	150.40
1970	255.90	80.50	85.50	118.70	34.50	1.20	13.20	7.30	70.30	54.90	31.90	90.30
1971	106.50	148.50	168.00	29.00	10.50	0.00	0.50	15.10	9.20	26.40	28.10	125.60
1972	146.10	148.30	208.80	96.90	9.20	1.10	27.30	0.00	33.50	50.20	37.20	77.00
1973	205.30	135.50	142.20	100.60	125.80	0.40	5.80	21.90	44.60	80.70	54.00	149.90
1974	115.70	157.90	119.60	57.80	2.70	1.60	0.50	28.90	25.80	39.70	38.80	31.30
1975	123.50	151.20	157.90	43.00	37.90	1.20	0.00	20.90	28.70	23.30	56.30	100.70
1976	157.40	159.10	118.90	34.50	10.80	23.00	1.20	5.60	10.80	5.20	11.20	61.60
1977	76.60	166.40	80.70	17.70	26.30	0.00	0.00	0.00	29.90	17.50	98.10	94.40
1978	91.50	135.50	85.30	31.70	0.00	0.30	15.00	9.10	25.50	38.50	39.90	57.40
1979	36.50	147.10	130.60	65.30	11.60	0.00	3.00	6.20	7.90	16.90	13.50	49.00
1980	141.70	59.50	178.20	40.50	11.10	8.00	3.00	4.30	10.90	120.20	80.90	80.20
1981	165.40	215.90	140.70	17.90	1.00	0.20	0.00	19.80	11.50	32.60	92.50	93.90
1982	113.50	187.60	73.10	46.10	0.00	0.00	3.40	18.50	21.70	64.10	88.60	57.30
1983	122.60	71.00	92.00	62.80	0.00	0.00	0.00	0.00	33.60	85.20	35.00	149.60
1984	105.50	223.20	164.80	37.60	11.90	15.60	2.90	6.60	8.90	88.50	71.30	107.50
1985	47.40	143.90	122.00	74.30	24.50	7.70	1.30	0.00	52.70	7.20	45.70	87.50
1986	176.00	144.60	145.50	67.00	31.00	0.00	1.50	20.70	0.00	15.60	59.90	162.10
1987	173.80	113.20	90.80	31.40	5.80	0.00	3.90	13.70	21.20	24.00	62.70	135.90
1988	173.80	132.50	129.60	105.50	22.80	0.00	0.00	6.20	31.30	49.90	37.10	95.10
1989	171.90	193.40	157.50	51.80	19.30	7.20	11.20	11.50	21.50	75.00	7.70	7.40
1990	130.60	43.50	51.30	28.60	14.50	15.90	0.00	3.00	5.60	132.30	110.20	61.00
1991	47.90	76.90	134.90	36.40	25.80	0.00	4.00	0.00	19.50	82.00	30.30	47.90
1992	39.40	47.00	121.10	46.40	5.50	0.00	6.50	0.00	7.00	62.40	19.40	47.90
1993	137.60	115.70	173.20	94.30	19.30	0.00	1.40	2.50	24.90	57.40	99.80	148.30
1994	151.60	141.80	163.00	50.74	33.30	4.50	2.00	0.00	29.40	19.90	50.40	59.50
1995	103.60	70.60	129.30	59.80	17.30	4.20	1.00	12.20	26.00	48.30	39.80	115.80
1996	105.90	146.70	129.30	58.30	20.90	0.00	0.00	3.60	21.90	37.30	36.30	75.00
1997	117.20	165.60	32.80	20.90	14.15	2.20	2.70	12.60	39.80	35.90	71.50	110.00
1998	175.70	113.10	152.70	37.30	0.70	5.00	0.00	4.90	24.10	65.70	30.10	46.40
1999	113.40	226.50	125.70	53.00	28.60	9.10	1.40	5.30	32.70	63.20	54.20	119.80
2000	181.70	187.80	160.30	35.00	28.30	0.00	2.30	14.40	37.70	79.60	72.40	171.60
2001	156.00	107.50	180.50	36.40	6.40	0.00	7.40	0.00	56.10	38.00	92.10	43.60
2002	82.90	95.20	140.90	73.10	8.80	7.10	2.90	1.10	23.50	126.09	82.50	88.20
2003	73.70	134.00	157.50	49.20	5.80	1.00	0.00	3.30	9.80	34.10	24.60	103.30
2004	22.90	110.00	76.70	53.30	8.60	6.50	1.70	3.20	30.70	73.50	68.80	127.30
2005	107.60	59.80	109.40	48.50	0.70	0.00	0.00	6.20	2.10	20.60	28.40	83.90
2006	108.90	102.70	188.60	41.60	0.00	4.10	0.00	4.00	27.69	42.30	73.20	150.47
2007	126.60	97.70	172.30	73.30	27.72	0.00	0.00	2.80	10.00	62.50	36.30	70.00
2008	138.10	148.00	115.10	36.80	0.30	0.90	2.30	8.20	10.30	76.40	42.60	123.00
2009	146.30	174.90	151.20	74.70	18.90	0.30	0.45	8.20	18.03	79.20	132.50	108.40
Media	123.46	131.35	130.52	52.62	16.52	2.81	3.06	7.49	23.38	55.55	56.15	90.92
Desv. St	47.04	45.86	37.00	23.08	19.77	4.96	4.99	7.23	14.32	31.30	29.97	39.09

Estación Pirca (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	107.68	58.53	96.27	56.29	20.63	0.00	0.00	0.05	3.25	32.14	25.89	33.88
1965	96.57	95.04	106.38	10.89	0.01	0.00	0.00	0.12	0.78	4.12	2.99	33.62
1966	79.18	111.86	178.65	35.57	0.08	0.00	0.00	0.00	0.05	40.86	19.31	30.73
1967	114.27	189.42	197.96	18.58	9.20	1.30	0.00	1.20	1.20	54.00	15.70	3.60
1968	29.80	24.20	94.60	8.60	0.00	0.00	0.00	2.60	0.00	32.30	14.60	37.50
1969	14.70	124.10	193.80	57.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	8.70	30.00	166.00
1970	163.20	10.30	37.40	11.70	29.90	0.00	0.00	0.00	16.40	13.90	34.60	19.80
1971	16.90	42.40	115.60	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	0.00	45.90
1972	59.40	173.30	238.80	109.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	100.40
1973	140.10	81.60	205.70	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.60	7.70	54.20
1974	120.80	139.80	144.80	12.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	0.00	0.00
1975	64.80	119.20	171.90	76.80	16.30	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.20
1976	161.80	234.40	262.80	54.90	14.70	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1977	186.00	101.90	159.60	46.60	9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.20	31.10
1978	36.50	56.90	34.00	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.70	42.90
1979	234.70	235.40	179.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90
1980	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.90	105.20
1981	131.80	211.10	309.50	0.00	0.00	0.00	0.00	31.50	4.70	10.60	175.30	253.80
1982	267.70	225.10	163.30	72.60	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	118.50	90.00	62.40
1983	19.90	10.40	128.70	281.60	32.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.40	115.90
1984	117.20	209.40	366.00	119.10	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	37.90	21.90	81.80
1985	87.20	304.10	325.10	51.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.00
1986	333.10	270.90	327.40	43.50	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.60
1987	128.20	151.80	44.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.20
1988	81.80	71.80	116.40	137.70	31.00	0.00	0.00	0.00	21.80	71.90	53.00	89.20
1989	218.10	275.80	344.90	21.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.80	24.70	16.40
1990	188.60	94.40	82.60	70.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.20	143.50	287.40
1991	75.20	26.50	16.50	24.50	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.80	0.00
1992	0.00	5.03	262.50	17.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	107.00	0.00	30.60
1993	82.10	87.60	150.30	18.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	66.80	92.20	124.70
1994	241.10	110.10	240.50	44.80	24.60	0.00	0.00	0.00	15.80	13.70	0.00	31.80
1995	93.90	26.60	164.40	48.40	0.00	0.00	0.00	12.40	10.00	11.00	68.60	131.90
1996	90.00	236.20	152.00	73.10	0.00	0.00	0.00	3.60	8.20	10.90	17.90	54.50
1997	106.80	106.40	43.50	11.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	23.40	13.59	152.50
1998	115.30	116.90	141.00	37.70	0.00	3.20	0.00	3.80	16.70	40.30	17.20	38.20
1999	77.60	239.30	93.80	53.30	36.10	0.00	0.00	4.50	13.40	33.60	26.80	93.60
2000	142.80	200.00	109.30	43.20	22.50	0.00	0.00	4.70	25.50	37.10	42.30	121.80
2001	134.90	95.00	200.80	24.90	4.60	1.20	1.20	0.00	22.90	25.20	88.80	20.10
2002	47.90	96.00	86.40	55.90	6.40	2.70	0.00	1.20	13.50	47.80	73.50	64.30
2003	78.90	77.30	150.90	26.70	6.60	0.00	0.00	0.00	1.70	27.10	5.30	128.20
2004	17.40	105.10	59.40	34.90	4.50	3.00	0.00	0.00	14.20	35.50	69.50	120.70
2005	81.60	66.80	120.20	25.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	9.80	83.50
2006	72.80	116.40	155.60	20.36	0.00	1.20	0.00	1.40	6.60	18.50	58.50	127.90
2007	73.20	80.90	188.00	65.60	0.95	0.00	0.00	2.50	2.80	31.90	12.70	24.50
2008	81.00	104.70	113.40	31.60	0.00	1.70	0.00	8.10	3.20	42.80	45.80	56.80
2009	156.80	164.30	154.60	63.30	3.80	0.00	0.00	1.70	4.18	58.80	63.20	87.60
Media	108.03	123.57	157.17	45.55	6.13	0.62	0.06	1.73	4.94	27.93	34.58	78.71
Desv. St	71.9	79.73	88.04	47.42	10.40	2.20	0.27	5.09	7.16	30.04	39.82	64.31

Estación Río Pallanga (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	177.90	235.90	201.90	49.10	22.30	48.70	19.10	49.80	48.30	90.70	33.90	4.80
1965	75.30	155.90	149.30	28.00	26.90	5.10	25.10	36.10	61.00	101.80	114.40	148.60
1966	125.70	71.90	68.90	35.90	19.10	30.80	2.60	5.70	7.80	55.10	58.90	160.70
1967	166.10	115.80	71.70	23.20	40.30	5.40	0.10	19.00	82.90	77.30	26.20	30.00
1968	28.40	11.90	63.10	22.10	35.30	6.60	19.70	10.40	59.60	72.90	156.00	56.40
1969	75.50	174.30	112.00	118.00	47.10	11.30	28.60	31.00	93.00	145.70	75.60	174.60
1970	190.50	121.90	93.60	174.60	35.70	10.30	8.20	5.60	75.10	47.30	37.00	161.90
1971	80.00	147.50	155.60	50.00	9.50	1.00	4.60	9.70	27.20	102.90	32.80	159.70
1972	129.90	121.50	176.60	115.50	5.80	26.00	36.20	8.50	75.80	60.00	49.30	106.00
1973	208.30	153.00	157.70	110.80	43.50	11.60	12.50	15.10	61.60	85.40	65.70	128.90
1974	136.60	187.50	108.60	96.00	3.10	8.30	10.20	43.20	62.90	18.40	26.40	31.20
1975	145.90	235.60	346.80	61.70	318.20	29.20	0.00	38.40	101.90	139.10	99.80	152.00
1976	285.80	165.40	172.10	54.00	45.50	9.30	12.30	16.70	42.80	23.30	37.80	98.70
1977	100.70	145.14	81.50	30.60	56.80	0.00	2.10	1.40	31.20	78.30	141.90	82.40
1978	131.10	147.20	135.70	26.80	3.70	28.80	26.40	40.40	66.40	29.30	73.40	130.00
1979	53.30	172.00	223.70	57.80	19.00	6.80	16.90	9.50	12.20	17.50	54.60	36.50
1980	45.60	89.40	211.00	25.20	19.80	5.20	23.90	6.80	53.50	145.90	100.10	72.60
1981	159.10	223.70	133.50	51.60	5.20	5.50	3.70	25.70	58.30	33.50	39.80	123.30
1982	70.10	84.40	67.60	43.20	3.00	0.70	11.90	36.10	26.30	57.40	88.60	66.50
1983	91.00	68.10	104.00	47.50	8.70	13.30	0.00	1.40	22.80	36.20	41.80	124.40
1984	82.70	175.00	157.00	27.70	19.80	14.60	3.40	6.40	32.30	40.20	23.00	22.80
1985	29.70	84.30	93.00	113.80	61.40	34.70	2.90	7.80	28.30	0.00	50.00	40.70
1986	55.20	75.00	98.10	45.40	19.70	0.00	17.90	15.60	17.60	16.60	36.50	78.40
1987	105.40	94.60	47.60	14.30	5.20	4.00	10.60	12.80	12.40	16.00	35.70	65.60
1988	108.10	138.30	83.40	73.60	8.80	0.00	0.60	2.00	4.90	33.90	30.10	93.60
1989	107.90	113.60	126.70	50.00	22.30	29.70	17.00	55.90	41.50	52.20	19.30	19.00
1990	111.10	21.50	65.40	29.20	44.10	69.90	3.90	16.90	42.30	97.90	97.80	91.50
1991	36.60	81.90	103.20	39.60	31.50	17.70	19.40	0.20	33.30	72.20	40.90	20.80
1992	34.50	51.00	106.50	40.40	13.40	17.80	11.30	24.50	8.50	70.90	40.70	2.70
1993	95.40	110.60	88.70	95.80	25.50	8.50	7.00	27.00	4.40	34.90	81.90	58.00
1994	92.40	90.50	103.70	60.20	25.60	9.80	9.10	16.70	31.60	35.80	64.20	78.40
1995	91.20	47.00	110.10	33.00	22.30	4.10	3.40	12.30	84.50	58.60	75.70	63.60
1996	117.80	124.50	98.90	60.10	23.40	0.50	1.10	21.20	28.80	52.30	56.00	99.50
1997	114.60	199.80	70.20	41.60	27.80	0.00	10.10	62.10	67.10	42.80	136.60	153.90
1998	167.50	175.30	138.80	50.70	5.30	30.70	0.00	24.50	39.00	108.90	41.20	84.20
1999	126.40	289.50	133.70	128.30	29.20	41.40	23.40	6.20	57.50	65.80	105.00	130.70
2000	240.10	189.40	188.10	51.30	40.90	1.40	15.40	59.60	57.70	130.40	96.60	170.90
2001	196.40	257.10	244.20	46.50	23.30	5.90	22.20	25.30	60.30	78.30	109.60	58.90
2002	99.70	73.00	183.30	81.70	37.70	13.70	34.70	24.10	65.20	98.30	123.70	84.00
2003	98.60	166.10	185.80	105.60	43.10	9.90	11.00	32.10	22.40	35.50	74.10	213.90
2004	32.00	143.20	95.70	25.30	15.50	12.00	8.80	29.80	79.80	112.20	75.90	135.20
2005	75.90	80.50	114.00	43.90	14.70	6.10	2.00	20.70	24.00	33.10	33.40	120.90
2006	182.40	102.60	224.60	86.40	1.40	20.10	7.90	47.10	46.50	89.00	97.80	198.00
2007	123.00	86.90	116.50	64.80	33.40	3.80	5.70	12.80	50.60	100.80	47.50	69.20
2008	155.70	150.80	119.70	56.60	5.70	10.80	10.40	13.40	22.50	77.70	52.60	72.50
2009	129.40	175.20	145.90	99.70	48.00	4.90	13.60	33.70	56.20	98.00	149.80	204.90
Media	114.92	133.16	132.12	60.59	30.82	13.82	11.67	22.20	45.43	66.75	68.47	97.41
Desv. St	56.6	61.18	58.11	34.56	46.04	14.55	9.48	16.19	24.83	36.96	36.73	55.03

Estación Santa Cruz (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	49.20	80.40	121.20	72.20	3.30	0.00	0.00	0.00	0.70	30.30	19.70	43.60
1965	84.80	114.60	101.60	27.70	0.40	0.00	0.30	2.00	18.40	27.60	17.40	48.20
1966	59.20	79.90	82.40	42.80	5.90	0.00	0.35	0.00	0.00	93.30	47.90	72.60
1967	125.00	160.10	149.20	19.20	6.30	0.00	2.10	0.90	5.90	77.50	35.80	20.80
1968	59.00	55.20	117.30	23.98	2.54	0.00	0.00	7.00	15.80	38.80	26.00	42.50
1969	37.40	112.80	92.80	31.00	7.00	0.00	1.30	10.00	10.30	47.61	81.71	113.57
1970	178.48	93.59	39.90	75.00	24.90	0.00	1.40	0.60	46.90	19.50	39.80	98.80
1971	94.50	109.80	152.60	28.80	0.00	0.00	0.00	9.40	7.30	24.40	22.50	116.60
1972	78.50	115.10	257.00	57.70	2.50	0.00	5.70	1.30	4.70	33.40	34.40	83.40
1973	150.30	107.10	215.20	104.50	14.40	1.40	4.50	9.80	17.20	43.80	30.60	254.50
1974	132.10	199.00	146.10	33.20	5.60	5.30	6.90	4.30	15.30	11.80	18.90	60.70
1975	115.90	35.50	197.00	21.30	49.30	18.30	0.00	6.00	7.90	13.80	41.00	80.10
1976	144.20	168.30	108.40	65.60	11.10	3.00	0.00	6.80	2.10	0.00	6.74	23.52
1977	19.80	177.70	89.60	17.70	26.90	0.00	0.00	0.00	12.20	3.50	119.40	156.20
1978	46.60	66.90	72.80	3.00	0.00	4.20	21.30	0.00	12.10	42.80	53.40	41.00
1979	23.20	121.70	124.70	27.70	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	18.10	10.80	50.60
1980	80.20	50.20	65.30	33.80	2.50	5.20	8.50	0.00	2.30	75.60	70.90	39.20
1981	96.40	203.80	164.00	12.00	0.00	0.00	9.50	4.80	4.50	45.51	80.80	68.30
1982	102.30	169.80	109.40	44.90	0.00	0.00	7.40	3.90	12.40	163.50	77.90	38.60
1983	45.60	42.80	149.10	15.20	2.10	4.40	0.00	0.00	12.70	78.40	27.20	137.30
1984	38.70	225.80	208.10	43.20	43.00	0.00	0.00	1.40	16.70	47.40	77.10	54.50
1985	7.40	105.20	97.90	78.70	23.00	1.30	0.00	6.90	7.80	22.70	44.70	60.90
1986	143.40	136.20	113.40	84.70	34.40	0.00	16.90	3.00	0.00	10.74	21.90	113.57
1987	160.30	106.90	48.10	2.10	1.60	0.00	0.00	4.10	5.90	4.00	14.50	35.30
1988	111.40	166.30	67.10	112.40	18.90	0.00	0.00	8.10	15.20	0.00	41.83	99.22
1989	106.30	122.40	157.00	163.50	65.50	5.60	9.90	12.30	12.50	51.40	5.70	0.00
1990	30.30	9.10	51.70	5.50	13.70	0.49	0.00	0.00	0.00	96.80	80.80	29.00
1991	34.90	47.30	89.00	0.00	29.30	0.00	0.00	0.00	10.30	31.00	33.20	51.50
1992	5.80	36.21	45.80	54.30	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	49.00	0.00	22.40
1993	67.90	73.70	191.10	59.70	13.90	0.00	1.80	0.00	7.20	53.10	68.92	89.00
1994	96.20	133.10	136.40	52.00	27.30	0.00	0.00	2.00	18.40	18.00	56.90	68.60
1995	98.70	33.00	92.30	50.60	5.50	0.00	2.00	3.00	18.67	45.40	49.20	81.80
1996	129.00	129.93	107.04	46.06	8.30	0.00	0.00	1.19	9.10	26.80	31.80	59.60
1997	102.40	148.60	35.60	7.80	4.60	0.00	0.00	0.60	9.80	28.90	88.20	141.20
1998	138.00	112.30	157.30	24.20	0.00	0.00	0.00	2.60	15.80	55.50	25.10	54.20
1999	74.70	230.50	87.10	54.10	40.60	5.00	3.50	3.80	25.00	41.10	38.00	100.90
2000	147.80	195.00	118.00	55.80	13.80	0.00	1.00	3.60	26.40	35.20	44.10	139.40
2001	141.70	94.30	206.30	33.70	3.90	0.00	1.40	0.00	14.70	25.30	104.20	28.10
2002	90.80	98.50	91.30	64.30	7.90	0.00	1.60	0.00	7.60	109.30	97.20	81.10
2003	105.30	103.30	176.80	32.40	4.10	0.00	2.10	2.40	0.00	29.50	4.00	142.10
2004	28.60	104.60	71.20	26.10	0.60	1.40	5.40	0.00	14.00	52.10	75.80	138.40
2005	82.80	54.40	140.80	21.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.60	9.60	80.70
2006	100.00	141.00	158.60	32.02	0.00	1.20	0.00	0.00	10.20	23.81	40.16	125.60
2007	115.40	75.90	178.20	129.10	34.90	0.00	0.00	7.10	12.30	51.10	26.21	44.37
2008	88.70	126.62	91.88	52.40	0.00	0.16	0.00	11.00	1.60	47.20	64.60	75.30
2009	151.70	200.80	117.00	70.30	6.30	0.00	0.37	2.60	4.85	56.20	68.90	94.40
Media	89.58	114.68	121.54	45.96	12.32	1.24	2.50	3.10	10.62	41.51	45.12	78.29
Desv. St	44.53	54.4	51.42	33.94	15.50	3.09	4.55	3.54	8.55	31.24	29.25	46.95

Estación Tupe (mm/mes)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	135.25	87.71	201.54	78.40	3.98	0.38	0.01	0.00	1.25	39.71	56.77	45.35
1965	79.15	161.38	78.68	65.69	0.12	0.00	0.02	0.02	0.41	28.05	35.66	72.41
1966	125.79	110.05	136.68	33.09	0.02	0.00	0.09	0.03	1.09	73.29	109.09	78.31
1967	28.75	207.59	90.33	109.03	11.96	0.48	0.00	0.43	10.17	28.03	45.45	29.24
1968	62.28	58.48	124.96	152.80	0.29	0.00	0.00	0.00	1.03	44.31	142.82	30.80
1969	122.05	195.05	58.05	14.05	0.09	0.01	0.67	0.00	13.00	40.60	92.40	167.35
1970	0.00	0.00	320.00	140.60	21.80	0.00	0.00	0.00	30.60	87.50	88.90	152.30
1971	119.60	125.20	170.30	68.30	4.00	0.00	11.40	7.80	6.80	9.60	17.90	99.20
1972	153.30	138.40	263.30	60.30	0.00	0.00	7.90	0.00	0.00	38.30	49.50	80.20
1973	122.30	97.20	109.70	117.40	0.00	0.00	4.20	9.20	30.20	6.60	50.80	143.00
1974	116.10	125.90	64.50	41.90	0.00	0.00	1.60	0.00	19.40	16.40	34.80	45.80
1975	103.50	111.70	198.60	53.00	38.90	13.60	0.00	18.20	19.90	20.40	40.10	69.00
1976	135.10	156.70	126.80	46.20	14.00	14.50	0.00	12.70	21.60	12.70	19.10	67.20
1977	115.90	159.90	81.10	31.50	33.10	0.00	0.00	0.00	14.50	20.60	73.50	78.40
1978	103.30	160.40	64.70	44.20	0.00	0.00	1.80	0.00	37.80	41.70	69.70	66.10
1979	40.10	126.30	139.50	55.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	5.60	4.90	6.20
1980	18.80	15.08	26.06	9.04	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	15.40	63.40	88.60
1981	142.10	211.70	215.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.60	115.50	145.80
1982	137.90	246.80	215.20	110.40	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	9.60	36.90	84.90
1983	179.80	79.80	179.20	0.00	0.00	3.60	0.00	0.00	0.00	49.20	38.00	178.80
1984	132.80	263.60	210.39	40.60	9.60	1.80	0.00	0.00	0.00	94.00	112.00	4.80
1985	0.00	202.00	219.00	78.40	0.00	0.00	0.00	0.20	9.02	4.00	4.80	121.60
1986	172.80	193.20	136.20	102.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	4.40	44.05	74.20
1987	238.90	159.40	15.80	80.60	20.00	0.00	0.00	0.47	2.22	5.55	98.08	62.06
1988	140.80	104.60	118.20	211.08	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80	39.60	50.00	106.10
1989	197.60	191.30	200.20	85.40	0.00	0.00	0.00	0.00	18.40	62.90	20.00	45.10
1990	94.80	98.40	102.80	0.40	0.00	2.60	0.00	1.40	2.80	125.20	136.80	15.90
1991	124.80	62.40	186.00	56.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.23	20.93	48.06
1992	104.56	0.50	283.52	75.31	0.01	0.16	0.01	0.00	0.40	32.83	36.48	56.41
1993	109.83	105.89	115.14	128.00	0.08	0.00	0.05	0.03	18.70	42.37	118.85	177.54
1994	138.64	98.55	208.34	18.54	1.45	1.08	0.00	0.09	8.67	13.33	55.48	20.69
1995	104.38	35.24	108.99	115.27	0.39	0.05	0.00	0.29	4.60	21.11	35.09	92.34
1996	141.12	214.99	67.19	34.46	0.11	0.22	0.00	0.32	9.18	18.56	27.04	87.08
1997	111.86	184.20	39.36	1.99	0.17	0.85	0.52	0.08	25.64	16.12	62.21	98.29
1998	111.20	137.89	88.70	11.17	0.08	0.39	0.00	0.02	5.55	32.99	36.53	45.00
1999	61.06	215.72	83.02	37.52	13.45	370.10	0.06	0.09	4.28	43.01	55.97	134.61
2000	135.06	215.97	50.85	1.86	3.00	0.05	0.01	0.01	75.43	33.14	70.52	193.36
2001	206.45	139.76	236.06	77.49	4.06	0.17	0.01	0.03	43.89	8.76	78.10	44.69
2002	112.74	90.06	105.68	31.92	0.67	0.18	0.04	0.00	5.68	142.79	119.97	85.55
2003	205.97	123.61	108.42	42.76	1.99	1.84	0.01	0.06	2.72	20.70	21.04	80.07
2004	193.99	128.61	159.65	17.35	3.10	1.54	0.05	0.16	37.38	35.53	68.68	145.17
2005	245.99	52.75	169.67	45.82	0.09	0.00	0.00	0.45	0.24	20.06	19.43	92.76
2006	166.45	176.81	156.41	39.09	0.02	0.36	0.00	0.00	7.08	50.02	81.34	193.35
2007	243.17	112.78	165.10	85.34	0.09	0.04	0.00	0.06	5.99	41.28	50.68	54.28
2008	86.33	175.37	127.28	61.66	0.00	0.87	0.23	0.21	2.08	45.35	45.80	95.43
2009	137.91	213.16	164.84	80.58	7.70	1.51	0.00	0.00	2.49	46.49	151.79	78.72
Media	125.22	136.35	141.13	60.70	4.22	9.05	0.62	1.18	11.22	36.55	61.02	86.57
Desv. St	57.46	63.77	69.19	45.43	8.70	54.49	2.10	3.59	15.02	30.31	37.52	49.02

ANEXO 2:

Determinación del almacenamiento requerido - Método analítico

Fecha	Oferta	Demanda	D-O+V
	hm3	hm3	hm3
ene-64	1.3	0.9	0.0
feb-64	2.0	1.2	0.0
mar-64	3.6	2.0	0.0
abr-64	2.0	1.2	0.0
may-64	1.0	0.8	0.0
jun-64	0.6	0.6	0.0
jul-64	0.4	0.5	0.1
ago-64	0.3	0.7	0.5
sep-64	0.3	0.8	0.9
oct-64	0.5	0.9	1.3
nov-64	0.6	0.9	1.5
dic-64	0.6	0.7	1.6
ene-65	1.7	0.9	0.9
feb-65	3.1	1.2	0.0
mar-65	3.1	2.0	0.0
abr-65	1.3	1.2	0.0
may-65	0.6	0.8	0.2
jun-65	0.4	0.6	0.4
jul-65	0.3	0.5	0.6
ago-65	0.3	0.7	1.0
sep-65	0.3	0.8	1.5
oct-65	0.4	0.9	2.0
nov-65	0.4	0.9	2.4
dic-65	0.8	0.7	2.3
ene-66	1.8	0.9	1.5
feb-66	2.3	1.2	0.5
mar-66	2.4	2.0	0.0
abr-66	1.3	1.2	0.0
may-66	0.6	0.8	0.2
jun-66	0.4	0.6	0.4
jul-66	0.3	0.5	0.6
ago-66	0.2	0.7	1.1
sep-66	0.2	0.8	1.7
oct-66	0.7	0.9	1.8
nov-66	1.1	0.9	1.6
dic-66	1.6	0.7	0.7
ene-67	2.8	0.9	0.0
feb-67	5.0	1.2	0.0
mar-67	4.0	2.0	0.0
abr-67	1.8	1.2	0.0
may-67	0.9	0.8	0.0
jun-67	0.5	0.6	0.1
jul-67	0.4	0.5	0.2
ago-67	0.3	0.7	0.7

Fecha	Oferta	Demanda	D-O+V
	hm3	hm3	hm3
ago-67	0.3	0.7	0.7
sep-67	0.3	0.8	1.1
oct-67	0.5	0.9	1.5
nov-67	0.5	0.9	1.8
dic-67	0.7	0.7	1.9
ene-68	1.2	0.9	1.6
feb-68	1.2	1.2	1.6
mar-68	2.2	2.0	1.5
abr-68	1.5	1.2	1.1
may-68	0.6	0.8	1.3
jun-68	0.4	0.6	1.5
jul-68	0.3	0.5	1.7
ago-68	0.3	0.7	2.1
sep-68	0.3	0.8	2.6
oct-68	0.5	0.9	3.0
nov-68	1.5	0.9	2.3
dic-68	0.9	0.7	2.2
ene-69	1.2	0.9	1.9
feb-69	2.8	1.2	0.3
mar-69	2.7	2.0	0.0
abr-69	1.3	1.2	0.0
may-69	0.6	0.8	0.2
jun-69	0.4	0.6	0.4
jul-69	0.3	0.5	0.5
ago-69	0.3	0.7	1.0
sep-69	0.3	0.8	1.5
oct-69	0.5	0.9	1.8
nov-69	1.1	0.9	1.6
dic-69	2.9	0.7	0.0
ene-70	4.9	0.9	0.0
feb-70	2.0	1.2	0.0
mar-70	3.1	2.0	0.0
abr-70	3.1	1.2	0.0
may-70	1.3	0.8	0.0
jun-70	0.6	0.6	0.0
jul-70	0.5	0.5	0.0
ago-70	0.4	0.7	0.4
sep-70	0.6	0.8	0.6
oct-70	0.8	0.9	0.6
nov-70	0.8	0.9	0.7
dic-70	1.6	0.7	0.0
ene-71	2.0	0.9	0.0
feb-71	3.0	1.2	0.0
mar-71	4.2	2.0	0.0

abr-71	1.4	1.2	0.0	ene-75	1.4	0.9	2.0
may-71	0.7	0.8	0.1	feb-75	3.0	1.2	0.2
jun-71	0.4	0.6	0.3	mar-75	4.9	2.0	0.0
jul-71	0.3	0.5	0.4	abr-75	1.8	1.2	0.0
ago-71	0.3	0.7	0.8	may-75	1.7	0.8	0.0
sep-71	0.3	0.8	1.4	jun-75	0.7	0.6	0.0
oct-71	0.3	0.9	1.9	jul-75	0.4	0.5	0.0
nov-71	0.3	0.9	2.5	ago-75	0.4	0.7	0.3
dic-71	1.1	0.7	2.1	sep-75	0.5	0.8	0.7
ene-72	2.6	0.9	0.4	oct-75	0.5	0.9	1.0
feb-72	3.5	1.2	0.0	nov-75	0.6	0.9	1.3
mar-72	6.1	2.0	0.0	dic-75	1.4	0.7	0.6
abr-72	3.0	1.2	0.0	ene-76	3.3	0.9	0.0
may-72	0.8	0.8	0.0	feb-76	4.4	1.2	0.0
jun-72	0.5	0.6	0.1	mar-76	3.9	2.0	0.0
jul-72	0.5	0.5	0.0	abr-76	1.5	1.2	0.0
ago-72	0.3	0.7	0.4	may-76	0.8	0.8	0.0
sep-72	0.4	0.8	0.8	jun-76	0.6	0.6	0.0
oct-72	0.5	0.9	1.1	jul-76	0.4	0.5	0.1
nov-72	0.5	0.9	1.5	ago-76	0.3	0.7	0.5
dic-72	1.0	0.7	1.1	sep-76	0.3	0.8	1.0
ene-73	3.5	0.9	0.0	oct-76	0.3	0.9	1.6
feb-73	3.3	1.2	0.0	nov-76	0.2	0.9	2.2
mar-73	3.8	2.0	0.0	dic-76	0.4	0.7	2.5
abr-73	2.9	1.2	0.0	ene-77	1.1	0.9	2.3
may-73	2.3	0.8	0.0	feb-77	3.0	1.2	0.5
jun-73	0.7	0.6	0.0	mar-77	2.3	2.0	0.3
jul-73	0.5	0.5	0.0	abr-77	1.0	1.2	0.5
ago-73	0.5	0.7	0.3	may-77	0.8	0.8	0.6
sep-73	0.6	0.8	0.5	jun-77	0.4	0.6	0.7
oct-73	0.9	0.9	0.5	jul-77	0.3	0.5	0.9
nov-73	0.9	0.9	0.5	ago-77	0.2	0.7	1.4
dic-73	2.3	0.7	0.0	sep-77	0.3	0.8	2.0
ene-74	2.7	0.9	0.0	oct-77	0.3	0.9	2.5
feb-74	3.9	1.2	0.0	nov-77	0.8	0.9	2.6
mar-74	3.0	2.0	0.0	dic-77	1.3	0.7	2.0
abr-74	1.7	1.2	0.0	ene-78	1.7	0.9	1.2
may-74	0.6	0.8	0.2	feb-78	2.9	1.2	0.0
jun-74	0.4	0.6	0.3	mar-78	2.1	2.0	0.0
jul-74	0.3	0.5	0.5	abr-78	1.0	1.2	0.2
ago-74	0.4	0.7	0.8	may-78	0.5	0.8	0.5
sep-74	0.4	0.8	1.2	jun-78	0.3	0.6	0.7
oct-74	0.4	0.9	1.7	jul-78	0.3	0.5	0.9
nov-74	0.4	0.9	2.1	ago-78	0.3	0.7	1.4
dic-74	0.4	0.7	2.4	sep-78	0.3	0.8	1.8

abr-86	2.2	1.2	0.0	ene-90	1.4	0.9	1.3
may-86	1.0	0.8	0.0	feb-90	1.2	1.2	1.3
jun-86	0.5	0.6	0.1	mar-90	1.3	2.0	2.0
jul-86	0.4	0.5	0.2	abr-90	0.8	1.2	2.5
ago-86	0.4	0.7	0.6	may-90	0.5	0.8	2.8
sep-86	0.3	0.8	1.1	jun-90	0.4	0.6	2.9
oct-86	0.2	0.9	1.7	jul-90	0.3	0.5	3.1
nov-86	0.4	0.9	2.2	ago-90	0.2	0.7	3.6
dic-86	1.7	0.7	1.3	sep-90	0.2	0.8	4.2
ene-87	3.8	0.9	0.0	oct-90	1.0	0.9	4.1
feb-87	3.3	1.2	0.0	nov-90	2.0	0.9	2.9
mar-87	1.9	2.0	0.1	dic-90	1.7	0.7	2.0
abr-87	1.1	1.2	0.2	ene-91	1.4	0.9	1.5
may-87	0.6	0.8	0.4	feb-91	1.5	1.2	1.3
jun-87	0.4	0.6	0.6	mar-91	2.7	2.0	0.5
jul-87	0.3	0.5	0.8	abr-91	1.3	1.2	0.5
ago-87	0.3	0.7	1.2	may-91	0.7	0.8	0.6
sep-87	0.3	0.8	1.8	jun-91	0.4	0.6	0.7
oct-87	0.2	0.9	2.4	jul-91	0.3	0.5	0.9
nov-87	0.5	0.9	2.8	ago-91	0.2	0.7	1.4
dic-87	1.3	0.7	2.2	sep-91	0.2	0.8	1.9
ene-88	3.0	0.9	0.1	oct-91	0.5	0.9	2.3
feb-88	3.1	1.2	0.0	nov-91	0.4	0.9	2.7
mar-88	3.2	2.0	0.0	dic-91	0.5	0.7	2.9
abr-88	3.4	1.2	0.0	ene-92	0.6	0.9	3.3
may-88	1.0	0.8	0.0	feb-92	0.5	1.2	3.9
jun-88	0.5	0.6	0.1	mar-92	2.6	2.0	3.4
jul-88	0.4	0.5	0.2	abr-92	1.4	1.2	3.2
ago-88	0.3	0.7	0.6	may-92	0.5	0.8	3.4
sep-88	0.3	0.8	1.1	jun-92	0.4	0.6	3.7
oct-88	0.5	0.9	1.5	jul-92	0.3	0.5	3.8
nov-88	0.5	0.9	1.8	ago-92	0.2	0.7	4.3
dic-88	1.2	0.7	1.3	sep-92	0.2	0.8	5.0
ene-89	3.5	0.9	0.0	oct-92	0.4	0.9	5.4
feb-89	5.2	1.2	0.0	nov-92	0.3	0.9	5.9
mar-89	5.3	2.0	0.0	dic-92	0.5	0.7	6.2
abr-89	2.0	1.2	0.0	ene-93	1.5	0.9	5.6
may-89	0.8	0.8	0.0	feb-93	2.2	1.2	4.6
jun-89	0.6	0.6	0.0	mar-93	3.6	2.0	3.0
jul-89	0.4	0.5	0.1	abr-93	2.6	1.2	1.6
ago-89	0.4	0.7	0.4	may-93	0.8	0.8	1.6
sep-89	0.4	0.8	0.9	jun-93	0.5	0.6	1.7
oct-89	0.7	0.9	1.0	jul-93	0.3	0.5	1.9
nov-89	0.4	0.9	1.4	ago-93	0.3	0.7	2.3
dic-89	0.4	0.7	1.8	sep-93	0.3	0.8	2.8

oct-93	0.5	0.9	3.2	jul-97	0.3	0.5	1.9
nov-93	1.2	0.9	2.9	ago-97	0.3	0.7	2.4
dic-93	2.7	0.7	0.9	sep-97	0.3	0.8	2.8
ene-94	3.7	0.9	0.0	oct-97	0.4	0.9	3.3
feb-94	3.4	1.2	0.0	nov-97	0.7	0.9	3.5
mar-94	4.7	2.0	0.0	dic-97	1.7	0.7	2.5
abr-94	1.7	1.2	0.0	ene-98	3.2	0.9	0.2
may-94	1.0	0.8	0.0	feb-98	3.2	1.2	0.0
jun-94	0.5	0.6	0.1	mar-98	3.6	2.0	0.0
jul-94	0.4	0.5	0.2	abr-98	1.3	1.2	0.0
ago-94	0.3	0.7	0.6	may-98	0.5	0.8	0.3
sep-94	0.3	0.8	1.1	jun-98	0.4	0.6	0.4
oct-94	0.3	0.9	1.6	jul-98	0.3	0.5	0.6
nov-94	0.4	0.9	2.1	ago-98	0.3	0.7	1.1
dic-94	0.6	0.7	2.2	sep-98	0.3	0.8	1.6
ene-95	1.4	0.9	1.8	oct-98	0.5	0.9	2.0
feb-95	1.2	1.2	1.8	nov-98	0.5	0.9	2.3
mar-95	2.4	2.0	1.4	dic-98	0.6	0.7	2.5
abr-95	1.7	1.2	0.9	ene-99	1.3	0.9	2.1
may-95	0.7	0.8	1.0	feb-99	5.2	1.2	0.0
jun-95	0.4	0.6	1.1	mar-99	3.4	2.0	0.0
jul-95	0.3	0.5	1.3	abr-99	1.8	1.2	0.0
ago-95	0.3	0.7	1.7	may-99	1.0	0.8	0.0
sep-95	0.3	0.8	2.2	jun-99	1.6	0.6	0.0
oct-95	0.4	0.9	2.6	jul-99	0.6	0.5	0.0
nov-95	0.5	0.9	3.0	ago-99	0.4	0.7	0.3
dic-95	1.4	0.7	2.3	sep-99	0.5	0.8	0.6
ene-96	2.2	0.9	1.1	oct-99	0.7	0.9	0.8
feb-96	3.9	1.2	0.0	nov-99	0.8	0.9	0.8
mar-96	3.2	2.0	0.0	dic-99	1.9	0.7	0.0
abr-96	1.7	1.2	0.0	ene-00	3.9	0.9	0.0
may-96	0.8	0.8	0.0	feb-00	5.4	1.2	0.0
jun-96	0.4	0.6	0.2	mar-00	4.0	2.0	0.0
jul-96	0.3	0.5	0.3	abr-00	1.3	1.2	0.0
ago-96	0.3	0.7	0.8	may-00	0.9	0.8	0.0
sep-96	0.3	0.8	1.3	jun-00	0.5	0.6	0.1
oct-96	0.3	0.9	1.9	jul-00	0.4	0.5	0.2
nov-96	0.4	0.9	2.4	ago-00	0.4	0.7	0.6
dic-96	0.8	0.7	2.3	sep-00	0.5	0.8	0.9
ene-97	1.8	0.9	1.4	oct-00	0.9	0.9	0.9
feb-97	3.7	1.2	0.0	nov-00	1.1	0.9	0.6
mar-97	1.4	2.0	0.7	dic-00	3.3	0.7	0.0
abr-97	0.7	1.2	1.1	ene-01	4.4	0.9	0.0
may-97	0.5	0.8	1.4	feb-01	3.6	1.2	0.0
jun-97	0.3	0.6	1.7	mar-01	5.5	2.0	0.0

abr-01	1.7	1.2	0.0	ene-05	3.0	0.9	0.0
may-01	0.7	0.8	0.1	feb-05	1.7	1.2	0.0
jun-01	0.5	0.6	0.2	mar-05	2.7	2.0	0.0
jul-01	0.4	0.5	0.2	abr-05	1.4	1.2	0.0
ago-01	0.3	0.7	0.7	may-05	0.5	0.8	0.3
sep-01	0.5	0.8	1.0	jun-05	0.4	0.6	0.5
oct-01	0.5	0.9	1.3	jul-05	0.3	0.5	0.7
nov-01	1.1	0.9	1.1	ago-05	0.2	0.7	1.1
dic-01	0.9	0.7	0.9	sep-05	0.2	0.8	1.7
ene-02	1.4	0.9	0.4	oct-05	0.2	0.9	2.4
feb-02	1.8	1.2	0.0	nov-05	0.2	0.9	3.0
mar-02	2.9	2.0	0.0	dic-05	0.7	0.7	3.0
abr-02	1.8	1.2	0.0	ene-06	1.9	0.9	2.1
may-02	0.7	0.8	0.1	feb-06	2.6	1.2	0.7
jun-02	0.5	0.6	0.2	mar-06	4.6	2.0	0.0
jul-02	0.4	0.5	0.3	abr-06	1.6	1.2	0.0
ago-02	0.3	0.7	0.7	may-06	0.6	0.8	0.3
sep-02	0.3	0.8	1.2	jun-06	0.4	0.6	0.4
oct-02	1.2	0.9	0.9	jul-06	0.3	0.5	0.6
nov-02	1.7	0.9	0.0	ago-06	0.3	0.7	1.0
dic-02	1.8	0.7	0.0	sep-06	0.3	0.8	1.5
ene-03	2.2	0.9	0.0	oct-06	0.4	0.9	2.0
feb-03	3.0	1.2	0.0	nov-06	0.8	0.9	2.0
mar-03	3.9	2.0	0.0	dic-06	2.8	0.7	0.0
abr-03	1.7	1.2	0.0	ene-07	3.5	0.9	0.0
may-03	0.7	0.8	0.1	feb-07	2.6	1.2	0.0
jun-03	0.5	0.6	0.2	mar-07	4.2	2.0	0.0
jul-03	0.3	0.5	0.3	abr-07	2.3	1.2	0.0
ago-03	0.3	0.7	0.8	may-07	1.0	0.8	0.0
sep-03	0.3	0.8	1.3	jun-07	0.5	0.6	0.1
oct-03	0.3	0.9	1.9	jul-07	0.4	0.5	0.2
nov-03	0.3	0.9	2.4	ago-07	0.3	0.7	0.6
dic-03	1.1	0.7	2.1	sep-07	0.3	0.8	1.2
ene-04	1.0	0.9	2.0	oct-07	0.5	0.9	1.5
feb-04	2.1	1.2	1.1	nov-07	0.5	0.9	1.9
mar-04	2.1	2.0	0.9	dic-07	0.8	0.7	1.8
abr-04	1.2	1.2	0.9	ene-08	1.9	0.9	0.8
may-04	0.6	0.8	1.2	feb-08	3.3	1.2	0.0
jun-04	0.4	0.6	1.4	mar-08	3.1	2.0	0.0
jul-04	0.3	0.5	1.5	abr-08	1.4	1.2	0.0
ago-04	0.2	0.7	2.0	may-08	0.5	0.8	0.3
sep-04	0.3	0.8	2.5	jun-08	0.4	0.6	0.5
oct-04	0.6	0.9	2.7	jul-08	0.3	0.5	0.6
nov-04	0.9	0.9	2.6	ago-08	0.3	0.7	1.1
dic-04	2.2	0.7	1.1	sep-08	0.2	0.8	1.6

oct-08	0.5	0.9	2.0
nov-08	0.6	0.9	2.3
dic-08	1.4	0.7	1.6
ene-09	2.9	0.9	0.0
feb-09	4.7	1.2	0.0
mar-09	4.4	2.0	0.0
abr-09	2.4	1.2	0.0
may-09	0.9	0.8	0.0
jun-09	0.5	0.6	0.1
jul-09	0.4	0.5	0.2
ago-09	0.3	0.7	0.6
sep-09	0.3	0.8	1.1
oct-09	0.7	0.9	1.3
nov-09	2.0	0.9	0.2
dic-09	2.4	0.7	0.0