

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola**



**Generación de Descargas Mensuales en la Microcuenca Palcca  
utilizando el Método de Lutz Scholz a 3705 m.s.n.m María Parado de  
Bellido - Cangallo - Ayacucho**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR  
RONAL MENDOZA VEGA**

**Ayacucho - Perú**

**2012**

**“GENERACIÓN DE DESCARGAS MENSUALES EN LA MICROCUENCA  
PALLCCA UTILIZANDO EL MÉTODO DE LUTZ SCHOLZ A 3705 m.s.n.m.  
MARIA PARADO DE BELLIDO – CANGALLO – AYACUCHO – 2012”**

Recomendado : 13 de diciembre de 2012  
Aprobado : 28 de diciembre de 2012



**M.Sc. RUBEN ALFREDO MENESES ROJAS**  
Presidente del Jurado



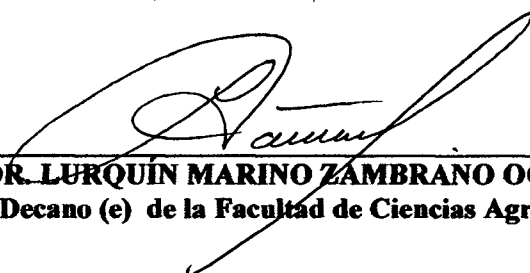
**M.Sc. SANDRA DEL ÁGUILA RÍOS**  
Miembro del Jurado



**ING. LEONIDAS ALEJANDRO ARIAS BALTAZAR**  
Miembro del Jurado



**ING. MOISÉS ANATOLIO QUISPE CADENAS**  
Miembro del Jurado



**DR. LURQUÍN MARINO ZAMBRANO OCHOA**  
Decano (e) de la Facultad de Ciencias Agrarias

## **DEDICATORIA**

*Con todo cariño a mis Padres  
Leovigilda y Eleodoro, por su  
incomparable sacrificio en mi  
formación profesional.*

*A mis hermanos Cesar y Rossmery,  
por todo su apoyo incondicional  
durante la formación de mi vida  
profesional*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, alma mater de mi formación profesional.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola.

A los Docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola, por sus valiosas enseñanzas y orientaciones que me condujeron a lograr mis Objetivos.

A la MSc. Ing. Sandra Del Águila Ríos, por su asesoramiento y conducción del Trabajo de Tesis.

A todas las personas, que de una u otra manera colaboraron con sus sugerencias en el desarrollo y culminación del Trabajo de Investigación.

**GENERACION DE DESCARGAS MENSUALES EN LA MICROCUENCA  
PALLCCA UTILIZANDO EL METODO DE LUTZ SCHOLZ A 3075 msnm MARIA  
PARADO DE BELLIDO – CANGALLO – AYACUCHO. 2012**

**INDICE**

	<b>Paginas</b>
TITULO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
INDICE .....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE CUADROS .....	x
LISTA DE MAPAS Y GRAFICOS .....	xii
<b>I INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>II REVISION LITERARIA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Antecedentes .....	4
2.2 Elementos meteorológicos .....	5
2.2.1 La Atmosfera .....	6
2.2.2 Radiación Solar .....	7
2.2.3 Humedad .....	8
2.2.4 Viento .....	8
2.2.5 Temperatura .....	9
2.3 El Ciclo Hidrológico y sus componente .....	9
2.3.1 Precipitación .....	13
2.3.2 Intercepción .....	14
2.3.3 Evaporación .....	15

2.3.4	Infiltración	.....	16
2.3.5	Almacenamiento	.....	16
2.3.6	Escorrentía	.....	17
2.3.7	Balance Hídrico medio de una cuenca	.....	19
2.4	Ciclo Hidrológico Como Sistema	.....	21
2.4.1	El sistema hidrológico	.....	23
2.4.2	Modelo hidrológico	.....	25
2.5	Modelo de Precipitación - Descarga	.....	27
2.5.1	Modelo propuesto por Lutz Scholz	.....	28
2.6	Tratamiento de datos hidrometeorológicos	.....	29
2.6.1	Análisis de consistencia de la información	.....	31
2.6.1.1	Análisis de saltos	.....	33
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificación de saltos</li> <li>▪ Evaluación y cuantificación</li> <li>▪ Corrección de los datos</li> </ul>		
2.6.1.2	Análisis de Tendencias	.....	44
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendencia media</li> <li>• Tendencia de desviación estándar</li> </ul>		
2.6.2	Complementación y/o extensión datos Hidrometeorológicos.....		57
2.6.2.1	Ecuación de Regresión lineal simple	.....	58
2.6.2.2	Procesos de complementación de datos por R.L.M	.....	60
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Complementación de datos no anuales</li> </ul>		
2.6.2.3	Extensión de datos no anuales	.....	65
<b>III</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>		<b>67</b>
3.1	Materiales	.....	67
3.1.1	Cartografía	.....	67

3.1.1.1	Contexto Geográfico de la zona de estudio.....	67
3.1.1.2	la Microcuenca Pallcca.....	68
	▪ Ubicación y demarcación de la unidad fisiográfica .....	65
	▪ Aspectos geológicos .....	71
	• Geomorfología.	
	• Litología y Estratigrafía.	
	• Geología estructural	
	• Geodinámica externa	
	▪ Aspectos ecológicas .....	74
	• Descripción de la zona de vida.	
	• Bosque Seco-Montano Sub Tropical (bs-MS)	
	• Paramo muy Húmedo Subalpino Sub tropical (pmh)	
3.1.2	Hidrometeorología .....	77
3.1.2.1	Información hidrométrica .....	77
3.1.2.2	Estaciones pluviométricas de la zona de estudio.....	82
3.1.2.3	Estaciones meteorológicas complementarias en la zona de estudio .....	87
3.1.3	Equipos y programas de cómputo .....	88
3.2	Metodología .....	89
3.2.1	Análisis Cartográfico y estadístico de la información .....	90
3.2.1.1	Análisis cartográfico de la microcuenca .....	90
	▪ Area total	
	▪ Índice de compacidad	
	▪ Factor de forma	
	▪ Orden de corrientes	
	▪ <i>Densidad de corriente</i>	
	▪ Densidad de drenaje	
	▪ Pendiente media de la cuenca	
	▪ Índice de pendiente	
	▪ Curvas hipsométricas de una cuenca	
	▪ Perfil longitudinal del cauce principal	
	▪ Pendiente del cauce principal	
	▪ Rectángulo equivalente	

3.2.1.2	Análisis de regionalización de la información pluviométrica .....	102
3.2.2	Aplicación de los modelos determinísticos parciales .....	112
3.2.2.1	Precipitación sobre la cuenca .....	112
	▪ Método de Isoyetas	
3.2.2.2	Coefficiente de esorrentía "C" .....	114
	• Método de "L. TURC"	
3.2.2.3	Cálculo de la evaporación potencial .....	114
	• Pemman para las condiciones del Perú (Garcia, j. 1984)	
3.2.2.4	Calculo de la precipitación efectiva .....	121
3.2.2.5	Fundamentos del balance hidrológico del modelo .....	124
3.2.2.6	Periodos del ciclo hidrológico .....	126
3.2.2.7	Cálculo de retención de la cuenca .....	127
	▪ Almacenamiento hídrico	
	▪ Retención de la lamina total	
	▪ Retención total de la cuenca.	
3.2.2.8	Relación entre gastos de retención "G" y abastecimiento de la cuenca "A" .....	129
	▪ Gasto de la retención "G"	
	▪ Coeficiente de agotamiento "a"	
	▪ Abastecimiento de la retención "A"	
3.2.2.9	Cálculo del caudal mensual promedio .....	133
3.2.3	Generación de caudales mensuales para periodos extendidos .....	134
3.2.3.1	Generación con modelo markoviano de primer orden .....	134
	• Regresión múltiple	
3.2.3.2	Test estadístico .....	138



<b>IV</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>139</b>
4.1	De la aplicación de los modelos determinísticos .....	139
4.1.1	De la precipitación mensual de la microcuenca Pallcca.....	139
4.1.2	De las variables meteorológicas complementarias a la microcuenca.....	147
4.1.3	De la evaporación en la microcuenca Pallcca.....	151
4.1.4	Del coeficiente de esorrentía "C" de la microcuenca Pallcca.....	156
4.2	De la generación de caudales para un periodo extendido .....	159
4.2.1	De la generación descargas medias mensuales para el año promedio la microcuenca Pallcca.....	162
4.2.2	De la generación de descargas media mensuales para un periodo extendido de la microcuencas Pallcca.....	132
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>167</b>
<b>VI</b>	<b>RESUMEN</b> .....	<b>170</b>
<b>VII</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>171</b>
<b>VIII</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>173</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Paginas</u>
2.1 Estructura aproximada de la atmósfera .....	6
2.2 El ciclo hidrológico .....	10
2.3 Esquema físico del ciclo hidrológico .....	11
2.4 Diagrama de Block .....	12
2.6 Zonas y procesos del agua subsuperficial .....	16
2.8 Relación entre precipitación y escorrentía total .....	18
2.9 Modelo de balance hídrico simple .....	19
2.10 Balanza hídrico en una cuenca .....	20
2.11 Esquema sistema hidrológico .....	21
2.12 Representación del sistema hidrológico global .....	23
2.13 Esquema del sistema hidrológico .....	24
2.14 Diagrama de flujo para el tratamiento de datos hidrometeorológicos.....	30
2.15 Tipos de errores .....	31
2.16 Caminos de análisis según el tipo de series .....	33
2.17 Forma típica de un salto .....	34
2.18 Esquema simplificado para el análisis de saltos .....	35
2.19 Esquema de diagrama de doble masa .....	38
2.20 Esquema de análisis de doble masa .....	39
2.21 Formas típicas de series con tendencias .....	44
2.22 Esquema simplificado de análisis de tendencia .....	45
2.23 Visualización de las series sin tendencia .....	56
2.24 Tipos de correlación .....	58
2.25 Visualización de las series sin periodicidades .....	62
3.01 Orden de corrientes .....	91
3.02 Trazo de curvas hipsométricas .....	94
3.03 Elevación media .....	95
3.04 Trazo de rectángulo equivalente .....	98
3.05 Método de Isoyetas .....	112
3.06 Curvas para el cálculo de la precipitación efectiva .....	122
3.07 Fundamentos del balance hidrológico .....	100

## LISTA DE CUADROS

	<u>Paginas</u>
2.01	Números aleatorios normalmente distribuidos para caudales ..... 66
3.01	Principales áreas ..... 68
3.02	Curva de descarga de corriente rio Ñuñunhuaycco ..... 80
3.03	Registro de caudales diarios ..... 81
3.04	Estaciones pluviométricas identificadas ..... 83
3.05	Estaciones pluviométricas seleccionadas ..... 83
3.06	Periodo de registro de la información pluviométrica identificadas ..... 84
3.07	Periodo de registro de la información pluviométrica identificadas ..... 85
3.08	Periodo de registro de la información pluviométrica identificadas ..... 85
3.09	Estaciones meteorológicas ..... 87
3.10	Ubicación de las estaciones meteorológicas seleccionadas ..... 88
3.11	Variables registradas de las estaciones meteorológicas ..... 88
3.12	Método de Lutz Scholz ..... 89
3.13	Áreas acumuladas ..... 100
3.14	Parámetros geomorfológico de superficie, forma relieve y drenaje..... 101
3.15	grupo de análisis de las estaciones pluviométricas identificadas ..... 103
3.16	grupo de análisis de las estaciones pluviométricas seleccionadas..... 105
3.17	Análisis de consistencia de las estaciones pluviométricas seleccionadas..... 105
3.18	Registro de precipitación mensual Putacca ..... 110
3.19	Registro de precipitación mensual Tambillo ..... 110
3.20	Registro de precipitación mensual Sachabamba ..... 111
3.21	Registro de precipitación mensual Pampa Cangallo ..... 111
3.22	Cuadro de valores de albedo superficial ..... 117
3.23	Tabla de radiación en el tope de la atmósfera ..... 117
3.24	Tabla de fotoperiodo ..... 118
3.25	Tabla psicrométrica para temperaturas positivas ..... 119
3.26	Tabla psicrométrica para temperaturas negativas ..... 120
3.27	Cuadro para el cálculo de la precipitación efectiva ..... 121
3.28	Cuadro de PE (según Bureau of Reclamation) ..... 123

3.29	Variables de los coeficientes del polinomio	127
3.30	Coeficientes de almacenamiento hídrico	133
4.01	Precipitación media mensual en las estaciones seleccionadas	140
4.02	Precipitación total anual	140
4.03	Calculo de los coeficientes pluviométricos	145
4.04	<i>Precipitación mensual de la microcuenca Pallcca</i>	145
4.05	Gradiente térmica de la temperatura media mensual de la zona en estudio.....	148
4.06	Gradiente térmica de la temperatura mínima mensual de la zona en estudio.....	148
4.07	Gradiente térmica de la temperatura máxima mensual de la zona en estudio.....	149
4.08	Temperaturas mensuales estimadas de la microcuenca Pallcca	149
4.09	Calculo de la evapotranspiración potencial (Penman García)	152
4.10	Calculo de la evapotranspiración potencial (Hargreaves)	153
4.11	Calculo de la evapotranspiración potencial (Thornthwaite)	153
4.12	Variación mensual promedio de la evaporación de la zona de estudio.....	154
4.13	Caudales promedios mensuales registrados de la microcuenca Pallcca.....	157
4.14	Información preliminar para determinar el coeficiente de escorrentía de la microcuencaPallcca	158
4.15	Coeficiente de escorrentía estimado por el método de L. TURC	158
4.16	Retención total de la mcrocuenca Palicca	159
4.17	Calculo de gasto de la retención de la microcuenca Pallcca	159
4.18	Caudales generados para el año promedio en la microcuenca Pallcca.....	160
4.19	Generación de descargas mensuales para un año periodo	162
4.20	Test estadístico del periodo de descargas medias mensuales generadas.....	164

## LISTA DE MAPAS

	Paginas
3.01 Relaciones del área de interés con de Influencia de acuíferos .....	70
3.02 Mapa geológico de la microcuenca Palcca .....	73
3.03 Mapa ecológico de la microcuenca Palcca .....	75
3.04 Mapa de suelos de la microcuenca Palcca .....	75
3.05 Mapa hidrográfico de la microcuenca Palcca .....	76
3.06 Mapa distribución de las estaciones identificadas .....	86
3.07 Mapa delimitación de la microcuenca Palcca .....	99
4.01 Mapa estaciones pluviométricas pilotos .....	142
4.02 Mapa áreas parciales de las isoyetas .....	143
4.03 Mapa de isoyetas .....	144

## LISTA DE GRAFICOS

	Paginas
3.01 Sección de control del rio Ñuñunhuaycco .....	77
3.02 Curva de descarga H vs Q .....	79
3.03 Principales curvas geomorfológicas .....	100
3.04 Histogramas de las precipitaciones anuales .....	103
3.05 Histogramas de precipitaciones mensuales de las estaciones seleccionadas.....	104
3.06 Análisis de doble masa .....	104
3.07 Curvas para el calculo de la precipitación efectiva .....	122
4.01 Correlación de precipitación vs altura .....	140
4.02 Histogramas de precipitaciones generadas en la microcuenca Palcca.....	146
4.03 Variación de la temperatura estimada para la microcuenca Palcca.....	150
4.04 Comparación del ETP calculado vs Evaporacion en la microcuenca Palcca.....	154
4.05 Tendencia de la escorrentía de la Microcuenca Palcca .....	157
4.06 Comparación de caudales estimados vs registrados .....	165

## I. INTRODUCCION

Desde un punto de vista hidrológico, se entiende por **generación** a la estimación del valor numérico de una variable meteorológica, a partir de otras mediante un procedimiento pre establecido; así mismo se denomina **descarga** a las aguas que discurren por el cauce de un río, que pueden ser medidos y cuantificados en el tiempo; generalmente en meses. Entre las principales variables meteorológicas se puede mencionar: La temperatura, la velocidad del viento, precipitación, caudal y la humedad atmosférica; los **procedimientos** son las formas como estas variables se asocian.

Cuando una cuenca no dispone de información de caudales se utiliza diversos métodos y procedimientos que a partir de los elementos o variables *meteorológicas* (ejemplo: la precipitación, la velocidad del viento, temperatura, etc), y los elementos geográficos (ejemplo: la forma de la cuenca, fisiografía, vegetación, etc), todos ellos permitan **generar** las **descargas** a nivel **mensual**.

**Los procedimientos** para la **generación** de **descargas mensuales** se denominan **modelos hidrológicos**, los mismos que pueden ser **Determinísticos** si representa una realidad a escala (*todo lo que entra, sale*) o **Estocástica** si se incluye una variable aleatoria (*todo lo que entra no necesariamente sale*).

En nuestro país, en la década de los 80, el experto Lutz Scholz desarrolló el modelo matemático “**Transformación de Precipitación en Descarga**” para el

Proyecto Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (PNPMI-II) del Ministerio de Agricultura, en el marco de Cooperación Técnica de la República Alemana a través del Plan Meris II. Éste modelo además de ofrecer una metodología para la calibración de los parámetros hidrológicos, presenta una serie de expresiones empíricas regionalizadas que en teoría permitirán estimar los valores de los caudales a escala mensual en cuencas sin información.

Este modelo matemático permiten desarrollar esta metodología en cuencas y microcuencas diferentes, como es el caso de la microcuenca Pallcca, cuyo río Ñuñunhuaycco no es monitoreado y en la actualidad se viene construyendo una represa, el mismo que permitirá regular el caudal del río para uso agrícola; sin embargo es necesario contar con dicha información para planificar y desarrollar diversos proyectos hidrológicos en la zona, por lo que se requiere completar las series de la información hidrométrica y verificar la calidad de los mismos.

Debido a que solo se cuenta con información pluviométrica en tres estaciones cercanas a la zona en estudio, es conveniente utilizar un modelo "**Precipitación- Descarga**" teniendo presente que el río Ñuñunhuaycco tienen como componente acuíferos permanentes, el cual es un factor fisiográfico que se debe tener en cuenta para la estimación de caudales en dicha zona. El modelo matemático "**Transformación de Precipitación en Descarga**" del experto Lutz Scholz considera el aporte de estos acuíferos para la generación de descargas.

Siguiendo los procedimientos elaborados por el experto Lutz Scholz, se puede generar y/o verificar la aplicación de los sub modelos determinísticos parciales y generar una serie de caudales confiables aplicando un modelo estocástico; para esto se realizará una revisión de la fuente bibliográfica y el análisis del modelo, tomando como base para el estudio la microcuenca Pallcca, que tiene como curso principal el río Ñuñunhuaycco y que cuente con información de precipitación y descarga.

## **Objetivo General**

- Desarrollar el modelo matemático “Precipitación - Descarga” del experto Lutz Scholz para la microcuenca Pallicca.

## **Objetivos Específicos**

1. Calcular los parámetros parciales determinísticos del método de Lutz Scholz
2. Generar caudales para el año promedio por el método propuesto
3. Generar y validar los caudales para un periodo extendido



## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. ANTECEDENTES

En la Microcuenca Palcca, existe un estudio realizado, por el Fondo de Promoción a la Inversión Pública Regional y Local “FONIPREL”, en tal sentido, fue necesario recopilar la información existente en la zona de estudio, con la finalidad de evitar duplicidad de la investigación o en su defecto tomar como experiencia los resultados obtenidos de dichos estudios.

Existen un singular número de estudios realizados, aplicando el modelo matemático del experto de Lutz Scholz, para generación de descargas medias en diferentes cuencas de la sierra norte y central del Perú, con fines de aprovechamiento hídrico y la planificación de pequeños y mediados proyectos de riego, a continuación se mencionan algunos trabajos realizados aplicando el modelo Lutz Scholz, el cual se tomó como modelo base para la aplicación del modelo en la microcuenca Palcca obteniéndose resultados que permitan considerarse como certeros.

- *Generación de descargas mensuales en las Subcuencas del Rio Santa - 2005*, “Ing Niciano Edilberto Tarazona Santos” Quien realizó el trabajo de investigación para la en Corporación Peruana del Santa y Electroperú Huaraz, teniendo mas de 50 años de recopilación de la información hidrometeorológica.

- Estudio hidrológico de la cuenca Parccora, Distrito de Santillana, Provincia de Huanta, Ayacucho – 2010, “Doc Waldo Lavado Casimiro”, Quien realizó el trabajo tomando como información meteorológica los registros del Proyecto Cachi, Instalada en la Provincia de Huamanga y en cada uno de las sub estaciones.
- Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa – Juliaca, Puno – 2007, quién hizo el trabajo por Intermedio de la INRENA y La Intendencia de los Recursos hídricos, Administración de Técnica del Distrito de riego Juliaca; se realizó este trabajo con fines de aprochamiento hídrico en las cuencas altoandinas de la región Puno.
- Estudio Hidrológico de la microcuenca Huacrahuacho – Cusco - elaborado el 2010 por el Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas – CBC y forma parte de la serie de publicaciones sobre investigaciones realizadas en esta microcuenca, ubicada en la jurisdicción de los distritos de Checca y Kunturkanki, en la Provincia de Canas – Cusco.
- Estudio Hidrológico de descargas medias mensuales de la microcuenca Faccha, distrito de Tamburco, provincia de Abancay – 2010, por “Ing Msc Jose Torbisco Martinez”, quien aplico el modelo Lutz Scholz, con fines de determinar los parámetros hidrológicos para represamiento de la Presa Faccha, Captaciones y canales.

## **2.2. ELEMENTOS METEOROLOGICOS**

**[08, Guevara, 1991]** La meteorología como ciencia que estudia la atmósfera, trata de establecer la Interrelación que existe entre los parámetros del ciclo hidrológico tales como: viento, precipitación, temperatura, presión y humedad. Como una rama de la física, se refiere a la atmósfera como una mezcla de gases cuyas interrelaciones entre la presión, temperatura y volumen se rigen por las leyes de la termodinámica. También involucra consideraciones geográficas debido a que los factores como latitud, longitud, topografía y la ubicación de las masas de agua y tierra, afectan al carácter y distribución de las condiciones meteorológicas sobre la

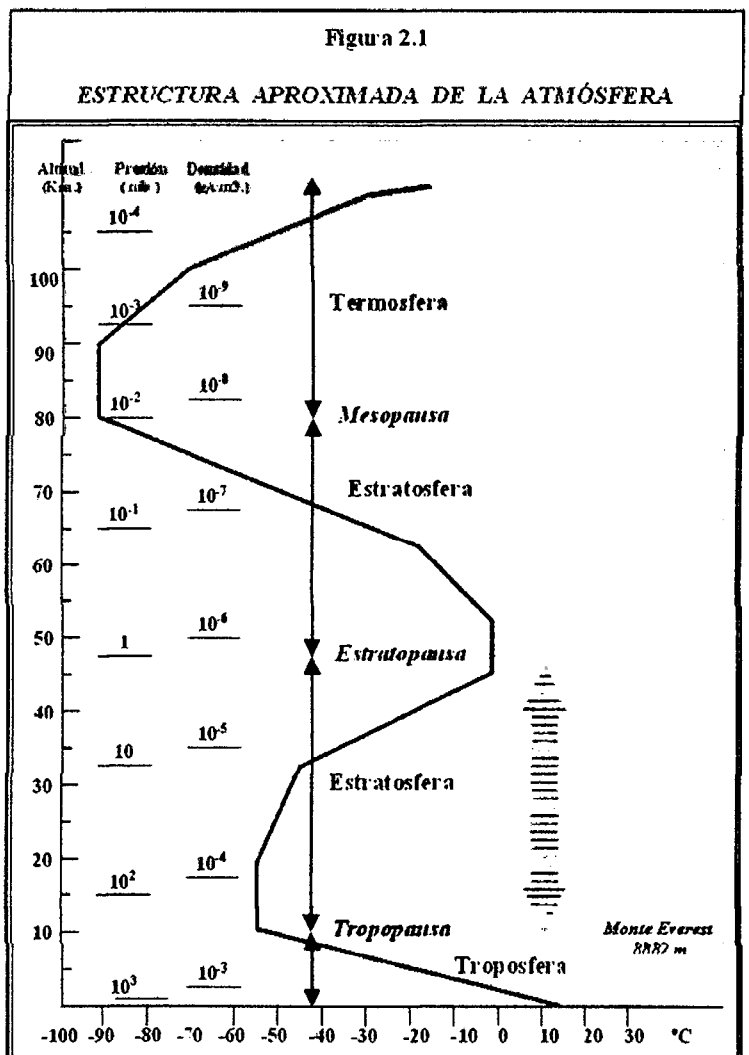
superficie terrestre. Todos estos factores determinan la magnitud de la precipitación y la respuesta de la cuenca, así como su distribución en el espacio y en el tiempo.

### 2.2.1. LA ATMÓSFERA

[11, Mejía, 2001] En forma general, la atmósfera está formada por una capa de 100 Km. de espesor sobre la tierra. Su estructura promedio se muestra en la **figura 2.1** donde se puede notar que la presión y la densidad del aire decrecen rápidamente y continuamente con el incremento de la altitud. La temperatura varía de una forma regional y característica y su perfil define las diferentes capas de la atmósfera.

Después de un decremento general de la temperatura a través de la tropósfera el incremento de la temperatura desde los 20 Km. hasta los 50 Km. de altitud es causado por la capa de ozono, que absorbe *la radiación solar de onda corta* liberando algo de energía en forma de calor.

La atmósfera, capa gaseosa que envuelve la tierra, está constituida por una mezcla compleja de gases que varía en función del tiempo, de la localización geográfica, de la altitud y de las estaciones del año. De una manera simple se



puede considerar el aire natural como constituido por tres partes principales: por el aire seco, por el vapor de agua y por las partículas sólidas en suspensión.

La presión atmosférica, es el peso de la columna de aire por unidad de área considerada desde el nivel de medición hasta el tope de la atmósfera; más específicamente la presión puede ser considerada como la fuerza hacia abajo resultante de la acción de la gravedad sobre la masa de aire que queda sobre una unidad de área horizontal. Para el hidrólogo, la tropósfera es la capa más importante debido a que contiene casi el 75 % del peso de la atmósfera y virtualmente toda su humedad. El meteorólogo, en cambio está cada vez más interesado en la estratósfera y mesósfera, ya que en estas capas se originan algunas de las perturbaciones que afectan la tropósfera y la superficie de la tierra.

### 2.2.2. RADIACION

**[08, Guevara, 1991]** La radiación solar es la fuente de energía para la ocurrencia del ciclo hidrológico y responsable del movimiento atmosférico terrestre así como la principal fuente de energía de las plantas. La radiación solar llega a las capas superiores de la atmósfera a una tasa de  $2\text{cal/cm}^2/\text{minuto}$  magnitud denominada constante solar cuando la superficie se considera normal a la radiación incidente y a una distancia media entre el sol y la tierra.

Una parte de la radiación incidente es dispersa y absorbida por la atmósfera y la tierra; otra es reflejada por las nubes y la tierra. La proporción de radiación reflejada (por las nubes o la tierra) en relación con la radiación incidente se denomina albedo.

Tanto el albedo como la absorción varían considerablemente con la altitud solar, el tipo de nube, el tipo de superficie terrestre, la humedad, etc. Las nubes pueden reflejar entre el 20 y 80% de la radiación incidente, la tierra entre 10 y 30% y los océanos entre 6 y 8%. El albedo medio para la superficie terrestre es de 14%.

Los valores dados reflejan valores medios solamente. La mayor parte de la superficie terrestre no está perpendicular a los rayos incidentes, aún más a medida que aumenta en ángulo de inclinación disminuye la intensidad de la radiación. Por lo tanto a mayor latitud menor intensidad de radiación solar; la desigual incidencia de la energía solar sobre las diferentes regiones del planeta constituye uno de los principales factores que determina la circulación general de la atmósfera terrestre y por lo tanto el clima. Ésta diferencia también se presenta a lo largo del año para una misma localidad ocasionando variaciones en el clima no solo en relación a la altitud, sino también como el tiempo (estaciones climáticas).

### **2.2.3. HUMEDAD**

**[08, Guevara, 1991]** La fracción de la atmósfera conformada por el vapor de agua es muy pequeña comparada con los otros componentes pero es extremadamente importante ya que determina las condiciones meteorológicas prevalecientes (La precipitación se deriva de esta agua atmosférica).

El contenido de humedad del aire es también un factor significativo en el proceso de evaporación local, Por lo tanto es necesario que el hidrólogo esté al corriente de lo que ocurre en la atmósfera y comprender los efectos termodinámicos de la humedad atmosférica.

En la mayoría de los casos de interés práctico, el vapor de agua se rige por la ley de los gases, la humedad atmosférica proviene de la evaporación y transpiración y el vapor de agua es transportado sobre los continentes mediante los sistemas de circulación atmosférica.

### **2.2.4. VIENTO**

**[08, Guevara, 1991]** El viento se origina por las diferencias de presiones y temperaturas y se manifiesta como el movimiento de las masas de aire. Es un

factor muy importante que se relaciona con otros parámetros hidrometeorológicos tal como: la evaporación, la precipitación y los fenómenos de difusión del vapor de agua, del calor y elementos contaminantes.

### **2.2.5. TEMPERATURA**

**[01, Aliaga, 1985]** La temperatura es una consecuencia directa de la insolación y de la radiación, su determinación es fundamental para el cálculo de la evaporación. La temperatura es considerada como el factor determinante y decisivo de las diversas etapas del ciclo hidrológico y principalmente en el estudio de la evaporación.

El efecto de los diversos procesos de intercambio de calor en el sistema Tierra-Atmósfera conduce a una distribución de temperatura según la dirección vertical, es decir, un decremento de la temperatura con la altitud de  $6.5\text{ }^{\circ}\text{C/Km}$ . en la tropósfera y condiciones aproximadamente isotérmicas en la estratósfera. La tasa de variación de la temperatura con la altitud es denominada **gradiente vertical de temperatura**.

*El estudio del gradiente vertical de temperatura es de gran interés ya que a través de él se puede medir la estabilidad o inestabilidad de la atmósfera. La estabilidad atmosférica es determinada a través de gradientes de temperatura teóricos íntimamente ligados a los procesos de evolución del aire, tales como: gradiente vertical de temperatura, distribución geográfica de la temperatura y variación de la temperatura con el tiempo.*

### **2.3. EL CICLO HIDROLOGICO Y SUS COMPONENTES**

**[01, Aliaga, 1985]** Si se considera el sistema planetario tierra se observa sus tres estados gaseoso, líquido y sólido que se encuentra en la atmósfera, en la hidrósfera y en la litósfera.

En este sentido se entiende por el ciclo del agua, al movimiento que éste realiza con o sin cambio en su estado y conserva la masa total como se sintetiza en la figura N° 2.2.

$P_c$  : Precipitación sobre los continentes

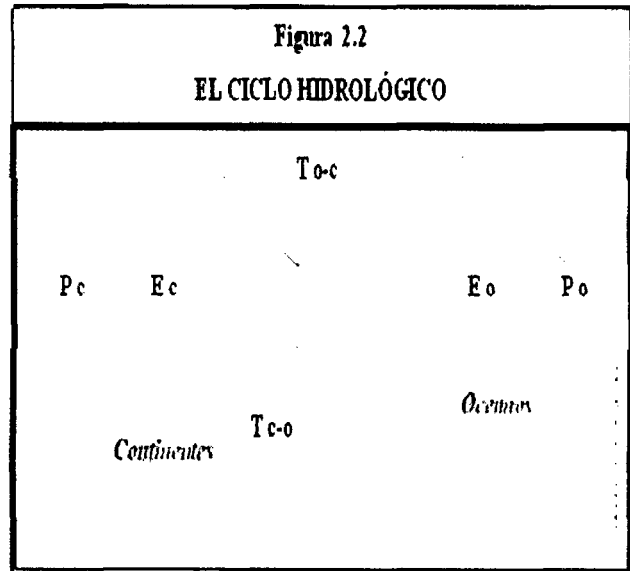
$P_o$  : Precipitación sobre el océano

$E_c$  : Evaporación de los continentes

$E_o$  : Evaporación de los océanos

$T_{o-c}$  : Transporte atmosférico de los océanos al continente

$T_{c-o}$  : Transporte superficial y subterráneo de los continentes a los océanos



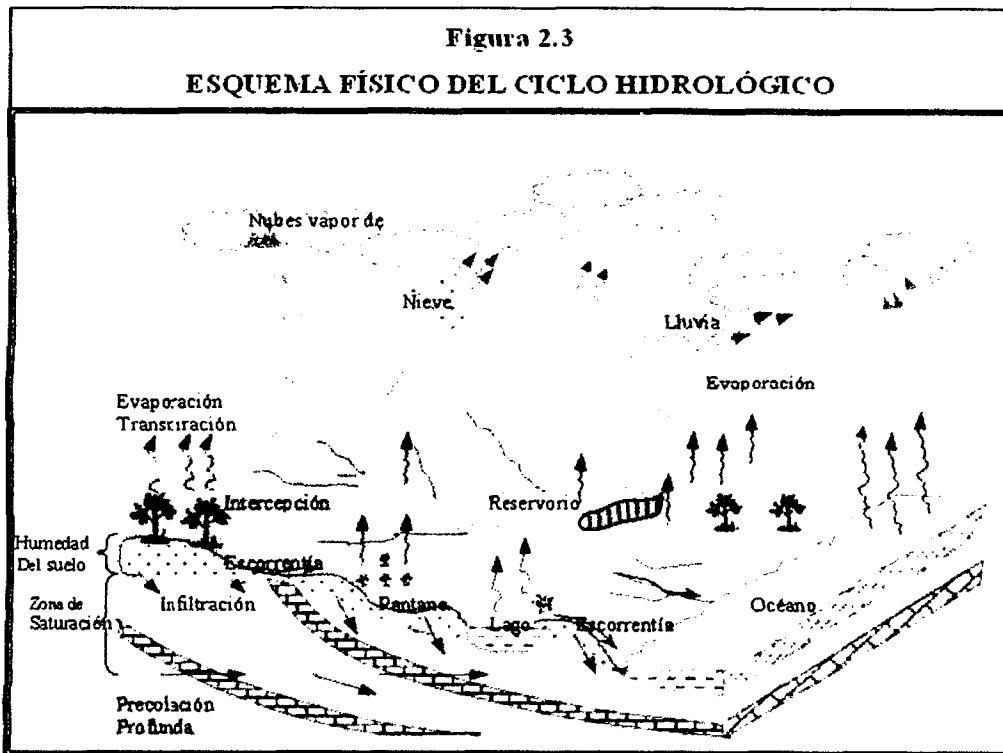
Del esquema global interesa analizar lo que sucede en la parte continental y dentro de ésta es necesario fijar sistemas de referencia (espacios o áreas) en los cuales se intentará explicar y, posteriormente relacionar y calcular los componentes del ciclo hidrológico.

Estos sistemas de referencia son por lo general las cuencas hidrográficas término tan conocido como discutido. La parte continental del ciclo del agua referido a una cuenca, ha recibido diferentes representaciones las cuales se han agrupado en tres esquemas tipos que son:

### Esquema Tipo Físico

Trata de considerar una porción de terreno natural donde se indica la existencia del relieve, cursos de agua, coberturas del suelo, perfil de suelos y acuíferos. Sobre este sistema actúa el estado atmosférico y como condición de borde generalmente se Presentan las salidas a los océanos o a otros cursos de agua.

**Figura 2.3**



### Esquema de tipo Geométrico

Se basa en la repartición del agua en los distintos caminos que puede seguir a partir de una figura geométrica determinada (generalmente un círculo), asignando una porción de esta figura a cada camino.

### Esquema de tipo Diagrama de Blok

Es el más reciente y surgió como un elemento de base para el planteo de modelos de transformación lluvia-escorrentía; el esquema sencillo presentado en la figura 2.4 parte de los siguientes supuestos:

- ❖ El sistema es una cuenca con sus características de vegetación, suelos y subsuelos.
- ❖ Sobre esta cuenca actúan los fenómenos atmosféricos representados por el aporte de las precipitaciones y por la demanda de la atmósfera.

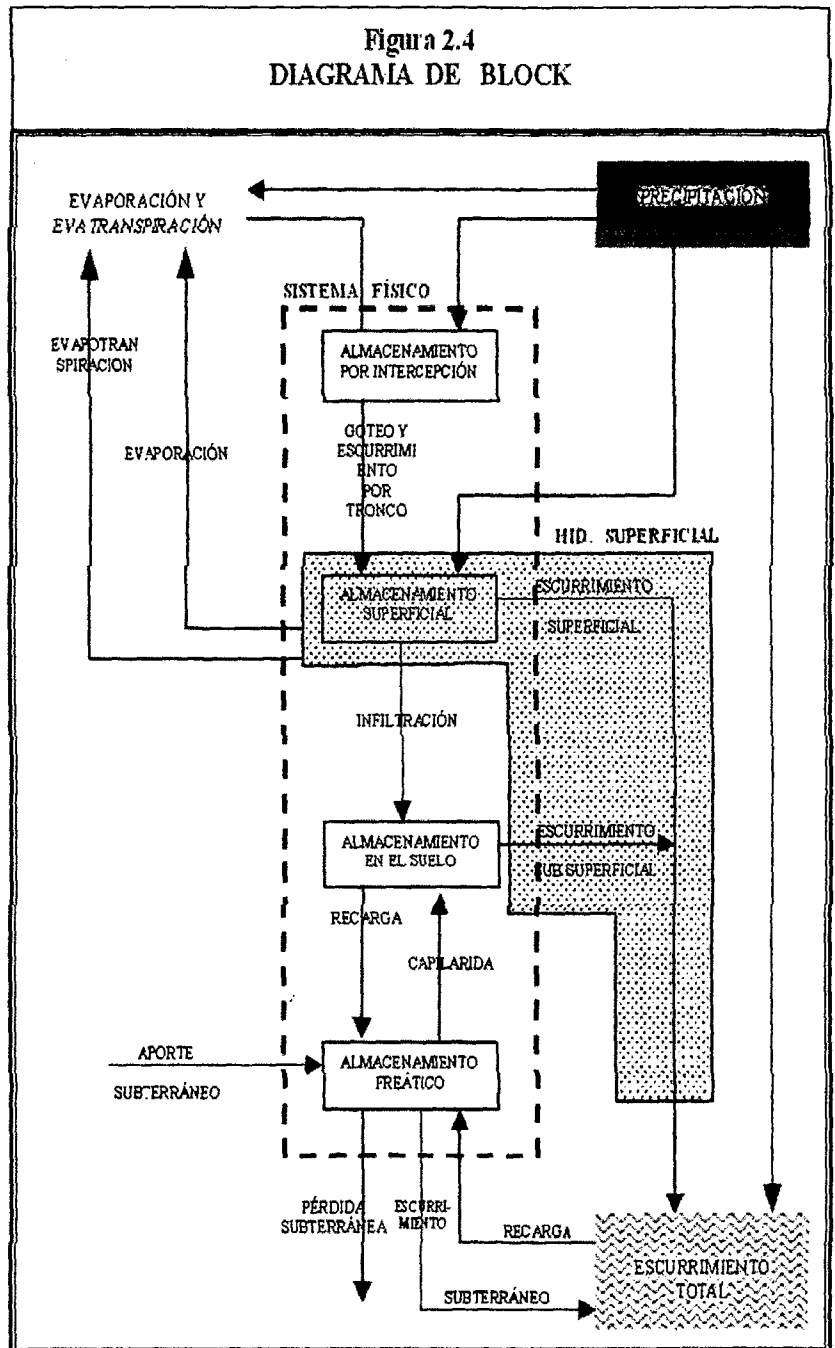


- ❖ El sistema físico reacciona ante la acción de la precipitación produciendo cambios internos representados por distintas formas de almacenamiento y transporte de agua, dando como resultado salidas del sistema representados por el escurrimiento y pérdidas hacia la atmósfera.

Sobre la cuenca pueden actuar aportes de otras cuencas y tener a su vez pérdidas por profundidad o hacia otras áreas, en este caso, es un sistema hidrológicamente no aislado.

Para una cuenca hidrológicamente aislada, las variables que actúan son las siguientes:

- ❖ Variable de entrada al sistema físico: precipitación (humedecimiento)
- ❖ Variable de salida del sistema físico: pérdidas por evaporación, evapotranspiración (desecamiento) y escurrimiento total.



- ❖ Variables de almacenamiento del sistema físico: almacenamiento por interceptación, almacenamiento superficial, almacenamiento del agua en el suelo y almacenamiento freático.
- ❖ Variables de transporte interno: goteo y escurrimiento por el tronco, infiltración, recarga y ascenso capilar.

Con las que se establecen equilibrios conforme al principio de la conservación de masa entre las entradas, salidas y variaciones del sistema considerado. Las relaciones cuantitativas que se establecen para representar a este equilibrio constituyen las formulaciones del **BALANCE HÍDRICO**.

### **2.3.1. PRECIPITACION**

**[08, Guevara, 1991]** La precipitación es el principal vector de entrada del ciclo hidrológico y se refiere a la cantidad total de agua que cae sobre la superficie terrestre. Se presenta en forma líquida (lluvia, niebla, rocío), o sólida (nieve, granizo, escarcha). Se deriva del vapor de agua atmosférica; sus características están sometidas a la influencia de otros factores climáticos tales como: viento, temperatura y presión atmosférica. La humedad atmosférica es una condición necesaria pero no suficiente para la formación de la precipitación. Primeramente se requiere del proceso de condensación y luego otro proceso que cree las gotas de agua que deben precipitar.

**[04, Chow, 2000]** La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de la masa de aire son: (1) La **elevación frontal**, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal. (2) La **elevación orográfica**, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena de montañas. (3) La **elevación convectiva**, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción

convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostiene por el calor latente de vaporización liberado a medida que el vapor de agua sube y se condensa.

**[11, Mejía 2001]** La precipitación es una variable hidrológica que manifiesta claramente su carácter aleatorio, variando drásticamente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). La unidad de medida es el **milímetro de lluvia** que se define como la cantidad de precipitación correspondiente a un volumen de un litro por metro cuadrado de superficie conocido como lámina de agua o altura de lluvia depositado sobre la superficie.

*Desde el punto de vista de la ingeniería, son necesarios tres parámetros para definir completamente una precipitación: su duración, su intensidad y su frecuencia. La duración D, es el tiempo transcurrido entre el inicio y fin de la lluvia expresada en horas o minutos. La intensidad I, está dado por la cantidad total de lluvia o lámina de agua dividida por la duración (cantidad de lluvia por unidad de tiempo), se mide en mm/h o mm/min. La Frecuencia F, es llamado periodo de recurrencia o de retorno (T) el periodo en años en el que una lluvia puede volver a ocurrir.*

### **2.3.2. INTERCEPCION**

**[09, Ibarra 1990]** Es la precipitación depositada o retenida en la cobertura vegetal, no tiene mayor importancia en las avenidas grandes, sin embargo debido a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de la lluvia anual. La capacidad de almacenamiento por intercepción es generalmente satisfecha en las primeras horas de la tormenta de manera que un alto porcentaje de lluvia durante las tormentas de corta duración es interceptada. Después que la vegetación está saturada y el almacenamiento por intercepción se completa, la

cantidad de agua que alcanza el suelo es igual a la lluvia menos la evaporación a partir de la vegetación.

La capacidad de almacenamiento por intercepción es removida mediante la evapotranspiración (la cual puede ocurrir inclusive durante la lluvia) de manera que después que el almacenaje está lleno existe una intercepción continua igual a la evapotranspiración.

### **2.3.3. EVAPOTRANSPIRACION**

**[08, Guevara 1991]** La evaporación es un factor meteorológico muy importante para todos los estudios de recursos hídricos pues afecta la producción hídrica de las cuencas, la capacidad de los embalses, la dimensión de las plantas de bombeo, el uso consuntivo de los cultivos y la producción de las reservas subterráneas.

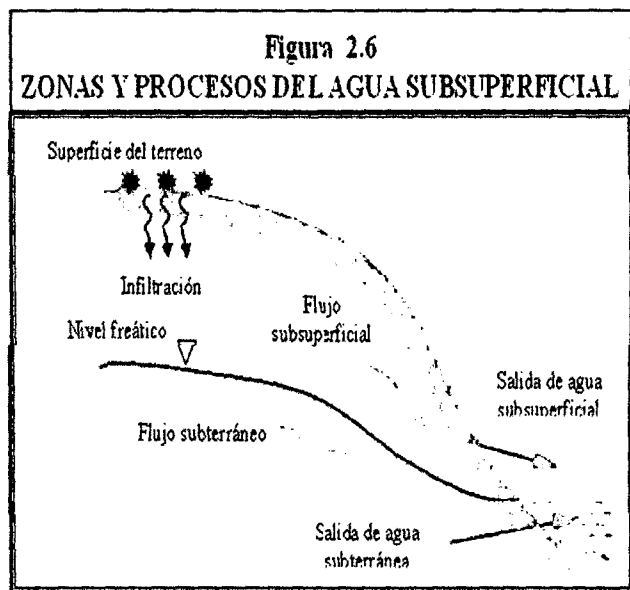
**[05, Chereque, 1991]** La evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico, hay evaporación en todo momento y desde toda superficie húmeda. Considerada como un fenómeno puramente físico la evaporación es el pasaje del agua al estado de vapor, sin embargo hay otra evaporación, la provocada por la actividad de las plantas y recibe el nombre de transpiración.

*De modo general, la evaporación se puede estudiar por separado a partir de las superficies libres del agua (lagos, embalses, ríos, charcas), a partir de las nieves, a partir del suelo y a partir de las plantas (transpiración). También se puede estudiar la evaporación total en una cuenca sin tomar en cuenta las formas particulares que adopta, a esta evaporación total se llama **evapotranspiración** la cual resulta de la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación.*

### 2.3.4. INFILTRACION

[05, Chereque 1991] La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra, la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos (la infiltración y la percolación) están íntimamente ligados pues la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en exceso de la escorrentía subsuperficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente llega a los cursos de agua. El agua del río, en general, puede estar formado de dos partes: Una parte de escorrentía (superficial y sub superficial) que recibe el nombre de escorrentía directa y otra parte de agua subterránea que recibe el nombre de flujo base.

[04, Chow, 2000] En la figura 2.6 se muestra en forma esquemática los procesos de flujo sub superficial y las zonas en que ellos ocurren. La **infiltración** de agua superficial en el suelo para convertirse en humedad del suelo, el **flujo subsuperficial** o *flujo no saturado* a través del suelo y, el **flujo de agua subterránea** o *flujo saturado* a través del suelo o roca.



### 2.3.5. ALMACENAMIENTO

[06, Casas, 2002] El agua subterránea es proveniente de la precipitación y se forma por infiltración o percolación de corrientes y lagos; la percolación directa es el proceso más efectivo de la recarga del agua subterránea donde la capa freática está más cerca de la superficie del terreno y puede fluir más tarde en forma de

manantiales o llegar a las corrientes como escurrimiento y a los cauces como gasto base o gasto de agua subterránea.

El almacenamiento en el subsuelo es la principal fuente de humedad del perfil del suelo. Una parte del agua aquí almacenada percola hacia el almacenaje de agua subterránea profunda y se pierde de la fase superficial del ciclo hidrológico.

El almacenaje de depresiones, es definido como el agua que es retenida en pequeñas depresiones del terreno y que no se convierte en escurrimiento superficial, pero puede contribuir a ambos (infiltración y evaporación) dependiendo del tiempo que permanece en esas de presiones del terreno.

### **2.3.6. ESCORRENTIA**

**[15, Villón 2002]** El escurrimiento es otro componente del ciclo hidrológico y se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Si se analiza en un corte esquemático la superficie terrestre, se tiene que la precipitación cuando llega a la superficie se comparte de la siguiente manera:

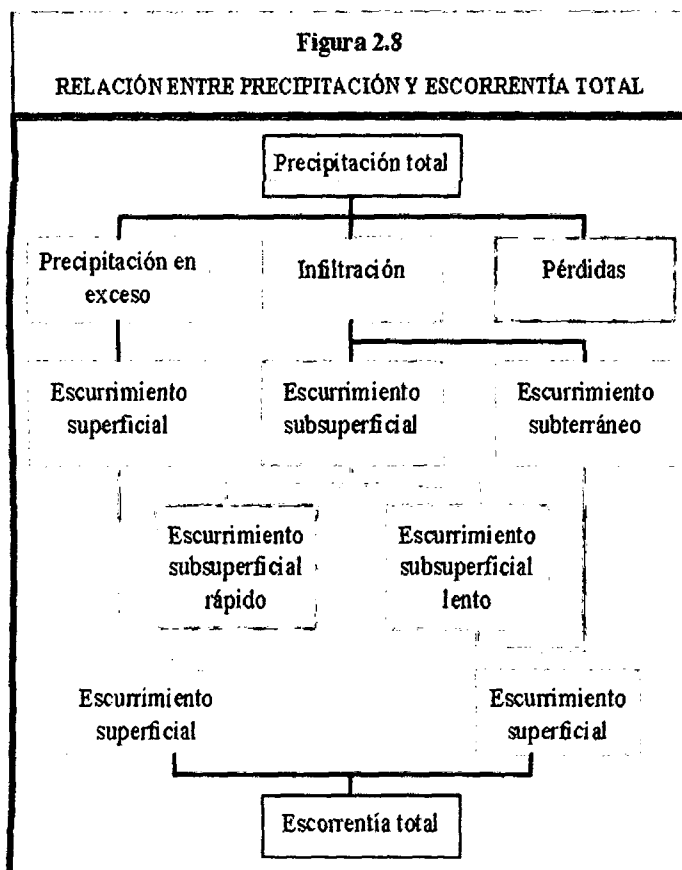
- ❖ Una parte de la precipitación se infiltra; satisface la humedad del suelo de las capas que se encuentran sobre el nivel freático del agua, una vez que esta capa se satura el agua subterránea es recargada por la parte restante del agua que se infiltra (**figura 2.6**)
- ❖ Otra parte de la precipitación tiende a escurrir sobre la superficie terrestre, a la precipitación que ocasiona éste escurrimiento se llama altura de precipitación en exceso.
- ❖ Una pequeña proporción se pierde.

Con base en lo anterior, el escurrimiento se clasifica en tres tipos:

**(1) Escurrimiento superficial**, es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato y, existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine; la parte de la precipitación total que da lugar a este escurrimiento se denomina precipitación en exceso.

**(2) Escurrimiento subsuperficial**, es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total puede ser inmediato o retardado; Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que el escurrimiento superficial, en caso contrario como escurrimiento subterráneo.

**(3) Escurrimiento subterráneo**, es aquel que proviene del agua subterránea la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra una vez que el suelo se ha saturado. El escurrimiento se clasifica en: escurrimiento directo cuando su efecto es inmediato y escurrimiento base si su efecto es retardado.



El hecho de presentarse una precipitación no implica necesariamente que haya escurrimiento superficial y en algunos casos tampoco escurrimiento subterráneo, esto depende de una serie de factores.

En la **figura 2.8**, se muestra un esquema donde se indica la relación entre la precipitación y escurrimiento total.

### 2.3.7. BALANCE HIDRICO MEDIO DE LA CUENCA

[09, Ibarra, 1990] El cálculo del balance hídrico en una cuenca fluvial es siempre el principal objetivo; a partir del balance en cuencas fluviales se calculan los balances hídricos generales y se evalúan los recursos de agua para diferentes países, regiones y continentes.

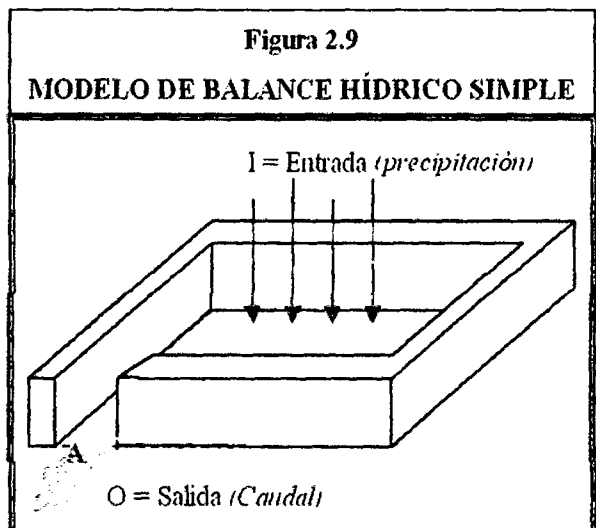
Los componentes principales del balance hídrico son: la precipitación, escorrentía, evaporación y almacenamiento de agua en diversas formas.

Para calcular el balance hídrico de una cuenca con un gran río y con diferentes características fisiográficas, la cuenca puede subdividirse en subcuencas para cada una de las que se realiza el balance hídrico.

[11, Mejia, 2001] Para ilustrar la aplicación del balance hídrico en una cuenca hidrográfica se considera el sistema muy simple y muy restringido de *la figura 2.9*, éste sistema está constituido de una superficie plana e inclinada, completamente impermeable confinado en sus cuatro lados con una salida en el punto A; si una entrada de lluvia es aplicada al sistema, una salida designado como flujo superficial se desarrollará en A.

El balance de agua en este sistema puede ser representado por la siguiente ecuación hidrológica:

$$I - O = dS / dt$$



Donde "I" es la entrada por unidad de tiempo, "O" la salida por unidad de tiempo y, "dS / dt" la variación del almacenamiento dentro del sistema por unidad de tiempo. Existe la necesidad de que una altura mínima sea acumulada en la superficie para que haya escorrentía superficial, pero a medida en que la intensidad de lluvia



aumenta la altura de agua retenida sobre la superficie aumenta. Una vez cesado la lluvia, el agua retenida sobre la superficie continuará fluyendo hasta dejar el sistema como caudal remanente. En este ejemplo toda la precipitación será eventualmente transformada en caudal siempre que sean depreciadas las pérdidas por evaporación durante la entrada.

[11, Mejia, 2001] En la realidad, el balance hídrico en una cuenca hidrográfica no es tan simple como el modelo presentado, (diversas pérdidas ocurren durante el proceso) el agua precipitada luego de llegara al suelo comienza a ser almacenada, pero la superficie del suelo no es plana (como en el modelo anterior) ya que existe depresiones en el terreno, el agua allí acumulada eventualmente será evaporada o infiltrada en el suelo, no obstante alcanza los cursos de agua o se transforma en *escorrentía*, el agua continua sufriendo el proceso de evaporación que debe ser consideradas.

Otro proceso que ocurre desde el momento en que la precipitación toca el suelo es el de la infiltración ya que ningún suelo es impermeable y existen siempre pérdidas por infiltración; cuando el agua penetra en el suelo sigue diversos caminos quedando almacenada temporalmente en el suelo y luego percolando hacia capas profundas conformando el agua subterránea o movimiento



lateral como flujo subterráneo la que puede aflorar nuevamente o fluir para otra cuenca.

Considerando todos estos procesos, de una forma general, el balance hídrico en una cuenca hidrográfica puede ser visualizado en la figura 2.10 y representado por las siguientes ecuaciones:

**a) Balance hídrico en la superficie**

$$P - R + Rg - Es - Ts - I = Ss$$

**b) Balance hídrico debajo de la superficie**

$$I + G1 - G2 - Rg - Eg - Tg = Sg$$

**c) Balance hídrico en la cuenca hidrográfica. (a+b)**

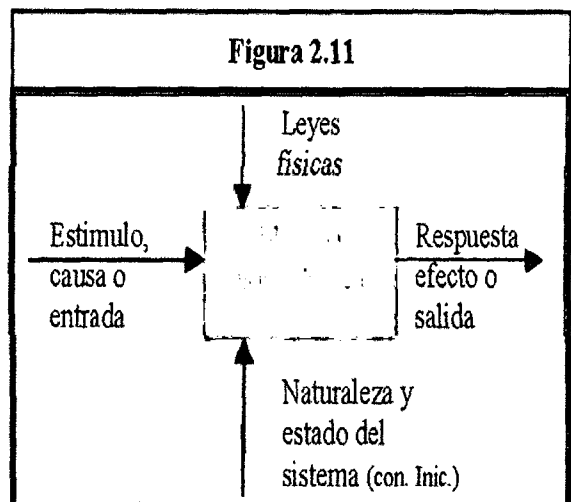
$$P - R - (Es + Eg) - (Ts + Tg) - (G1 - G2) = (Ss + Sg)$$

En las ecuaciones anteriores, los subíndices “s” y “g” significan el origen del vector sobre o debajo de la superficie del suelo, respectivamente.

P = Precipitación E = evaporación T = Transpiración R = Escorrentía superficial  
G = Flujo subterráneo I = Infiltración S = Almacenamiento

**2.4. EL CICLO HIDROLÓGICO COMO SISTEMA**

[08, Guevara, 1991] Un sistema es una estructura, mecanismo, esquema o procedimiento, real o abstracto, que relaciona en el tiempo y/o espacio una causa, entrada o estímulo de materia, energía o información con un efecto, salida o respuesta de materia, energía o información.



Se puede resumir simbólicamente los métodos de síntesis o análisis de sistemas hidrológicos considerando la **figura 2.11**.

Estos métodos permiten diferenciar claramente sistemas hidrológicos: **Hidrología física** (o científica) y **la investigación de sistemas hidrológicos** (Hidrología aplicada). En **hidrología física** se relacionan diversas disciplinas del campo de las ciencias naturales para tratar de entender el funcionamiento de un sistema hidrológico. Permite efectuar descripciones cuantitativas completas excepto para sistemas de gran simplicidad o demasiado idealizados, sin embargo los conocimientos desarrollados han ejercido una profunda influencia sobre los métodos de investigación de sistemas hidrológicos y sobre las limitaciones e interpretaciones de los resultados obtenidos.

Los **métodos de investigación en sistemas hidrológicos** permiten la reconstrucción de eventos hidrológicos pasados y de predicción de variables hidrológicas, hay dos categorías:

- ❖ **Hidrología paramétrica:** Desarrollo de relaciones entre diferentes variables y uso de éstas para reconstruir o predecir series hidrológicas (ejemplo: relaciones precipitación-escorrentía).
- ❖ **Hidrología probabilística:** Serie de procesos matemáticos mediante los cuales se utiliza las características aleatorias y las propiedades estadísticas de las variables hidrológicas, con el fin de establecer modelos probabilísticos de los procesos que permitan predicciones y, simular el comportamiento de los sistemas en estudio.

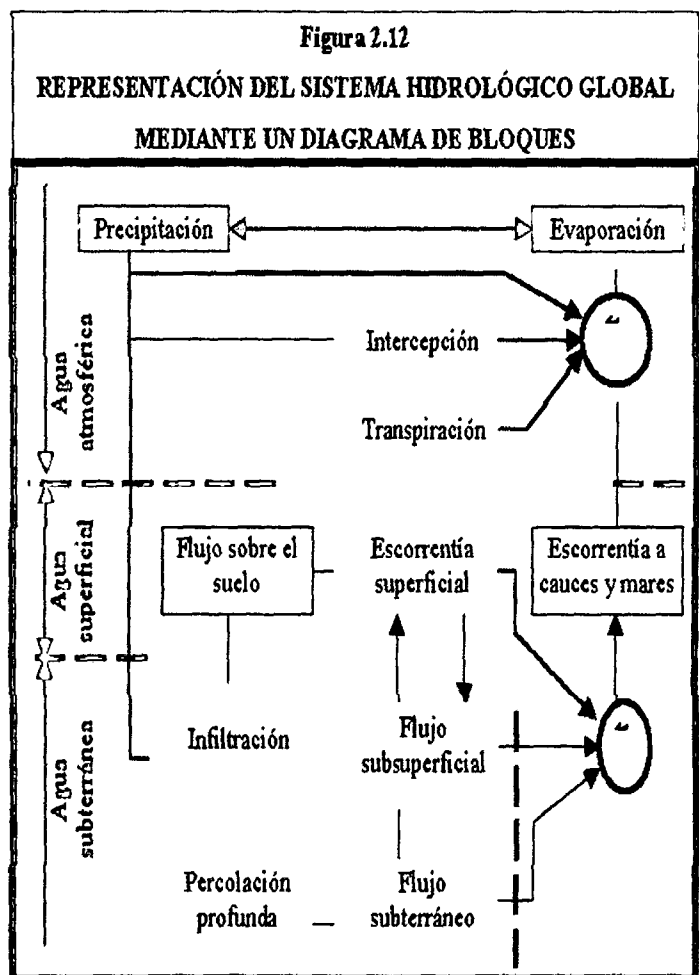
La hidrología moderna utiliza una combinación de estos métodos, que tienen dos características en común: (1) Dependen de datos y registros históricos de los valores de las variables (medición). (2) Se basan en la hipótesis de invarianza en el tiempo de los sistemas hidrológicos.

## 2.4.1. EL SISTEMA HIDROLOGICO

[08, Guevara, 1991] Los fenómenos hidrológicos son muy complejos por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos, sin embargo a falta de una concepción perfecta se puede representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema.

Un sistema viene a ser un conjunto de partes que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrentía y, las otras fases del ciclo; estos componentes pueden reagruparse en subsistemas separadamente y combinar los resultados de acuerdo con las interacciones entre ellos.

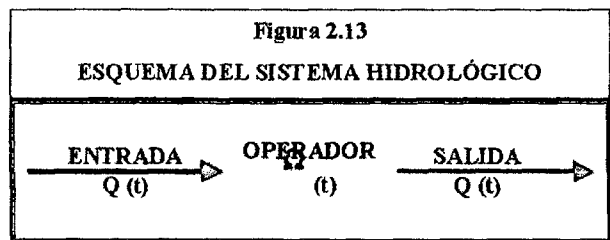
En la figura 2.12 se presenta el ciclo hidrológico global como un sistema; las líneas punteadas dividen el sistema total en tres subsistemas: **(1) El sistema del agua atmosférica**, que contiene los procesos de precipitación, evaporación, intercepción y transpiración. **(2) El sistema del agua superficial**, con los procesos de escorrentía superficial, flujo sobre el suelo, flujo sub superficial y subterráneo (hacia los cauces y océanos). **(3) El sistema del agua sub superficial**, que contiene los procesos de infiltración, recarga del agua subterránea, flujo sub superficial, percolación profunda, flujo subterráneo.



y subterráneo. El flujo sub superficial ocurre en los estratos del perfil del suelo en la cercanía de la superficie; el flujo subterráneo ocurre en los estratos más profundos.

[08, Guevara, 1991] En la mayoría de los problemas prácticos, se consideran unos pocos procesos hidrológicos al mismo tiempo, lo mismo que sólo toman en cuenta una pequeña porción de la superficie terrestre. En la hidrología moderna se usa un concepto más restringido de sistema que el ciclo hidrológico global, se trata del concepto de **volumen de control**, similar al que se suele usar en la mecánica de fluidos. Como se sabe en dicho planteamiento no es necesario conocer el patrón de flujo dentro del volumen del control, sólo se tiene que conocer las propiedades del flujo en la superficie de control del límite del volumen de control.

Por analogía puede definirse a un sistema hidrológico como una estructura o volumen en el espacio, rodeado por un límite, al cual entran variables como agua y otras opera



internamente sobre ellas produciendo variables de salida, que puede ser de la misma naturaleza que las de entrada pero de diferente magnitud. En la **figura 2.13** se representa este concepto en forma esquemática.

Un medio de trabajo ingresa al sistema interactúa con la estructura y otros medios para luego abandonar el sistema como salida. Como medios de trabajos operan procesos físicos, químicos y biológicos, los medios de trabajo más comunes incluidos en el análisis hidrológico son: agua, aire y energía calórica.

Debido a las dimensiones y complejidad de los sistemas hidrológicos, las aplicación de las leyes físicas producen sólo aproximaciones en los resultados, la mayoría de los procesos son además de naturaleza aleatoria; Por lo tanto el análisis estadístico juega un rol muy importante en el estudio hidrológico del sistema.

## 2.4.2. MODELO HIDROLOGICO

En hidrología suele utilizarse modelos para tratar de representar el comportamiento del sistema hidrológico (el prototipo); un modelo puede ser **material o formal**:

**El modelo material**, es una representación física del prototipo, con una estructura más simple pero con propiedades similares a las del prototipo. Estos modelos materiales pueden ser físicos o análogos.

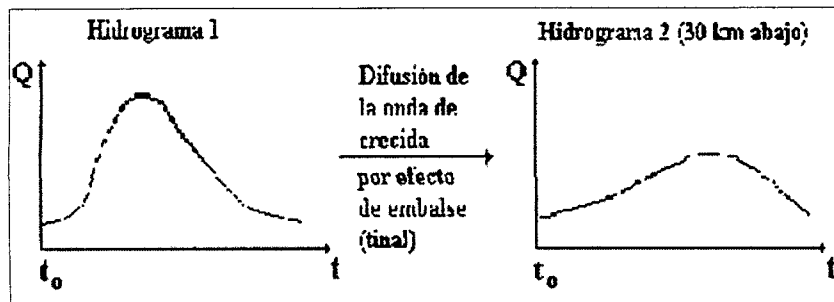
**El modelo formal**, es una abstracción matemática de una situación idealizada que preserva a grandes rasgos las propiedades estructurales importantes del prototipo; en hidrología aplicada (ingenieril) todos los modelos utilizados son de tipo formal y suelen denominarse **modelos matemáticos**.

En general, un modelo matemático puede ser: **Teórico, Conceptual ó Empírico**. **El Teórico** se basa en un conjunto de leyes generales; mientras que **el Empírico** usa las inferencias derivadas del análisis de datos y, **el Conceptual** se ubica entre estos dos.

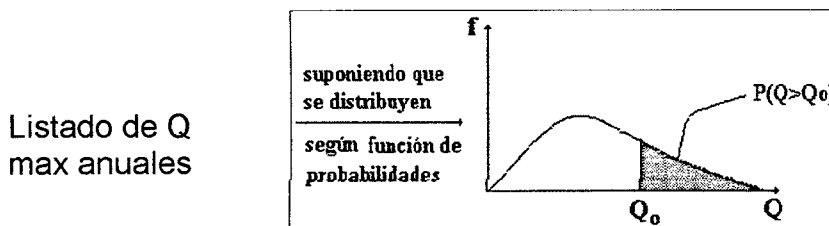
En hidrología aplicada (ingenieril) se usan actualmente cuatro tipos de modelos matemáticos: **(1) Determinístico o físicamente basado**, se formula utilizando las leyes físicas que rigen los procesos involucrados descritos mediante ecuaciones diferenciales. **(2) probabilística**, es gobernado por las leyes del azar y las probabilidades. **(3) Conceptual**, es una representación simplificada de los procesos físicos que se obtiene concentrando (integrando) las variaciones espaciales o temporales. **(4) Paramétrico**, representa los procesos hidrológicos por medio de ecuaciones algebraicas que contienen parámetros a determinar empíricamente.

En general, todos los métodos de análisis en ingeniería hidrológica pueden clasificarse en alguno de los 4 tipos de modelos recién descritos, veamos algunos ejemplos típicos.

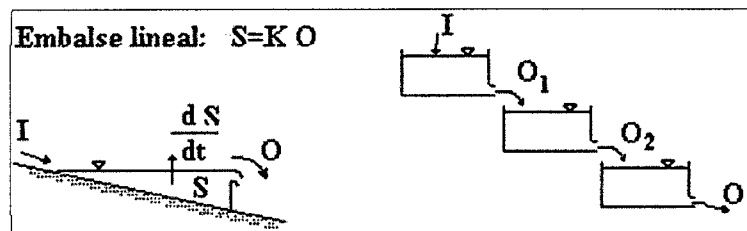
- ❖ El rastreo de crecidas mediante la teoría de la onda cinética es un método determinístico, gobernado por una ecuación diferencial parcial que describe el balance de masa y momentum (simplificado).



- ❖ El análisis de frecuencia de crecidas (utilizando alguna distribución de probabilidades) es un método probabilístico



- ❖ El modelo de cascada de embalses lineales es conceptual: trata de simular las complejidades de la respuesta de la cuenca por medio de una serie de hipotéticos embalses lineales.



- ❖ El método de la fórmula racional es paramétrico: el caudal máximo se estima en base a un coeficiente de escorrentía determinado empíricamente.

$$Q=C*I*A/3.6$$

Q = Q<sub>max</sub> para una cierta intensidad de precipitación (m<sup>3</sup>/s)

I = Intensidad (mm/hrs)

A = Área cuenca (km<sup>2</sup>)

## 2.5. MODELOS DE PRECIPITACION – DESCARGA

Los modelos de **Precipitación-Descarga** más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas de agua al sistema (precipitación) y las salidas del mismo (evaporación, escorrentía y descarga del acuífero) reproduciendo simplificada los procesos del ciclo hidrológico.

Estos procesos se representan por una determinada formulación y unos parámetros cuyos valores habrá que estimar en la cuenca a estudiar, bien con datos de aforo si los hay, bien por analogía con otras cuencas en que si exista esa información (regionalización de parámetros). Dentro de estos modelos **precipitación-descarga con balance de humedad** se pueden distinguir.

- ❖ **Los de elevado número de parámetros.** Estos realizan un cálculo continuo, trabajan normalmente con datos horarios o diarios y utilizan alrededor de 15 a 20 parámetros estando entre los más conocidos el modelo de **Stanford IV** (Stanford Watershed Model IV) desarrollado por la Universidad de Stanford en 1959, **TWN** (Texas Watershed Model) desarrollado por la Universidad Tecnológica de México 1970, **NWSRFS** (National Weather Service Runoff Forscat System) desarrollado por el Servicio Nacional del Tiempo de los EE.UU. en 1972, **PSF** (Hidrologic Simulación Programa Fortran) desarrollada por la Agencia de Protección ambiental de los EE.UU. 1980, etc.



❖ **Los de reducido número de parámetros.** En este tipo de modelos se suele trabajar a escala temporal mayor (usualmente mensual) y se produce sólo las partes del ciclo hidrológico coherentes con dicha escala. Son modelos que manejan pocos parámetros entre 2 a 6 generalmente y, se utilizan en estudios de ámbito regional siendo muy adecuados cuando existe escasez de datos; entre los más conocidos están: **THORNTHAWAITE-T**, el más sencillo de los existentes, fue desarrollado en 1955 por Thornthwaite, consideró al suelo como un único embalse en el que el excedente de agua se produce solamente cuando este se encuentra lleno; aparte **PALMERP**, desarrollado por Palmer en 1965 consideró dos zonas de almacenamiento para reproducir el funcionamiento del suelo; (1) la zona radicular o zona superior, donde la evapotranspiración tiene lugar a la velocidad de la ETP y, (2) la inferior, donde plantea una ley de evapotranspiración que tiene en cuenta la mayor dificultad para que la evaporación se produzca a la velocidad de la potencial, el excedente de agua tiene lugar cuando los embalses están llenos.

### 2.5.1. MODELO PROPUESTO POR LUZT SCHOLZ – 1980

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

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas que puedan ser obtenidos a través de mediciones cartográficas y de campo; los parámetros más importantes del modelo son los coeficientes para la determinación de la precipitación efectiva, déficit de

escurrimiento, retención y agotamiento de las cuencas; el procedimiento que siguió el experto Lutz Scholz fue.

- ❖ Analizó los datos hidrometeorológicos de 19 cuencas entre Cuzco y Cajamarca y procedió a calcular los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de la escorrentía promedio.
- ❖ En un segundo paso, estableció un conjunto de modelos estocásticos parciales de los parámetros para el cálculo de caudales en estas cuencas que carecen de información hidrométrica. Aplicando los datos meteorológicos regionalizados para la cuenca respectiva y los modelos parciales, es posible calcular los caudales mensuales.
- ❖ El tercer paso permite la generación de caudales para un periodo extendido en el punto de captación proyectada por un cálculo combinando (la precipitación efectiva con las descargas del mes anterior por un proceso markoviano) y, calibrando el modelo integral por aforos ejecutados.

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad, etc.), los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos.

## **2.6. TRATAMIENTO DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS**

Una de las áreas más descuidadas en el análisis de series hidrológicas es el tratamiento de los datos históricos registrados por medición directa por lectura o por conteo. Aquí, tratamiento significa el ajuste de los datos históricos a una condición homogénea, incluyendo la corrección de los posibles errores

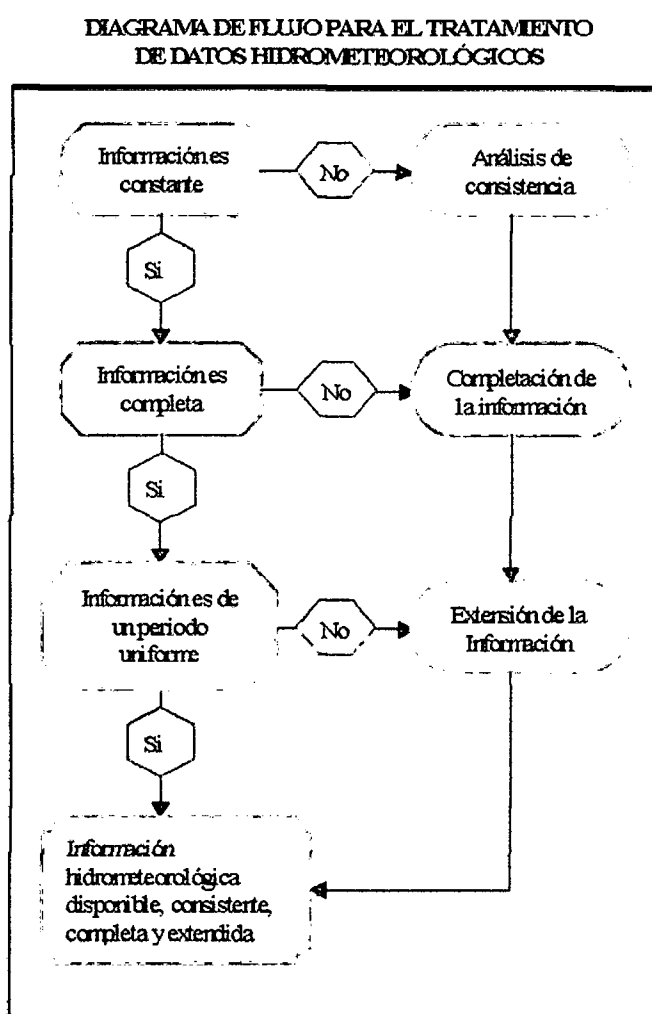
sistemáticos, la complementación, extensión de los mismos y la reducción de los datos a condiciones naturales.

La mayoría de las cuencas y las condiciones desarrolladas están en un constante estado de transición; por esta razón, los datos históricos pueden ser válidos sólo para una condición desarrollada e inválidos para otra; por ello, la confianza de la hidrología como una disciplina científica está realmente basada sobre la disponibilidad de suficientes datos (en cantidad y calidad) para verificarlas teorías alrededor del fenómeno natural.

El procedimiento seguido para el tratamiento de datos hidrometeorológicos se presenta esquemáticamente en el figura N° 2.14 que, dentro del contexto general de un estudio se denomina **fase preliminar** y consiste básicamente de tres actividades principales: **(1) Análisis de consistencia de la información, (2) complementación de los datos faltantes y (3) extensión de los registros.**

Con la obtención de la información consistente, completa y extendida termina la fase preliminar, pudiendo a partir de este momento determinar los parámetros deseados de dichos datos

desarrollando la **fase aplicativa** que, para la presente tesis vendría ha ser la aplicación del modelo "Precipitación-Descarga" del experto Lutz Scholz.



*Figura N° 2.14*

## 2.6.1. ANALISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACION

La **no-homogeneidad e inconsistencia** en series hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes en los estudios hidrológicos contemporáneos, ya que, cuando no se **identifica, elimina** ni se **ajustan** a las condiciones futuras la inconsistencia y no-homogeneidad en la muestra histórica se puede introducir un error significativo en todos los análisis futuros que se realicen, obteniéndose resultados altamente sesgados.

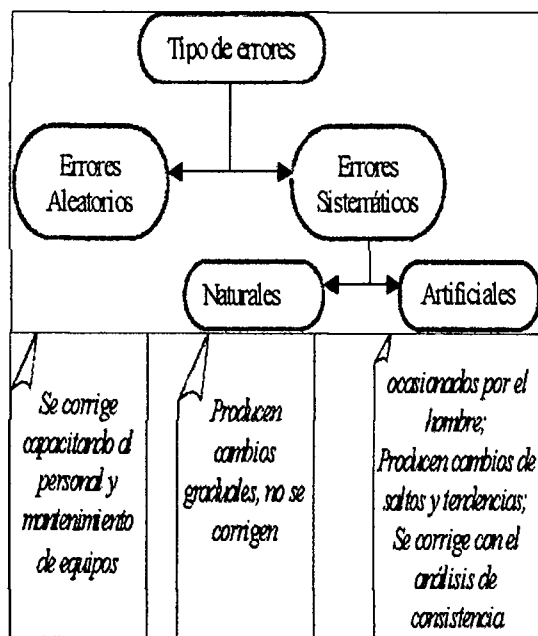
**Inconsistencia** es sinónimo de **error sistemático** y se presenta como saltos y tendencias y, la **no homogeneidad** es definida como los **cambios** de los datos vírgenes con el tiempo. Por ejemplo, la no homogeneidad en los datos de precipitación son creados por tres fuentes principales: **(1) el movimiento de las estaciones en una distancia horizontal, (2) el movimiento vertical, (3) cambios en el medio ambiente de una estación de control como tala árboles, construcción de casas, inundaciones, entre otros.**

En la figura N° 2.15, en forma general los datos medidos en una estación pueden incluir dos tipos de errores; errores aleatorios y errores sistemáticos.

Figura N° 2.15

**Los errores aleatorios**, se presentan debido a la inexactitud en las mediciones y observaciones, son difíciles de evaluar después de transcurrido un tiempo y se originan por error de lectura de datos, equipos defectuosos, mal empleo de los equipos, transcripciones erróneas, entre otros.

**Los errores sistemáticos** son los de mayor importancia y como consecuencia



de los mismos los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente, con lo que los resultados finales se desvían pudiéndose producir grandes errores en los estudios que se realicen a partir de dichos datos (regularizaciones).

Los errores sistemáticos pueden ser a la vez de dos tipos: **naturales y artificiales** u ocasionados por la mano del hombre los mismos que ocurren en una dirección como saltos y tendencias, de allí que sean éste tipo de errores los que se analicen para eliminarlos como datos inconsistentes.

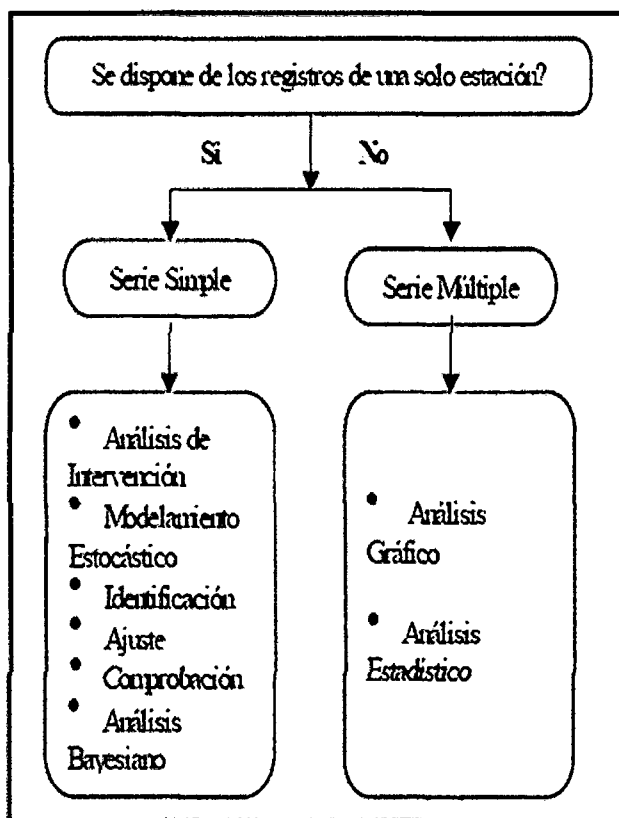
**Los errores sistemáticos naturales** como por ejemplo la muerte gradual de la cobertura arbórea debido a una plaga, el calentamiento global, entre otros, ocasionará cambios graduales en los datos registrados; **los errores sistemáticos artificiales** u ocasionados por la mano del hombre, como por ejemplo, el cambio de la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas, el sobre pastoreo, la construcción de infraestructuras hidráulicas en la cuenca, la construcción de casas, la tala brusca de árboles, entre otros, ocasionarán cambios bruscos en los registros como saltos y tendencias. También es posible que el origen del cambio no sea conocido entonces el problema se torna más complejo.

Desde un punto de vista práctico son de mayor interés los errores sistemáticos ocasionados por la intervención de la mano del hombre y en ellos se concentra el análisis de consistencia. Esta inconsistencia y no-homogeneidad se pone de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

El análisis de consistencia de la información es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no-homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica.

Según la disponibilidad de la información hidrometeorológica el estudio en una cuenca puede clasificarse en series múltiples y series simples: **Las series**

**simples**, cuando se cuenta con el registro de una estación, para estos datos se realiza un análisis de consistencia de tipo más estocástico. **Las series múltiples**, cuando se cuenta con los registros de más de una estación, el índice indicador del tiempo cronológico de cada serie puede ser común, superpuesto de periodos no iguales o no pueden ser superpuestos en toda la serie *permitiendo relacionar los registros de dichas estaciones de manera adecuada*. Cuando se considera el tratamiento de series múltiples se



*Figura N° 2.16*

cuenta con una ventaja cuando hay alguna relación entre ellas, si no existen tales relaciones, se puede analizar las series múltiples como series simples. En la **Figura N° 2.16** se esquematiza en forma general el camino que se debe seguir según el tipo de serie con la que se cuenta; en el caso particular del presente trabajo se cuenta con series múltiples por lo que se explicará su análisis de consistencia, no así de las series simples.

### 2.6.1.1. ANALISIS DE SALTOS

[01, Aliaga, 1985], Son formas determinísticas transitorias, que permiten a una serie hidrológica periódica o no periódica pasar desde un estado a otro como respuesta a cambios hechos por el hombre debido al continuo desarrollo de los recursos hídricos en la cuenca o a cambios naturales continuos que pueden ocurrir.

[16, Villón, 2002] Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros, pero generalmente desde un punto de vista práctico el análisis más importante es en los dos primeros.

En la figura N° 2.17 se presenta la forma típica de un salto que puede ser originado por el movimiento de la estación o derivación aguas arriba de una estación de control, en general representa un salto si se modifica de forma brusca las condiciones normales aguas arriba de la estación de control (caudales) o alrededor de la estación de medición (precipitación).

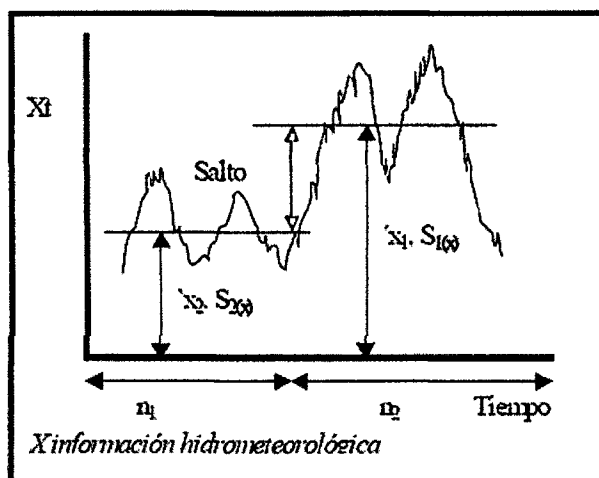


Figura N° 2.17

Debido a la complejidad del análisis para detectar los cambios en datos hidrometeorológicos se presenta un procedimiento simplificado de fácil ejecución para todos los estudios que se empleen.

### Procedimiento de análisis

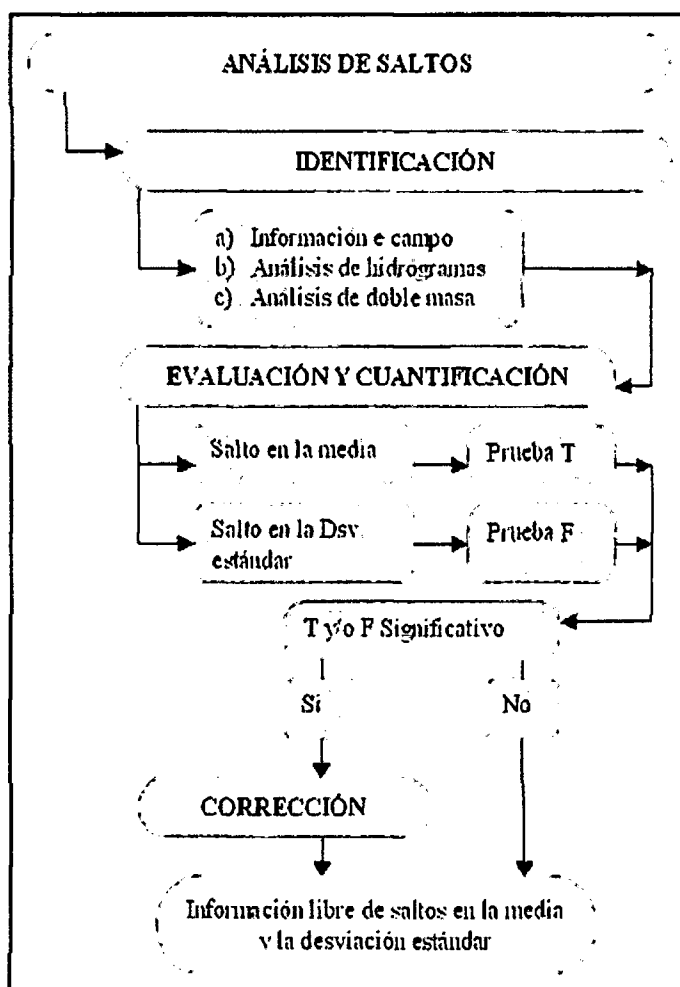
En la figura N° 2.18 se presenta el esquema simplificado para el análisis de saltos que consiste en la realización de tres actividades principales: **(1) Identificación de salto,** **(2) Evaluación y cuantificación y,** **(3) Corrección y/o eliminación.**

#### ▪ **Identificación de Saltos**

En esta etapa se realiza la identificación de saltos, la causa de su origen y, mediante la combinación de tres criterios: **a)** información de campo, **b)** análisis de hidrogramas y, **c)** análisis de doble masa se puede determinar si el error es de tipo natural o artificial.

## Información de campo

Consiste en analizar la información obtenida en el campo referida a las condiciones de operación y mantenimiento de las estaciones hidrometeorológicas, cambio de operación, traslado de las estaciones, regulación de los ríos, derivaciones construidas, estado de explotación de la cuenca como información básica; lo que permitirá formular una primera idea de los posibles cambios que están afectando a la información disponible y también, conocer el tiempo durante el cual ha ocurrido dichos cambios; en otras palabras permite detectar las causas que justifiquen físicamente la presencia de saltos en los datos.



*Figura N° 2.18*

## Análisis de los Hidrogramas

Esta fase complementaria consiste en analizar visualmente la distribución temporal de toda la información hidrometeorológica disponible, combinado con los criterios obtenidos del campo para detectar la regularidad o irregularidad de los mismos; para lo cual la información hidrometeorológica se grafica en coordenadas cartesianas representando en el eje de las ordenadas el valor de la información (precipitación, descargas, etc.) y en el eje de las abscisas el tiempo cronológico



respectivo (anuales, mensuales, semanales, diarios), el gráfico resultante es denominado hidrograma.

De la apreciación visual de este gráfico se deduce si la información es aceptable o dudosa, considerándose como información dudosa o de poco valor para el estudio, aquellas que muestran en forma evidente valores constantes en periodos en los cuales físicamente no es posible debido a la característica aleatoria de los datos y, cuando no hay compatibilidad con la información obtenida en el campo.

Puede aplicarse el siguiente criterio para identificar los posibles periodos que presentan información dudosa.

- Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan los gráficos de las series históricas y se observa que período varía notoriamente con respecto del otro.
- Cuando se tiene una sola estación, se divide en varios periodos y se compara con la información de campo obtenida
- Cuando se tiene datos de precipitación y escorrentía, se compara los diagramas los cuales deben ser similares en su comportamiento.

La interpretación de estas comparaciones se efectúa conjuntamente con el análisis de doble masa.

### **Análisis de doble masa**

El análisis de doble masa denominado también “doble acumulación”, es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencia en los datos hidrológicos múltiples en lo que respecta a errores que pueden haberse producido durante la obtención de los mismos, pero no para realizar una corrección a partir de la curva de doble masa.

Los posibles errores se pueden detectar por el equilibrio o quiebres que presenta la recta de doble masa, considerándose un registro de datos con menos errores sistemáticos en la medida que presente un menor número de puntos de quiebre.

Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente puede o no ser significativo, ya que si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variable para un nivel de probabilidad dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis estadístico.

Existen muchos criterios para realizar el análisis de doble masa, pero como norma general se debe tener presente lo siguiente:

- Realizar el análisis entre datos de la misma causa o del mismo efecto, es decir precipitación versus precipitación o descargas versus descargas registradas en estaciones vecinas o en su defecto en cuencas de similar comportamiento hidrológico.
- Si se presenta el mismo quiebre en todas las rectas de doble masa realizadas de descarga o precipitación, respectivamente, significa que la causa que ocasiona el salto es un error sistemático natural, para lo cual se debe completar dicha información de otras cuencas vecinas; esto es lo que se denomina un análisis de consistencia espacial y temporal de los datos, ya que los errores que se corrigen son los artificiales u ocasionados por el hombre.
- Se puede realizar un análisis de doble masa entre variables de causa y efecto, como precipitación versus descargas, siempre y cuando el caudal del registro en una estación dependa de las precipitaciones que ocurran en la parte alta.
- Antes de realizar un análisis de doble masa, examinar detenidamente la información de campo y tipificar el comportamiento de las cuencas desde el

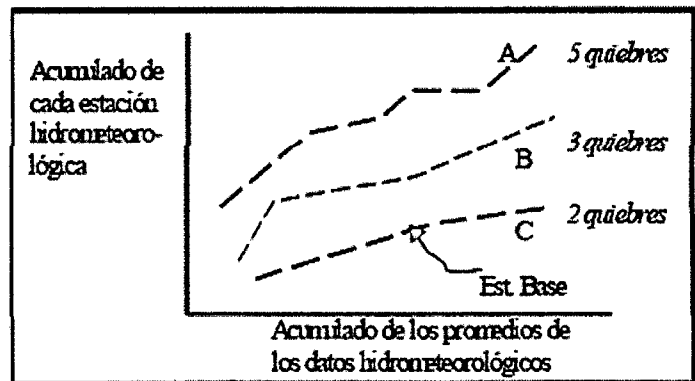
punto de vista hidrológico, para justificar realísticamente la relación funcional entre la descarga y la precipitación correspondiente.

En forma general, existen dos procedimientos par identificar las series inconsistentes en un análisis de doble: (1) serie simple y (2) series múltiples; para la presente tesis se empleo el análisis de doble masa de series múltiples.

### **Análisis de doble masa de series múltiples**

Una forma de realizar el análisis de doble masa en series múltiples consiste en:

- En la **figura N° 2.19**, el diagrama de doble masa se obtiene plateando en el eje de las abscisas los acumulados. Por ejemplo, de los promedios de los volúmenes anuales en millones de m<sup>3</sup> (MMC) de todas las estaciones de la cuenca y, en el eje de las

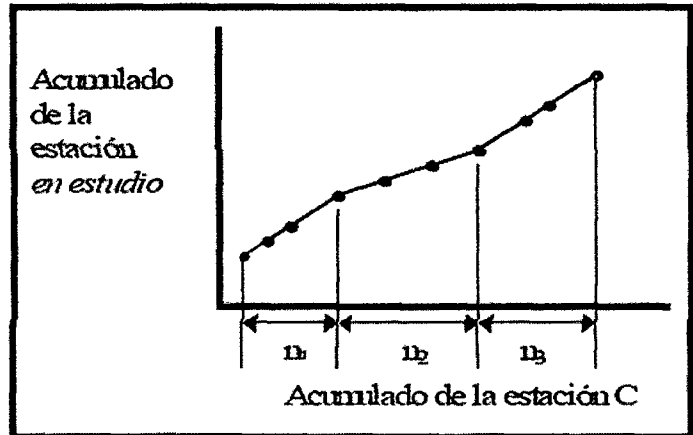


**Figura N° 2.19**

ordenadas los acumulados de los volúmenes anuales, en millones de m<sup>3</sup> de cada una de las estaciones en estudio.

- De estas dobles masas se selecciona como la estación más confiable la de mayor regularidad, es decir la de menor número de quiebres, en la figura N° 2.19 corresponde a la estación C, la cual se usa como estación base para el nuevo diagrama de doble masa colocando en le eje de las abscisas la estación base y en el eje de las ordenadas la estación en estudio, como se muestra en la figura.

- El análisis de doble masa, propiamente dicho, consiste en conocer mediante los quiebres que se presentan en los diagramas las causas de los fenómenos naturales o si estos han sido ocasionados por errores sistemáticos artificiales; en este último caso permite determinar el rango del periodo



*Figura N° 2.20*

dudoso y confiable para cada estación en el estudio, el cual se deberá corregir utilizando ciertos criterios estadísticos. Para el caso de la **figura N° 2.20**; el análisis de doble masa, permite obtener los periodos  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ , que deben estudiarse con el análisis estadístico.

Se debe tener en cuenta que, sólo para efecto de análisis de doble masa, la información incompleta se llena por interpolación o con el promedio mensual, si el análisis es mensual. Una vez identificada el o los periodos con información dudosa, se procede a evaluar y cuantificar el salto, tratándolos a cada uno de los registros simples independientes y de tiempo de cambio conocido.

#### ▪ Evaluación y cuantificación

La evaluación y cuantificación de los errores detectados en la forma de saltos se realiza mediante un análisis estadístico; vale decir, un proceso de inferencia para las medias y desviación estándar de ambos periodos separados en la fase anterior, mediante las pruebas de T de Student y F de Fisher respectivamente.

Habiendo obtenido de los gráficos originales y del análisis de doble masa el periodo de posible corrección de datos, lo que implica que un periodo de datos se mantendrá con sus valores originales, decisión técnica, se procede a analizar los dos primeros parámetros de ambos periodos para comprobar estadísticamente si

sus valores están dentro del rango permisible para un cierto nivel de significación según la hipótesis planteada.

### CONSISTENCIA EN LA MEDIA

Mediante la prueba de significancia "T" se analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes, de la siguiente manera:

- Cálculo de la media y desviación estándar para cada período según las ecuaciones:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i \quad ; \quad S_1(x) = \sqrt{\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2}$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} X_j \quad ; \quad S_2(x) = \sqrt{\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2}$$

Donde:

- $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  : Media del periodo 1 y 2, respectivamente.
- $X_i, X_j$  : Información de análisis en el periodo 1 y 2, respectivamente.
- $S_1(x), S_2(x)$  : Desviación estándar del periodo 1 y 2, respectivamente.
- $n_1, n_2$  : Tamaño de cada periodo 1 y 2, respectivamente.
- $n$  : *Tamaño de la muestra (  $n=n_1+n_2$  )*

El procedimiento para realizar la prueba "T" es la siguiente:

1. Establecer la hipótesis planteada y la alternativa posible, así como el nivel de significación

- $H_p$  :  $\mu_1 = \mu_2$  (igualdad estadística de las medias poblacionales)
- $H_a$  :  $\mu_1 \neq \mu_2$
- $\alpha$  = 0.05

2. Cálculo de la desviación estándar de la diferencia de los promedios, la desviación estándar ponderada, según:

• Desviación estándar de las diferencias de promedios:

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

• Desviación estándar ponderada:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

3. Cálculo del  $T_c$  (T calculado):

$$T_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p}$$

Donde  $\mu_1 - \mu_2 = 0$  (por hipótesis planteada)

4. Hallar el valor de  $T_t$  ( $T$  tabulado) en las tablas:

Con 95% de probabilidades

$\alpha$  = 0.05 si tabla es de una sola cola

$\alpha/2$  = 0.025 si tabla es de dos colas

G.L. =  $n_1 + n_2 - 2$

*Donde:*

G.L. grados de libertad

$\alpha$ : nivel de significación

5. Criterio de decisión:

Si  $|T_c| \leq |T_t|(95\%) \Rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$  Estadísticamente las medias son iguales

Si  $|T_c| > |T_t|(95\%) \Rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$  Estadísticamente las medias son diferentes, (**existe salto**)

## CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza con la prueba "F" de la forma que a continuación se describe:

- Cálculo de las variancias de ambos períodos:

$$S_1^2(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \right] \sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 ; S_2^2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \right] \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2$$

- Estadístico "F" el procedimiento para realizar esta prueba es la siguiente:

1. Se establece la hipótesis planteada y alternante, así como el nivel de significación:

Hp :  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (variancias poblacionales)

Ha :  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$\alpha = 0.05$

2. Cálculo de Fc (F calculado):

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \quad Si \quad S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \quad Si \quad S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

3. Hallar el valor de Ft (F tabulado) en las tablas con:

$\alpha = 0.05$

$$\left[ \begin{array}{l} GLN = n_1 - 1 \\ GLD = n_2 - 1 \end{array} \right], \quad Si \quad S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\left[ \begin{array}{l} GLN = n_2 - 1 \\ GLD = n_1 - 1 \end{array} \right], \quad Si \quad S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$\alpha$  : Nivel de significación

G.L.N : Grado de libertad del numerador

G.L.D : Grado de libertad del denominador

#### 4. Criterio de decisión.

$$Si \quad F_c \leq F_t \quad (95\%) \implies S_1(x) = S_2(x)$$

Las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.

$$Si \quad F_c > F_t \quad (95\%) \implies S_1(x) \neq S_2(x)$$

Las desviaciones estándar son diferentes (existe salto).

#### ▪ Corrección de los datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, la información original no se corrige por ser consistente al 95% de probabilidad, a ún cuando en la doble masa se observe pequeños quiebres.

Puede suceder que sólo la media o la desviación estándar resulte ser homogénea, en este caso y como norma general se debe corregir siempre.

#### • Procedimiento

Si resulta la media y desviación estándar estadísticamente diferentes, entonces se corrige mediante una ecuación que permite mantener los parámetros del período más confiable. Dicha ecuación se expresa como:

#### **Modelo para corregir el primer periodo:**

$$X'_{(t)} = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1(x)} \right] * S_2(X) + \bar{X}_2$$



### Modelo para corregir el segundo periodo:

$$X'_{(t)} = \left[ \frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2(x)} \right] * S_2(x) + \bar{X}_1$$

Donde:

$X'_{(t)}$ : Valor corregido de la información

$X_t$ : Valor a ser corregido

#### 2.6.1.2. ANALISIS DE TENDENCIAS

[16, Villón, 2002] Tendencias son componentes determinísticos transitorios que se definen como un cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información hidrometeorológica en cualquier parámetro de la misma, que afecta la distribución y dependencia de las series. Por ejemplo, si hay un cambio ascendente o descendente en la temperatura, precipitación, evaporación o escorrentía, entonces se produce una tendencia. (Estas tendencias son originadas por intervención directa del hombre)

#### Propiedades

Es necesario tener presente las siguientes propiedades para poder realizar un análisis adecuado:

- Las tendencias no son esperadas a repetirse por sí mismas en la misma forma y con las mismas Propiedades
- Se puede separar de las otras componentes (periódicas aleatorias) de la serie, lo que hace posible removerlas y/o incorporarlas.

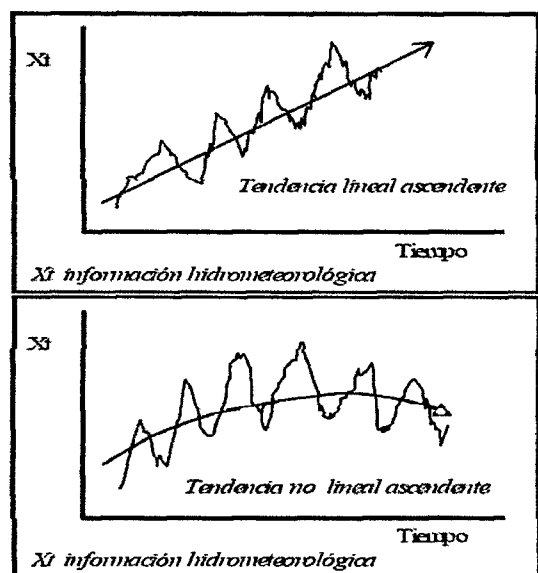


Figura N° 2.21

- Puede existir en cualquier parámetro de una serie (en la media, variancia, coeficiente de autocorrelación y en parámetros de alto orden) pero por lo general las tendencias se presentan únicamente en las medias si la información es anual y, en la media y desviación estándar si la información es mensual.

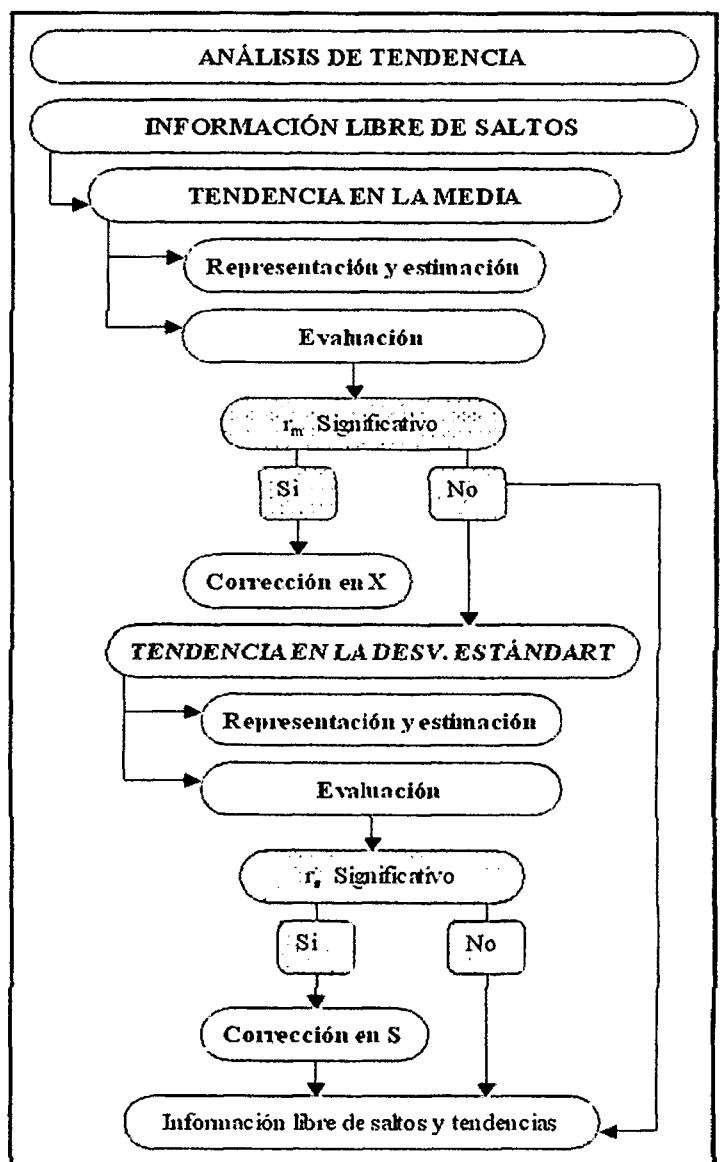
- Las tendencias pueden ser lineales o no lineales, por lo que cualquier función continua de tendencia no lineal puede ser representada en series potenciales. En la figuras N° 2.21 se presenta las formas de las tendencias.

**Figura N° 2.22**

**Procedimiento de análisis**

Un esquema simplificado para el análisis de tendencias en datos hidrometeorológicos se presenta en la figura N° 2.22. Previamente al desarrollo del esquema se ha analizado y corregido los saltos existentes para luego analizar la tendencia en la media y en la desviación estándar en ese orden; justificándolo físicamente con la información de campo obtenida y evaluando su significación mediante un procedimiento estadístico.

Las tendencias por lo general pueden ser aproximadas por la ecuación de regresión lineal y en algunos casos por polinomios que representan tendencias curvilíneas, esto se analizará en



los dos primeros parámetros de una serie: en la media y en la desviación estándar.

▪ **Tendencia en la media**

La tendencia en la media  $T_m$  puede ser expresada en forma general por el polinomio:

$$T_m = A_m + B_m t + C_m t^2 + D_m t^3 \dots$$

Para muchos casos para estimar esta tendencia es suficiente la ecuación de regresión lineal simple:

$$T_m = A_m + B_m t$$

Donde:

$T_m$  : Representa la tendencia en la media de la información Hidrometeorológica corregida o sin salto (Es un proceso estocástico no estacionario)

$A_m, B_m$  : Coeficientes de la ecuación de regresión que deben ser estimados a partir de los datos.

$t$  : Es el tiempo tomado como la variable independiente en el análisis de regresión para evaluar la tendencia, y su valor se determina por:

$$t : (p - 1)w + \tau$$

$$\tau : 1, 2, 3, \dots, w$$

$w$  puede ser 365 o 12 según la serie sea anual o mensual.

$P = 1, 2, \dots, n$ , con igual número de años de registros histórico de los datos.

Las constantes de regresión de estas ecuaciones pueden ser estimadas por el método de mínimos cuadrados o por el método de regresión lineal múltiple en el caso de polinomio.

Para calcular y analizar una tendencia lineal se procede de la siguiente manera: primero se estima los parámetros de la tendencia, luego se evalúa el grado de significación a un nivel de probabilidades, para finalmente corregirlo si ésta resulta significativa.

### **Estimación**

Con la información que se tiene se calcula los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple dados en la ecuación:

$$A_m = + \bar{T}_m - B_m * \bar{t}$$

$$B_m = \frac{R * S_{T_m}}{S_t}$$

$$R = \frac{t * \bar{T}_m - \bar{t} * \bar{T}_m}{S_t - S_{T_m}}$$

Donde:

$T_m$  : Representa la tendencia en la media, y su universo de valores son los valores corregidos libre de saltos, es decir:

$T_m = X'_{(t)}$  : datos para el cálculo de los parámetros.

$\bar{T}_m$  : Es el promedio de la tendencia e igual al promedio de los datos Corregidos de saltos  $X'_{(t)}$

$$\bar{T}_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_{m_i} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X'_{(t)_i}$$

$\bar{t}$  : Es el promedio del tiempo cronológico t. (en forma práctica t= 1, 2..n n= número de datos que existen)

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i$$

$t * \bar{T}_m$  : Es el promedio del producto de la tendencia por el tiempo, y su valor es igual a:

$$t * \bar{T}_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_{m_i} * t_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X'_{(t)_i} * t_j$$

$$S_{Tm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{m_i} - \bar{T}_m)^2}{n - 1}} = SX'_t$$

$S_t$  : Desviación estándar del tiempo t

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - t)^2}{n - 1}}$$

$R$  : Es el coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración

### Evaluación

Para averiguar si la tendencia es significativa se analiza el coeficiente de regresión "Bm" o el coeficiente de correlación "R". En este caso se analiza R según el estadístico "T" de Student, desarrollando los siguientes pasos:

1. Establecimiento de la prueba de hipótesis y del nivel de confianza según:

$H_p : \rho = 0$  (es el coeficiente de correlación poblacional)

$H_a : \rho \neq 0$

$\alpha = 0.05$

2. Cálculo del estadístico  $T_c$  según: (T calculado).

$$T_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

Donde:

$T_c$  : Valor del estadístico T calculado

$n$  : Número total de datos

$R$  : Coeficiente de correlación

3. En las tablas se encuentra el valor "T" tabular al 95% de probabilidades o con un nivel de significancia de 5%, vale decir:

$\alpha$  : 0.05 si tabla es de una sola cosa

$\alpha / 2$  : 0.025 si tabla es de dos colas

G.L : n-2

4. Conclusiones:

Si  $|T_c| \leq |T_t|(95\%)$  R no es significativo, la tendencia no es significativa y no se corrige

Si  $|T_c| > |T_t|(95\%)$  R si es significativo, la tendencia es significativa y se corrige

### Eliminación de la tendencia media

Si resulta el coeficiente de correlación "R" no significativo entonces la información no presenta una tendencia significativa con el 95% de probabilidades, por lo que no es necesaria su corrección; pero si "R" resulta significativo entonces la tendencia es significativa siendo necesaria su corrección respectiva, mediante la siguiente ecuación

$$Y_t = X'_t - T_m$$

$$Y_t = X'_t - (A_m + B_m \cdot t)$$

Donde:

$X'_t$  : Es la serie corregida de saltos

$T_m$  : Tendencia en la media

$Y_t$  : Serie sin tendencia en la media

t : 1,2,3,...,n, con n igual al tamaño de la muestra

La serie  $Y_t$  presenta las siguientes características:

$$E[Y_i] = 0 \text{ y } VAR[Y_i] = VAR[X_i]$$

Para que el proceso  $X'_t$  preserve la media constante, se devuelve el promedio de las  $X'_t$  luego las ecuaciones anteriores toman la forma siguiente, cuyos usos se recomienda.

$$Y_t = X'_t - T_m + \bar{T}_m$$

$$Y_t = X'_t - (A_m + B_m \cdot t) + \bar{T}_m$$

Donde:

$\bar{T}_m$  : Es el promedio de la tendencia en la media o promedio de los valores corregidos de salto.

### ▪ Tendencia en la desviación estándar

Una vez analizado y corregido la tendencia en la media principalmente cuando los datos no son anuales (periódicos), se realiza el análisis de la desviación estándar de la siguiente manera.

### Representación

La tendencia por lo general se presenta en los datos semanales o mensuales no así en anuales. Esta tendencia al igual que la media puede ser aproximada por la ecuación de regresión polinomial tal como:

$$T_s = A_s + B_s t + C_s t^2 + D_s t^3 \dots$$

En la mayoría de casos las tendencias son lineales por lo que una buena aproximación es la ecuación de regresión lineal simple como:

$$T_s = A_s + B_s t$$

Donde:

$T_s$  : Representa la tendencia en la desviación estándar hidrometeorológica corregida sin saltos ni tendencia en la media (Es un proceso estocástico no estacionario).

$T_s = Y_t$  : Valor corregido de tendencias en la media, es decir, datos a usarse para el cálculo de los parámetros.

$A_s$  y  $B_s$  : Coeficiente de la ecuación de regresión que debe ser estimado a partir de los datos.

$t$  : 1,2,3..... $n$

$n$  : Número total de años.

## **Estimación**

Para estimar y evaluar la tendencia en la desviación estándar se procede en la forma siguiente:

1. A la información sin tendencia en la media  $Y_t$  se divide en varios periodos (en años)
2. Para cada periodo (año) se calcula su desviación estándar respectiva, obteniéndose tantos valores de desviación estándar como periodos (años) agrupados se disponga, según:

$$S_p = \left[ \frac{1}{w-1} \cdot \sum_{\delta=1}^w (Y_{p,\delta} - \bar{Y}_p)^2 \right]^{1/2}$$

Donde:

$S_p$  : Es la desviación estándar para el período  $p$  (año  $p$ )

$\bar{Y}_p$  : Es el promedio del periodo  $p$

$Y_{p,\delta}$  : Es la serie sin tendencia en la media

$p$  = 1,2,..., $n$  con  $n$  igual al número de periodos

$\delta$  = 1,2,... $w$

$w$  = 12, 52, 365 o si el análisis es con información mensual semanal o diaria, respectivamente

### **• Ejemplo de seguimiento**

Si la muestra de datos  $Y_t$  se agrupan en periodos de 12 meses (periodo de un año) la ecuación se transforma en:



$$S_p = \left[ \frac{1}{11} \cdot \sum_{\delta=1}^{12} (Y_{p,\delta} - \bar{Y}_p)^2 \right]^{1/2}$$

- $S_p$  : Es la desviación estándar del año  $p$ , es decir de los datos mensuales del año  $p$
- $\bar{Y}_p$  : Es el promedio del periodo  $p$
- $Y_{p,\delta}$  : Es la serie sin tendencia en la media del año  $p$  y del mes  $\delta$
- $p$  = Año se realiza (año n°1 o periodo n° 1 o año n)
- $\delta$  = 1,2,3 ... 12 son los meses del año.

Se calculan los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple a partir de las desviaciones estándar (por decir anuales) y el tiempo  $t$  (en años) o periodos considerados, utilizando de forma similar las ecuaciones dadas para la tendencia en la media.

- **Ejemplo de seguimiento**

Continuando con el ejemplo anterior para periodos de 12 meses. Entonces, se ha formado un grupo de datos de desviaciones estándar y cada una se calculó con la formula de  $S_p$ . Se tiene tantos datos de  $S_p$  como años o periodos que se formaron (con este grupo de datos  $S_p$ ) y con el orden  $t$  que ocupan, se formará la ecuación de regresión lineal simple cuyo coeficiente de correlación lineal  $R$  se calcula de la siguiente manera:

$$A_s = \bar{T}_s - B_s \cdot \bar{t}$$

$$B_s = \frac{R \cdot S_{T_s}}{T_s}$$

$$R = \frac{t * \bar{T}_s - \bar{t} * \bar{T}_s}{S_t - S_{T_s}}$$

Donde:

$\bar{T}_s$  : Representa la tendencia en la desviación estándar, para este caso.

$T_s = S_p$  : es el grupo de datos  $S_p$  que se formaron, y se usará para el cálculo de los parámetros.

$t$  : Es el orden que ocupa cada uno de los datos  $S_p$ .

$n$  : Es el número de periodos formados

$\bar{T}_S$  : Es el promedio de la tendencia (que para nuestro caso vendría haber el promedio de todas las  $S_p$  calculadas).

$$\bar{T}_S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{p_i}$$

$\bar{t}$  : Es el promedio del tiempo cronológico  $t$ , (para el ejemplo los valores de  $t$  sería 1,2,3 ...n , es decir el orden que ocupan los datos  $S_p$ .)

$t * \bar{T}_S$  : Es el promedio del producto de los datos  $S_p$  por el número de orden que ocupan el grupo, y su valor es igual a:

$$t * \bar{T}_S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{p_i} * t_i$$

$S_{T_s}$  : Desviación estándar de la tendencia en la media, y se define también como la desviación estándar del grupo de datos  $S_p$

$$S_{T_s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{p_i} - \bar{S}_p)^2}{n - 1}}$$

$S_t$  : Desviación estándar del tiempo  $t$ , (para el ejemplo los valores de  $t$  sería 1,2,3 ...n , es decir el orden que ocupan los datos  $S_p$ ).

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$$

R : Es el coeficiente de correlación lineal simple entre la tendencia en la media y el tiempo en consideración

### Evaluación

Para averiguar si la tendencia es significativa se analiza el coeficiente de correlación "R" según el estadístico "T" de Student tal como se mostró para la tendencia en la media.

- **Ejemplo de seguimiento**

Se ha desarrollado los siguientes pasos:

1. Establecimiento de la prueba de hipótesis y del nivel de confianza según:

H<sub>p</sub> :  $\rho = 0$  (es el coeficiente de correlación poblacional)

H<sub>a</sub> :  $\rho \neq 0$

$\alpha = 0.05$

2. Cálculo del estadístico T<sub>c</sub> según: (T calculado)

$$T_c = \frac{R * \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - R^2}}$$

Donde:

T<sub>c</sub> : Valor del estadístico T calculado

n : Número total de datos igual a número de periodos S<sub>p</sub>.

R : Coeficiente de correlación.

3. En las tablas se encuentra el valor "T" tabular al 95% de probabilidades o con un nivel de significancia de 5%, vale decir:

$\alpha = 0.05$  si tabla es de una sola cola

$\alpha/2$  = 0.025 si tabla es de dos colas

G.L. = n-2

#### 4. Conclusiones:

Si  $|T_c| \leq |T_t|(95\%)$   $R$  no es significativo, la tendencia no es significativa y no se corrige

Si  $|T_c| > |T_t|(95\%)$   $R$  si es significativo, la tendencia es significativa y se corrige

#### Eliminación de la tendencia en la desviación estándar

Si el coeficiente de correlación  $R$  resulta significativo en la prueba estadística, entonces la tendencia en la desviación estándar es significativo siendo necesario su corrección de la forma siguiente:

$$Z_t = \frac{X'_t - T_m}{T_s}$$

Donde:

$Z_t$  : Serie sin tendencia en la media ni en la desviación estándar.

$X'_t$  : Serie corregida de saltos

$T_m$  : Tendencia en la media

$T_s$  : Tendencia en la desviación estándar

La serie  $Z_t$  presenta las siguientes características:

$$E[Z_t] = 0 \text{ y } VAR[Z_{pt}] = 1$$

Para que el proceso preserve la media y la desviación estándar constante la ecuación toma la forma:

$$Z_t = \frac{X'_t - T_m}{T_s} \cdot \bar{T}_s + \bar{T}_m$$

$$Z_t = \frac{X'_t - (A_m + B_m \cdot t)}{(A_s + B_s \cdot t)} \cdot \bar{T}_s + \bar{T}_m$$

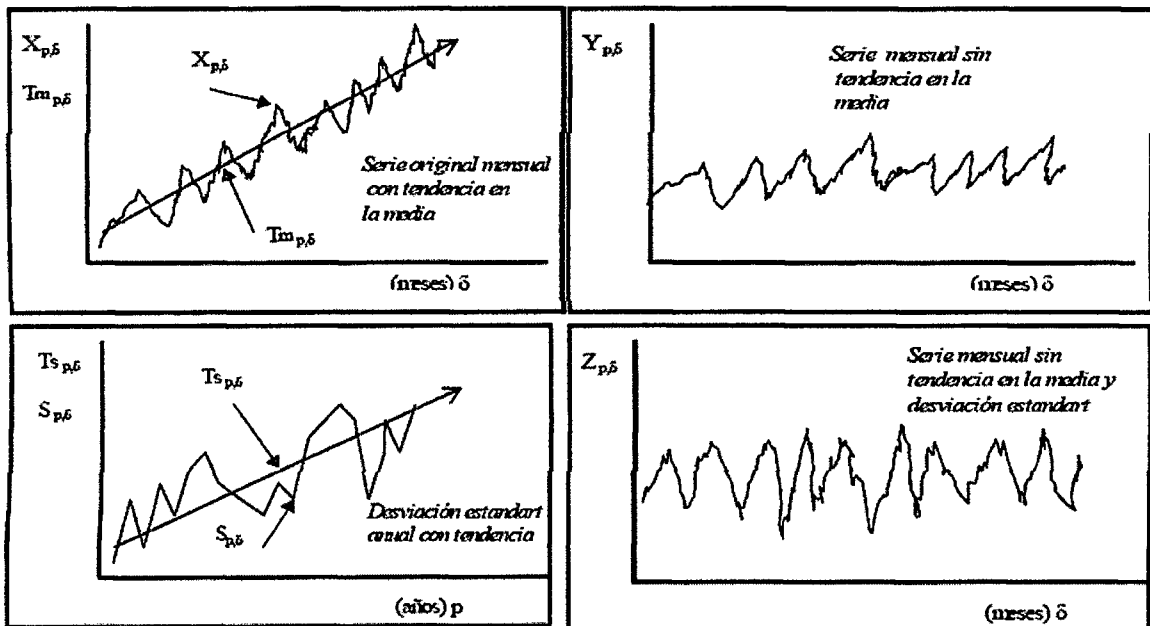
• **Ejemplo de seguimiento**

Los valores de t para el numerador y el denominador no son los mismos y, para el caso del ejemplo estos valores son:

<i>t del numerador</i>	<i>t del denominador</i>
Del 1 ..... 12	1
Del 13 ..... 24	2
Del 25 ..... 36	3
.....	.....
.....	.....
Del (12n-12) ..... 12n	n

Donde n es el número total de periodos del grupo de datos  $S_p$ . Las demás variables han sido definidas en los párrafos anteriores.

En la figura N° 2.23, se muestra como se visualiza la eliminación de las tendencias en la media y la desviación estándar de la serie  $X_{p,\delta}$  (año p, mes  $\delta$ ).



## 2.6.2 COMPLETACIÓN Y/O EXTENSIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

La complementación y extensión de la información se realiza con la finalidad de aumentar el contenido de la información de los registros cortos y tener en lo posible series completas más confiables y de un período uniforme.

Existen varios procedimientos para realizar la complementación y extensión de los datos faltantes, desde la utilización de criterios prácticos como el relleno con el promedio hasta la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas.

Cuando se realiza la complementación y/o extensión de datos hidrológicos o meteorológicos se debe asegurar la confiabilidad de la técnica utilizada debido a que:

- Al aumentar la longitud de un registro de datos se disminuye el error estándar de estimación de los parámetros ya que cuando el tamaño muestral tiende al infinito el estimador se asemeja más al parámetro Poblacional.
- Si el procedimiento no es el adecuado en vez de mejorar los estimados se empeoran, siendo preferible utilizar los registros cortos.

El proceso de completación se realiza en las series consistentes, vale decir, después de haber analizado la confiabilidad de los mismos.

### Tipos de Correlación

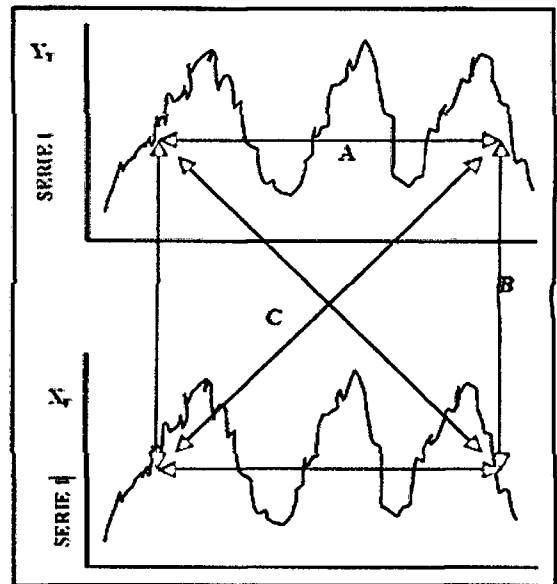
[02, Aliaga, 1985] Para efectos de comprensión de la terminología utilizada, en la figura N° 2.24 se define las correlaciones existentes en el tiempo y en el espacio las mismas que son:

Figura N° 2.24

A.- Correlación en el tiempo solamente:  
Autocorrelación o correlación temporal o correlación lineal sin desfase.

B.- Correlación en el espacio solamente:  
Correlación cruzada o correlación espacial o correlación serial sin desfase.

C.- Correlación en el tiempo y en el espacio:  
correlación espacial y temporal o correlación cruzada con desfase.



### 2.6.2.1 ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

La ecuación de R.L.S es lineal porque genera una línea y es simple porque intervienen solamente dos variables. La representación matemática es:

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i \quad \text{Modelo matemático}$$

$$Y_i = \alpha + \beta * X_i + \varepsilon_i \quad \text{Modelo estocástico}$$

Donde:

$Y_i$  : Es la variable dependiente

$X_i$  : Es la variable independiente

$\alpha$  y  $\beta$  : Son los parámetros de la ecuación de regresión,  $\alpha$  es el punto de intersección entre la línea de regresión y el eje "Y";  $\beta$  es el coeficiente de regresión o pendiente de la línea de regresión el mismo que explica cuan rápido aumenta o disminuye la variables dependiente "Y" con un cambio "X"; el residuo que queda de la variable "Y" que no ha sido considerado en "X", existe debido a que las muestras son al azar y debido al efecto de otras variables.

Para que el proceso de inferencia sea válido es necesario que las variables cumplan ciertas condiciones a las que se denomina suposiciones y son: (1) Que el modelo propuesto sea el adecuado. (2) Para cada valor de X se genera una distribución de valores Y los cuales son normales. (3) Los errores se distribuyen normalmente e independientes con media cero y variancia  $\sigma^2$ . (4) Existe homogeneidad de varianza. (5) Las muestras son al azar. (6) Los valores de X son fijos medidos sin error.

El método utilizado para estimar los parámetros de la ecuación de regresión es el de mínimos cuadrados, que consiste como su nombre lo indica en minimizar la suma de cuadrados del error.

### **Estimación de los parámetros**

Los valores estimados de la regresión lineal son:

$$a = \frac{\sum Y_i - b * \sum X_i}{n} = \bar{Y} - b * \bar{X}$$

$$b = \frac{\sum Y_i X_i - \bar{Y} \sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i} = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y}) \sum (X_i - \bar{X})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}$$

$$r = b * \left\{ \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \right\}^{1/2} = b \frac{S_x}{S_y}$$

Donde:

- $r$  : Es el coeficiente de correlación entre X, Y
- $S_x$  : Es la desviación estándar de X
- $S_y$  : Es la desviación estándar de Y



## Prueba de hipótesis del grado de asociación

Para probar el grado de asociación de las variables Y, X se hace uso del coeficiente de correlación, siguiendo los siguientes pasos.

1° Hp:  $\rho = 0$

Ha:  $\rho \neq 0$

$\alpha = 0.05$  ( $\rho$  es el coeficiente de correlación poblacional y su valor varia de

$-1$  a  $+1$ )

2° Cálculo del estadístico de la prueba

$$T_c = r * \frac{(n - 2)^{1/2}}{(1 - r^2)^{1/2}}$$

T tabular o teórico con  $\alpha$  y n-2 grados de libertad

3° Criterio de decisión:

Si  $|T_c| \leq |T_t|$  entonces, se acepta la hipótesis planteada, vale decir  $\rho = 0$

Si  $|T_c| > |T_t|$  entonces, el coeficiente de correlación es significativo al 95% de probabilidad, siendo factible en este caso utilizar la ecuación de regresión para los objetivos deseados.

### **2.6.2.2 PROCESOS DE COMPLETACIÓN DE DATOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE**

Como se mencionó anteriormente, completar significa llenar los vacíos en la información hidrometeorológica existente. Para realizar el proceso de complementación de datos de una estación en base a otra, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Buscar o seleccionar las estaciones que guardan buena relación con la estación que se quiere completar.

- En los análisis respectivos no juntar datos de épocas secas con datos de épocas húmedas, sino que realizar el proceso separadamente.
- Si se dispone de pocos datos regresibles entonces completar el dato faltante con un coeficiente de correlación alto.
- Cerciorarse o verificar de que las características de la cuenca de la estación completa y de la estación a completar sean similares en su comportamiento hidrológico. Para este paso se usa los parámetros: área, ubicación, orografía, altura, forma, vegetación, etc. Cuanto más similares sean estas características es más probable que la correlación entre estaciones cercanas de un mismo río son relativamente buenas.
- Verificar que los escurrimientos superficiales registrados en las estaciones sean efecto de las mismas causas (precipitación, afloramientos de aguas subterráneas, nievales, regulaciones, etc.).
- Para realizar la complementación de datos de ser posible probar la normalidad de las series, y si no lo son, transformarles a normales; en la mayoría de los casos esta condición es asumida como un hecho.

Con las consideraciones anteriores el proceso de complementación se realiza teniendo en cuenta el intervalo de tiempo de discretización de los datos, vale decir: Complementación de datos anuales y Complementación de datos no anuales. **(Solamente se explicará la complementación de datos no anuales).**

▪ **Completación de datos no anuales**

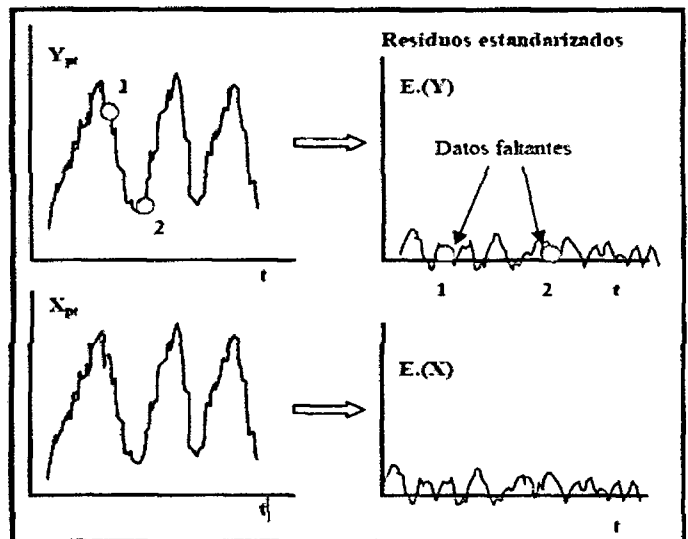
**[02, Aliaga, 1985]** Cuando se trata de completar datos no anuales (mensuales, semanales o diarios) el problema es más complicado porque las series además de ser dependientes son periódicas o cíclicas, características que disminuyen

enormemente la bondad de la prueba estadística; en este caso puede suceder que:

**Figura N° 2.25**

a.- Se realiza el proceso de complementación mes a mes. Vale decir se desea completar el mes "i" de la estación "Y" con el mes "i" de la estación "X". En este caso no interesa la ciclicidad.

b. Se completa los datos por autocorrelación entre el mes "i" el mes "i-1" en este caso tampoco interesa la periodicidad.



c.- Si se completa los datos no anuales en su totalidad o se agrupan según las estaciones o comportamiento hidrológico, entonces si hay que remover las periodicidades temporalmente y realizar la correlación en los residuos estandarizados de las series, como se ilustra en la **figura 2.25**.

El procedimiento para realizar la complementación con series no anuales según el caso "c" es como se describe a continuación:

1º- Realizar un análisis gráfico ploteando en coordenadas cartesianas los datos de las dos estaciones respectivas.

2º- Cálculo de las periodicidades en la media y desviación estándar en las series completas e incompletas que se van a correlacionar.

$$M\tau(x) = \frac{\left[ \sum_{p=1}^n X_{p,\tau} \right]}{n}$$

$$S\tau(x) = \left[ \frac{\sum_{p=1}^n (X_{p,\tau} - M\tau(x))^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

$$M_{\tau}(y) = \frac{\left[ \sum_{p=1}^n Y_{p,\tau} \right]}{n}$$

$$S_{\tau}(y) = \left[ \frac{\sum_{p=1}^n (X_{p,\tau} - M_{\tau}(y))^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

Donde:

$M_{\tau}(y), M_{\tau}(x)$

: Son las medias periódicas de los datos X e Y,

$S_{\tau}(y), S_{\tau}(x)$

: Son las desviaciones estándar periódicas de los datos X e Y

$X_{p,\tau}, Y_{p,\tau}$

: Son los registros periódicos completos e incompletos, respectivamente.

p

= 1,2, .....n con "n" igual al número de años de

registro

$\tau$

= indica la variación del periodo básico de análisis

$\tau$

= 1,2,3....w, con w = periodo básico de análisis y

puede ser

w

= 12,52, o 356 si el análisis es mensual, semanal o diario.

3º- Remoción temporal de las periodicidades a partir de los registros históricos de las series X e Y.

$$E_{p,\tau}(Y) = \frac{Y_{p,\tau} - M_{\tau}(y)}{S_{\tau}(y)}$$

$$E_{p,\tau}(X) = \frac{Y_{p,\tau} - M_{\tau}(X)}{S_{\tau}(X)}$$

Donde:

$E_{p,\tau}(Y)$  y  $E_{p,\tau}(X)$

: Son los residuos estandarizados de las series Y, X

respectivamente, vale decir, sin periodicidades en la media ni en distribución estándar, como se muestra en la figura anterior.

Los residuos de X e Y se pueden representar por: **E(x), E(y)** respectivamente, por simplicidad de notación; los demás términos han sido descritos anteriormente.

4º- Realizar el proceso de correlación y regresión en los residuos estandarizados, es decir:

- Sea el modelo de selección:  $E(y) = A + B * E(x)$ .
- Calcular el coeficiente de correlación "r" entre E(y) y E(x), es decir, en los residuos estandarizados.
- Realizar la prueba de significación de "r" ( Hp: r=0; Ha: r≠0) según el estadístico "T" (explicado anteriormente).
- Si "r≠0" es decir resulta significativo al 95% de probabilidad, realizar la complementación respectiva; pero si no es significativo, entonces probar con otro registro de datos (otras estaciones).
- Calcular los parámetros de la regresión según:

$$A = \overline{E(Y)} - B * \overline{E(X)}$$

$$B = r \frac{S_{ey}}{S_{ex}}$$

Donde:

$\overline{E(Y)}, \overline{E(X)}$  : Son los promedios de los residuos estandarizados

$S_{ey}, S_{ex}$  : Son las desviaciones estándar de los residuos estandarizados.

- Luego, el dato faltante de los residuos estandarizados se completa según la ecuación:

$$\hat{E}(Y) = A + B * E(X)$$

Donde:

$\hat{E}(Y)$  : Es el dato faltante en la serie incompleta

$E(X)$  : Es el dato de la serie completa

Finalmente, completado los datos en los residuos se procede a devolver las periodicidades, es decir la media y la desviación estándar; una forma directa es usando los estimados previos es la siguiente:

$$Y_{p,\tau} = M_{\tau}(y) + S_{\tau}(Y) * \hat{E}_{p,\tau}(y)$$

Los componentes fueron explicados anteriormente.

### 2.6.2.3 EXTENSIÓN DE DATOS NO ANUALES

Extender un registro histórico significa aumentar los datos un período considerable antes del primer dato o después del último. Muchas veces también se tiene que extender un periodo intermedio.

La extensión es muy importante por cuanto hace variar los estimados de los parámetros, esto es: si el procedimiento es adecuado entonces se mejora los estimados, pero si el procedimiento no es el adecuado entonces se puede empeorar los estimados.

En la presente tesis se empleó el segundo método para la extensión de la información:

- Regresión lineal simple en los datos estandarizados este método es similar al de la complementación de datos descritos anteriormente.
- **Generación aleatoria**, este método consiste en extender la serie de datos estandarizados mediante la generación de números aleatorios normalmente distribuidos con media 0 y variancia 1, su ecuación general es:

$$Y_{p,\tau} = M_{\tau}(y) + S_{\tau}(Y) * \varepsilon_{p,\tau}(y)$$

Donde:

$\varepsilon_{p,\tau}(y)$  : Variable aleatoria normal e independiente con media cero y varianza unitaria. Para el año “p” y el mes “t”, Las demás variables fueron descritas con anterioridad.

En el siguiente cuadro se presenta los números aleatorios normalmente distribuidos con media cero y desviación estándar 1, para la simulación de un periodo extendido de caudales generados en la microcuenca Palcca – río Nuñunhuaycco.

**Cuadro N° 2.01**

**Números aleatorios Normalmente distribuidos para los datos de los caudales de la microcuenca Palcca – río Nuñunhuaycco.**

**Media 0                  Desviacion Estandar 1**

<b>NUMEROS ALEATORIOS GENERADOS CON DISTRIBUCION NORMAL</b>												
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1995	-0.17	-0.22	0.16	0.93	-0.62	-0.70	-0.57	-0.23	-0.52	-0.96	2.03	0.01
1996	1.01	0.69	0.31	0.70	-0.78	-0.50	-0.31	-0.50	0.01	-0.93	-1.15	-0.61
1997	0.18	-0.66	-2.01	-1.12	0.51	-0.70	-0.41	2.64	0.39	-1.62	-0.08	-0.04
1998	0.19	0.31	-0.26	-1.31	-0.66	1.99	-0.64	-0.81	-1.25	0.13	-0.47	-0.82
1999	-0.78	1.64	0.24	1.26	-0.52	-0.35	-0.10	-0.92	1.55	-0.29	-0.65	-0.73
2000	-0.98	-1.39	0.04	-0.74	1.56	2.35	-0.33	0.80	-1.40	3.29	-1.22	-0.39
2001	0.66	-1.08	2.54	-0.35	3.08	0.77	0.40	-0.31	-0.74	0.10	-0.07	-1.49
2002	-0.29	0.31	-0.07	-1.00	0.24	-0.30	3.46	0.12	2.36	-0.39	2.05	2.71
2003	0.07	-0.14	0.02	0.39	0.15	-0.70	-0.64	0.49	0.43	0.13	-0.24	0.61
2004	-1.39	0.59	-0.16	-0.83	-0.50	1.28	0.32	-0.28	0.42	0.34	0.22	0.30
2005	-1.03	-1.35	-0.47	-0.27	-0.77	-0.70	-0.28	1.71	0.78	0.28	-0.95	0.27
2006	-0.31	-0.28	1.08	-0.14	-0.57	-0.03	-0.64	0.82	0.19	-0.06	-0.15	-1.15
2007	-1.07	-0.97	1.02	1.00	0.24	-0.60	-0.23	-0.74	0.17	0.48	-0.21	0.46
2008	0.59	0.68	-1.35	-0.80	-0.11	0.27	-0.64	-0.62	-0.88	-0.25	0.11	-0.11
2009	-0.58	-0.39	0.17	0.65	-0.76	-0.70	0.75	-0.92	-0.98	0.03	1.10	-0.04
2010	1.60	-0.05	-0.89	-0.61	-0.49	-0.70	-0.64	-0.67	-0.83	-0.09	-1.12	1.28
2011	2.31	2.29	-0.36	2.24	0.00	-0.70	0.53	-0.58	0.28	-0.20	0.79	-0.29
<b>Media</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>Desv Estad</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>0.971</b>

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 MATERIALES

- Información cartográfica.
- Información hidrometeorológica.
- Equipos y programas de cómputo

##### 3.1.1 CARTOGRAFÍA

Se utiliza la siguiente hoja de la carta nacional 28 ñ a escala 1: 100 000, así mismo la elaboración de los mapas, fueron elaborados en función a la carta digitalizada y presentadas a escala 1:50 000.

##### 3.1.1.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO DE LA ZONA EN ESTUDIO

El escenario lo constituirá la Microcuenca Palcca que aporta agua superficial al río **Ñuñunhuaycco (alturas de Pomabamba, centro poblado más cercano Santa Cruz de Ñuñunhuaycco)**, por lo que es necesario describir a grandes rasgos la fisiografía de la microcuenca, donde se llevarán a cabo todos los eventos hidrometeorológicos.



La descripción general de los aspectos geológicos y ecológicos se realizó en función al estudio realizado en el año 1972 y 1973 por la “Ex-Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales” ONERN hoy INRENA.

### 3.1.1.2 LA MICROCUENCA PALLCCA

#### UBICACIÓN Y DEMARCACION DE LA UNIDAD FISIOGRAFICA

Distrito : María Prado de Bellido  
 Provincia : Cangallo  
 Departamento : Ayacucho  
 Coordenadas sección de control del rio Ñuñuhuaycco.  
 Este : 575,693.29  
 Norte : 8'499,540.17  
 Altura : 3705 msnm

Las principales relaciones de área de interés de la microcuenca Pallcca se presentan en el cuadro N° 3.01, donde área de estudio representa el 100% del área total, es decir 15.26 km<sup>2</sup>; el área de acuíferos el 3.05 km<sup>2</sup> que representa el 20 % del área total y el 80% restante es el área de pastos naturales con 1.21 km<sup>2</sup>.

<b>Cuadro N° 3.01</b>		
<b>PRINCIPALES AREAS</b>		
Área de la Microcuenca Pallcca	15.26	km <sup>2</sup>
Área de la Zona en Estudio	15.26	km <sup>2</sup>
Porcentaje: Área de Estudio de la Microcuenca Pallcca	<b>100</b>	<b>%</b>
Área de Acuíferos de la Microcuenca Pallcca	3.05	km <sup>2</sup>
Porcentaje: Área de Acuíferos/ Área de la Cuenca	<b>20</b>	<b>%</b>
Área de Pastos naturales de la Microcuenca Pallcca	12.21	km <sup>2</sup>
Porcentaje: Área de Acuíferos/ Área de la Cuenca	<b>80</b>	<b>%</b>

Los parámetros geomorfológicos, mapas influencia de acuíferos, ecológicos, geológicos, y red hidrográfica de la microcuenca Pallcca fueron estimados por el programa (Arc Gis V. 9.3) y se visualizan en los Mapas 3.02, 3.03, 3.04 y 3.05.



LEYENDA

ARTAN PRODUCIDA ..... 15.26 HECT. 100%

AREA DE MANEJO DE AGUA ..... 3.05 HECT. 20%

AREA DE PASTIZO NATURAL ..... 12.21 HECT. 80%

TOTAL ..... 30.52 HECT.

Elaborado por:  
 Ing. Ronald Merino Vega

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
<b>Plano:</b> Area de cultivos con influencia de acuíferos	<b>Elaborado:</b> Bach. Ronald Merino Vega	<b>Plano</b> 3.01
<b>Proyeccion Cartografica:</b> WGS 1984 UTM 18 SUR	<b>Escala:</b> 1/30 000	

## ASPECTOS GEOLOGICOS

[07, FONIPREL, 2010]

### ▪ **Geomorfología**

Con respecto al lecho del río Ñuñunhuaycco, afluente principal de la microcuenca Pallcca, este presenta formas meandriforme, con fragmentos de terrazas de inundación, estimando una gradiente menor del 1/100, con ancho de cauce que varía de 3 a 5 m.

Se presentan pequeñas quebradas cortas de escorrentía temporal que confluyen a la quebrada Pallcca, con pendientes promedio de 5/100 a 8/100.

### ▪ **Litología y estratigrafía**

#### **a) Formación Huacaña Jm-hu**

La zona de estudio se encuentra ocupada por afloramiento de roca arenisca cuarzosa, de color gris a gris verdosa, que correspondería a la formación Huacaña en el miembro Minaschayoc, con un grado de resistencia alto, poco meteorizada y con presencia de algunas fisuras.

El afloramiento de esta unidad geológica es una arenisca de color gris a gris verdosa, en bancos medianos, intercalados con lutitas calcáreas en capas delgadas y areniscas en menor proporción.

#### **b) Depósito Fluvio Glaciar Q-fg**

Está constituida por la acumulación de materiales heterogéneos como fragmentos de gravas, cantos y bloques de bordes angulosos a sub angulosos, de naturaleza sedimentaria de tipo arenisca, caliza, margas, etc., con un relleno de arena limo arcillosa; se estima un espesor de 3.00 a 5.00 m. Son datadas como del Cuaternario reciente.

**c) Depósito Aluvial y Fluvial Q-al / Q/fl**

Estas unidades geológicas se presentan en el cauce actual del río **Ñuñunhuaycco** y sus pequeños afluentes.

Está constituida por la acumulación de materiales transportados, de arena gravosa a grava arenosa con pocos finos, con inclusiones de cantos y algunos bloques, de consistencia suelta, de color gris claro a gris, con fragmentos de bordes sub angulosos, de naturaleza sedimentaria de tipo arenisca, calcáreo e intrusivo. Son datadas como del Cuaternario reciente.

▪ **Geología estructural**

Estructuralmente no se han observado evidencias de un tectonismo intenso que afecte la zona de estudio, observando sistemas de fracturas variados, típico de rocas que han sufrido una tectónica antigua, actualmente inactivo.

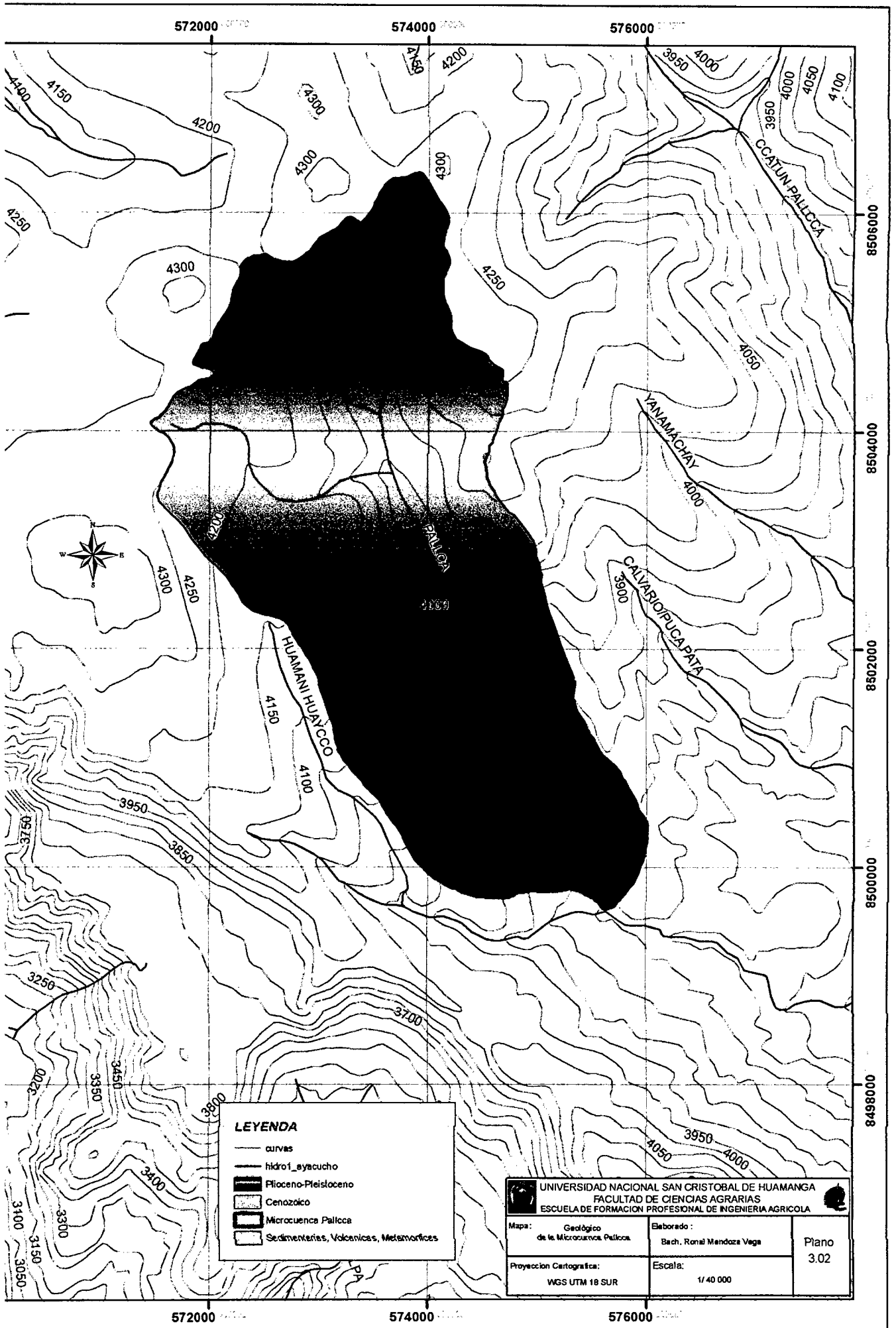
Según la geología regional, esta unidad geológica está afectada por la tectónica Fase Peruana, con una deformación débil a moderada que han formado pliegues de anticlinales y sinclinales.

Los sistemas de fracturas mas importantes tiene buzamiento vertical a sub vertical, en variada direcciones, considerando un grado de fisuras moderado, con riesgo de posible caída de bloques. Es posible la ocurrencia de caídas de bloques.

▪ **Geodinámica externa**

No se han observado fenómenos de inestabilidad de talud, como: deslizamientos, derrumbes, asentamientos, etc y otras ocurrencias.

Se presume que en época de lluvias las quebradas afluentes pueden venir arrastrando sedimentos gruesos que pueden originar pequeños huaycos de poca magnitud, siendo necesario observar su ocurrencia en época de lluvias.



**LEYENDA**

- curvas
- hidro\_ayacucho
- Plioceno-Pleistoceno
- Cenozoico
- Microcuena Palloca
- Sedimentarias, Volcanicas, Metamorficas

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
Mapa: Geológico de la Microcuena Palloca	Elaborado: Bach. Ronald Mendoza Vega	Plano 3.02
Proyeccion Cartografica: WGS UTM 18 SUR	Escala: 1/40 000	

## ASPECTOS ECOLOGICOS

[07, FONIPREL, 2010]

- **Descripción de las zonas de vida.**

En el presente acápite se menciona el escenario ecológico de la zona estudiada con la finalidad de presentar una idea "Sui generis" en este aspecto.

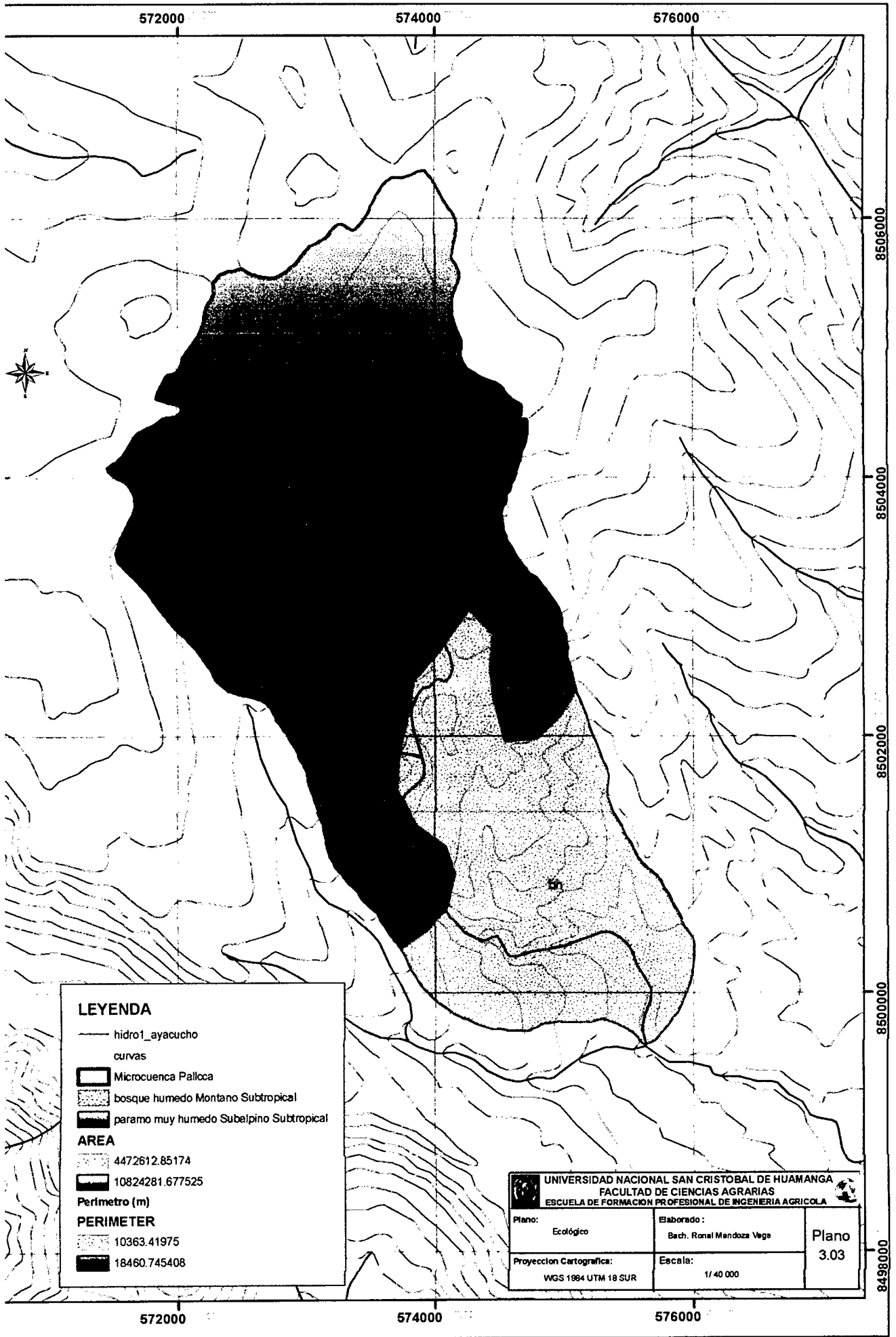
De acuerdo al mapa ecológico del Perú elaborado por la "Ex -Oficina Nacional de Recursos Naturales" ONERN hoy INRENA y el diagrama bioclimático para la clasificación de zonas de vida por L.R. HOLDRIDGE, así como las observaciones y análisis de campo; nos demuestran que en el área existe una zona de vida: Bosque Húmedo-Montano Subtropical (bh) y Paramo muy húmedo Subalpino Sub tropical (pmh)

**a) Bosque Humedo-Montano Sub Tropical (bh-MS)**

Se encuentra localizada entre 3700 y 4000 m, con variaciones microclimáticas de acuerdo a los pisos altitudinales. La vegetación primaria de esta formación ha sido alterada completamente. En la actualidad se observan muy pocas asociaciones de arbustos y árboles y muchas áreas de cultivos de subsistencia. En algunas zonas se localizan formaciones de eucaliptos.

**b) Paramo muy húmedo Subalpino Sub tropical (pmh)**

Se encuentra localizada entre 4,000 y 4,400 m, con variaciones microclimáticas de acuerdo a los pisos altitudinales, con presencia de precipitaciones fuertes. La vegetación primaria son plantas pequeñas de porte almodillado y arrosetado.



**LEYENDA**

- hidro1\_ayacucho curvas
  - ▭ Microcuenca Palcca
  - ▨ bosque humedo Montano Subtropical
  - ▩ paramo muy humedo Subalpino Subtropical
- AREA**
- ▨ 4472612.85174
  - ▩ 10824281.677525
- Perimetro (m)**
- PERIMETER**
- ▨ 10363.41975
  - ▩ 18460.745408

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
Plano: Ecológico	Elaborado: Bach. Ronal Mendoza Vega	Plano 3.03
Proyeccion Cartografica: WGS 1984 UTM 18 SUR	Escala: 1/40 000	



572000



574000

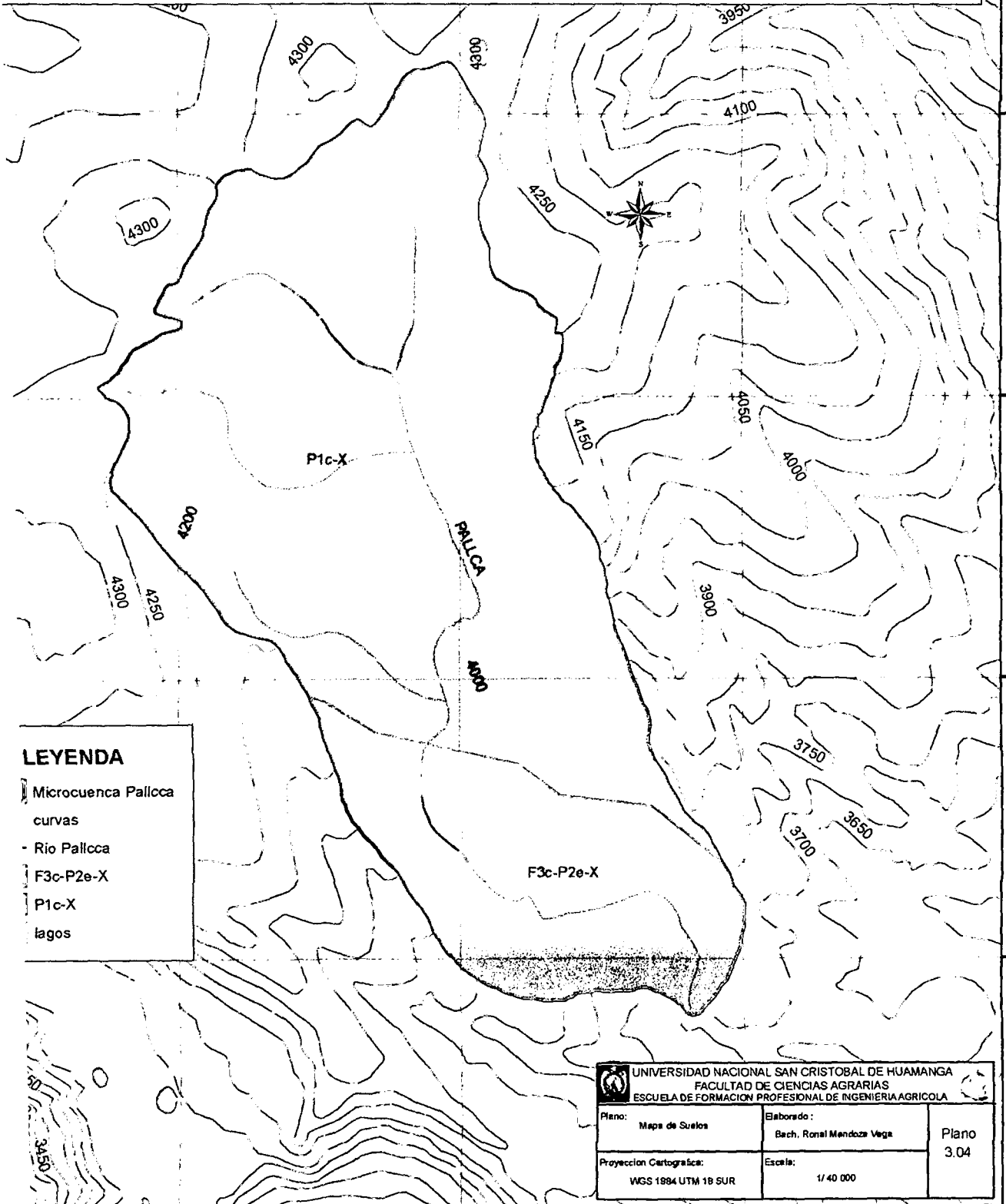
576000

4200







40

**descripcion**

-  Tierras aptas para pastos, calidad agricola alta, tierras aptas para cultivos permanentes - Tierras de Proteccion
-  Tierras aptas para produccion forestal, calidad agricola baja, limitante por clima - Tierras aptas para pastos, calidad agricola media, limitante por erosion- Tierras de Proteccion



**LEYENDA**

-  Microcuenca Palcca
-  curvas
-  Rio Palcca
-  F3c-P2e-X
-  P1c-X
-  lagos

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
Plano:	Elaborado:	Plano 3.04
Mapa de Suelos	Bach. Ronal Mendoza Vega	
Proyeccion Cartografica:	Escala:	
WGS 1984 UTM 18 SUR	1/40 000	

572000

574000

576000

4100

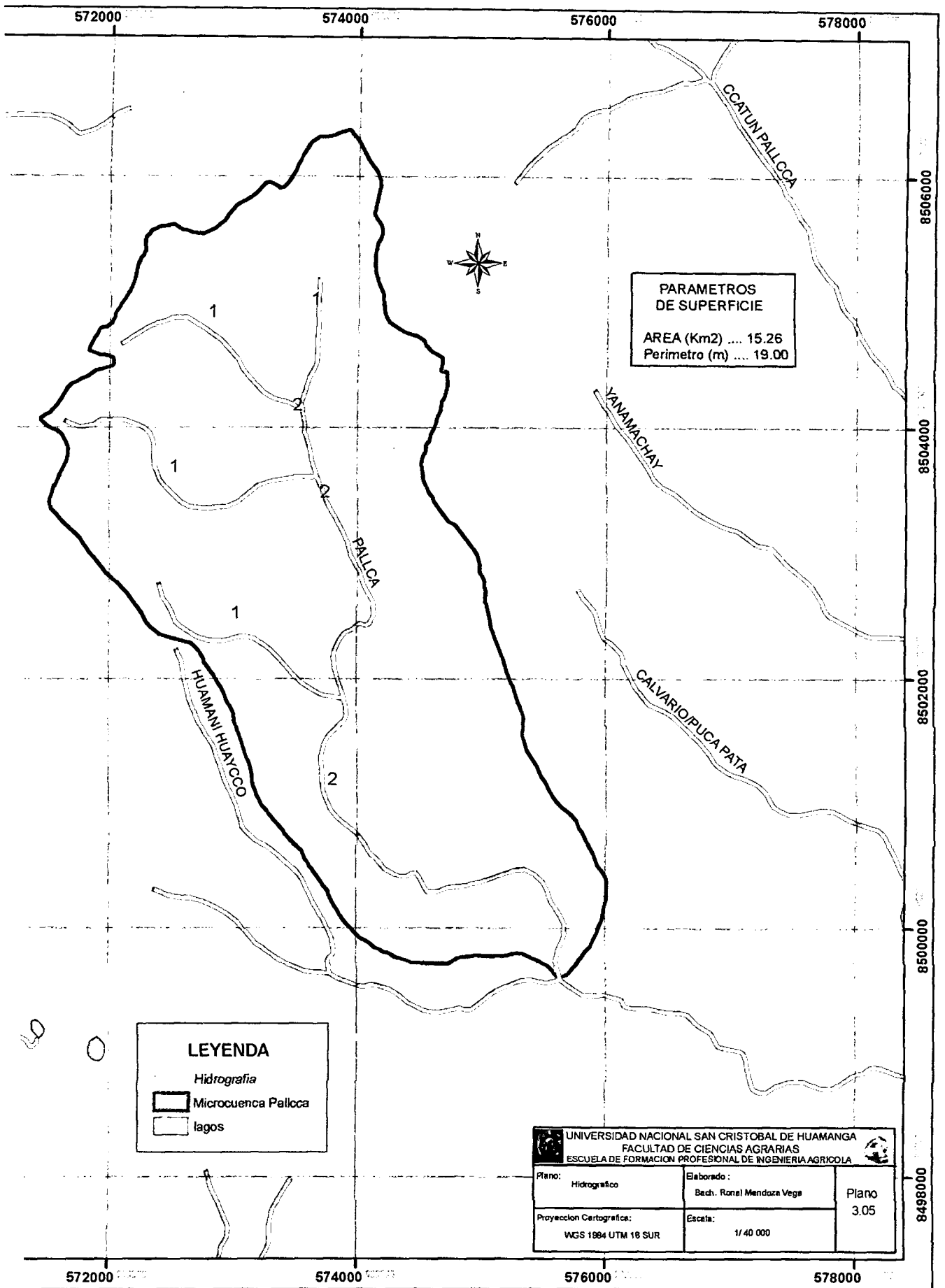
8506000

8504000

8502000

8500000

3450



**PARAMETROS DE SUPERFICIE**  
 AREA (Km2) .... 15.26  
 Perimetro (m) .... 19.00

**LEYENDA**  
 Hidrografia  
 [Thick black line] Microcuenca Palca  
 [Thin black line] lagos

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
Plano: Hidrografico	Elaborado: Bach. Ronal Mendoza Vega	Plano 3.05
Proyeccion Cartografica: WGS 1984 UTM 18 SUR	Escala: 1/40 000	

### 3.1.2 INFORMACION HIDROMETEOROLOGÍA

Los datos hidrometeorológicos empleados para el presente trabajo están constituidos por registros de precipitación, temperatura, humedad, radiación solar, evaporación, proporcionados por la oficina de coordinación de Actividades, OPEMAN – del Área de la Red Hidrometeorológica.

#### 3.1.2.1 INFORMACION HIDROMETRICA

Las descargas diarias fueron registradas por el tesista durante un año calendario en la sección de control del río Ñuñunhuaycco, Siguiendo la metodología que a continuación se presenta.

- **Medición del agua**

Se cuantifica el caudal de agua que pasa por la sección transversal del río Ñuñunhuaycco, para esto se utilizó la siguiente formula.

$$Q = A \times V$$

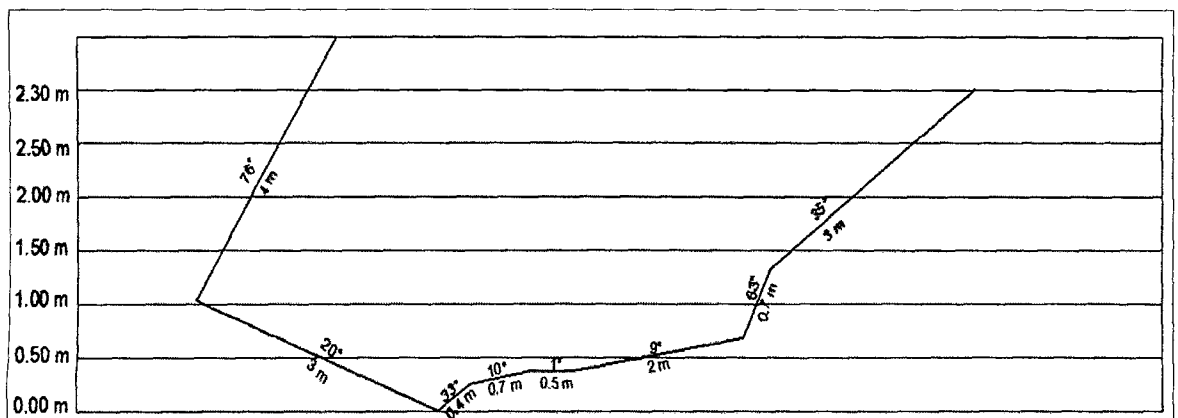
Dónde:

Q = Caudal o Gasto (m<sup>3</sup>/s)

A = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

V = Velocidad media del agua en la sección hidráulica (m/s)

Grafico N° 3.01 Sección de control del Río Ñuñunhuaycco.



▪ **Medición de la velocidad**

Se determinó la velocidad por la fórmula de manning mediante la siguiente ecuación.

$$V = \frac{1}{n} * \left(R^{\frac{2}{3}}\right) * \left(S^{\frac{1}{2}}\right)$$

Dónde:

v : Velocidad (m / s)

n : coeficiente de manning

s : Pendiente de la sección de aforo (%)

R : Radio hidráulico de la sección de aforo (m)

Se determinó la velocidad superficial del agua por el método del flotador, con la siguiente ecuación.

$$V = e/t$$

Dónde:

v : Velocidad (m / s)

e : Espacio recorrido por el flotador (m)

t : Tiempo de recorrido del espacio «e» por el flotador (s)

Se calibró la velocidad del método manning con la del flotador para obtener el coeficiente de manning en la sección de control. Finalmente con las ecuaciones anteriores se determina el caudal de río Ñuñunhuaycco, a diferentes niveles de agua tanto en los periodos secos como en los periodos húmedos, debido a que el área de la sección como la velocidad la del flujo varía con los cambios de altura del nivel de agua. Las características de la sección seleccionada deben ser estables y de fácil acceso.

$$Q = A * \frac{1}{n} * \left(R^{\frac{2}{3}}\right) * \left(S^{\frac{1}{2}}\right)$$

Q : Caudal (m<sup>3</sup> / s)

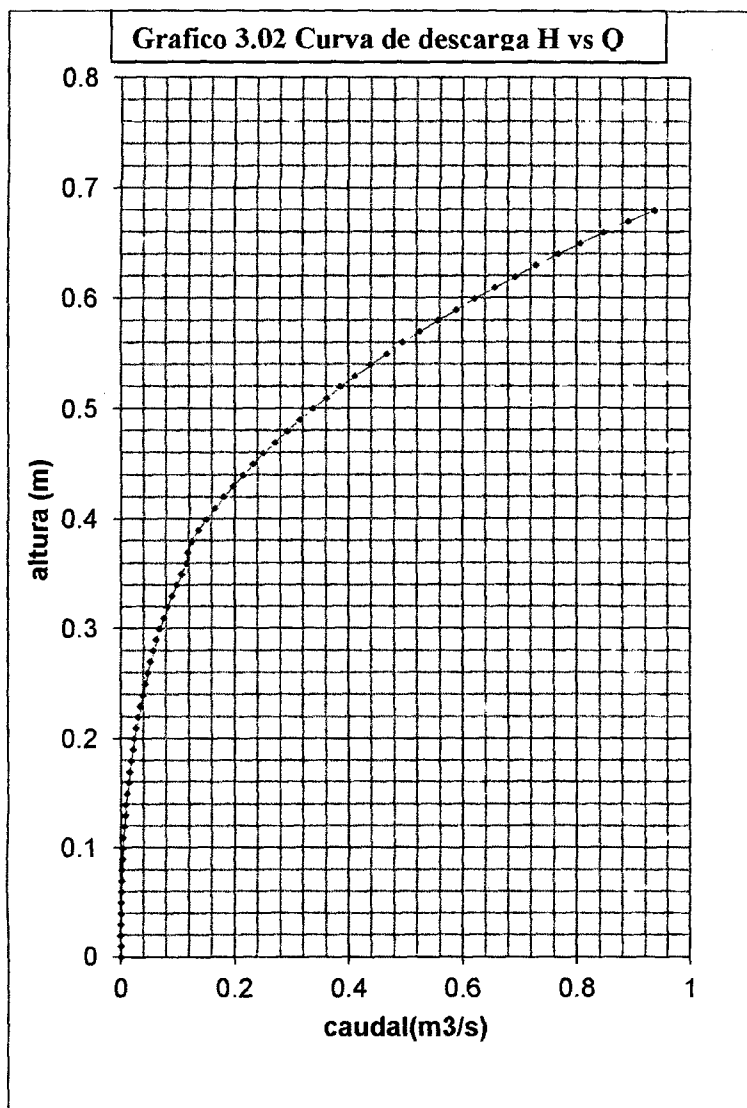
A: Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

n : coeficiente de manning

s : Pendiente de la sección de aforo (%),

R : Radio hidráulico de la sección de aforo (m)

El periodo de registrado de caudales diarios correspondientes a uno calendario del rio Ñuñunhuaycco, la curva descarga H vs Q y su respectiva ecuación se presentan en el grafico N° 3.02 y los cuadros N° 3.02 , N° 3.03.



Cuadro N° 3.02

CURVA DE DESCARGA DE CORRIENTES - RIO NUNUNHUAYCCO												
AUTOR: WENDOR CHIBREQUEMORAN												
A (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	n	s (%)	Q (m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	SECO	TRANSIC	TRANSIC	TRANSIC	
0	0	0	0	0.039	0.003	0	0					
0.01	0.001	0.060	0.015	0.039	0.003	0.000	0.085					
0.02	0.001	0.095	0.011	0.039	0.003	0.000	0.067					
0.03	0.002	0.142	0.014	0.039	0.003	0.000	0.082					
0.04	0.003	0.190	0.016	0.039	0.003	0.000	0.088					
0.05	0.005	0.237	0.021	0.039	0.003	0.001	0.107					
0.06	0.008	0.284	0.028	0.039	0.003	0.001	0.130					
0.07	0.010	0.332	0.030	0.039	0.003	0.001	0.136					
0.08	0.014	0.379	0.037	0.039	0.003	0.002	0.156					
0.09	0.017	0.426	0.040	0.039	0.003	0.003	0.164					
0.1	0.021	0.474	0.044	0.039	0.003	0.004	0.176					
0.11	0.026	0.521	0.050	0.039	0.003	0.005	0.190					
0.12	0.031	0.569	0.054	0.039	0.003	0.006	0.202					
0.13	0.036	0.616	0.058	0.039	0.003	0.008	0.212					
0.14	0.042	0.663	0.063	0.039	0.003	0.009	0.223					
0.15	0.048	0.711	0.068	0.039	0.003	0.011	0.233					
0.16	0.055	0.758	0.073	0.039	0.003	0.013	0.244					
0.17	0.062	0.806	0.077	0.039	0.003	0.016	0.254					
0.18	0.069	0.853	0.081	0.039	0.003	0.018	0.263					
0.19	0.077	0.900	0.086	0.039	0.003	0.021	0.273					
0.2	0.085	0.948	0.090	0.039	0.003	0.024	0.281					
0.21	0.094	0.995	0.094	0.039	0.003	0.027	0.291					
0.22	0.103	1.042	0.099	0.039	0.003	0.031	0.300					
0.23	0.113	1.090	0.104	0.039	0.003	0.035	0.310					
0.24	0.123	1.137	0.108	0.039	0.003	0.039	0.319					
0.25	0.133	1.199	0.111	0.039	0.003	0.043	0.324	AGOSTO				
0.26	0.144	1.287	0.112	0.039	0.003	0.047	0.326	AGOSTO				
0.27	0.157	1.375	0.114	0.039	0.003	0.052	0.331	AGOSTO				
0.28	0.170	1.463	0.116	0.039	0.003	0.057	0.334	AGOSTO	SETIEMBRE			
0.29	0.183	1.551	0.118	0.039	0.003	0.062	0.338	JULIO	SETIEMBRE			
0.3	0.198	1.639	0.121	0.039	0.003	0.068	0.343	JULIO	SETIEMBRE			
0.31	0.213	1.727	0.123	0.039	0.003	0.074	0.348	JULIO	SETIEMBRE			
0.32	0.230	1.815	0.127	0.039	0.003	0.081	0.354	JUNIO	SETIEMBRE			
0.33	0.247	1.903	0.130	0.039	0.003	0.089	0.360	JUNIO	OCTUBRE			
0.34	0.265	1.991	0.133	0.039	0.003	0.097	0.366	JUNIO	OCTUBRE			
0.35	0.284	2.080	0.137	0.039	0.003	0.106	0.372	JUNIO				
0.36	0.304	2.168	0.140	0.039	0.003	0.115	0.379	JUNIO				
0.37	0.325	2.502	0.130	0.039	0.003	0.117	0.360	MAYO	NOVIEMBRE			
0.38	0.351	2.798	0.125	0.039	0.003	0.124	0.352	MAYO	NOVIEMBRE			
0.39	0.378	2.894	0.131	0.039	0.003	0.137	0.362	MAYO	NOVIEMBRE			
0.4	0.405	2.991	0.135	0.039	0.003	0.150	0.370	MAYO	NOVIEMBRE			
0.41	0.434	3.087	0.141	0.039	0.003	0.165	0.380		NOVIEMBRE			
0.42	0.464	3.183	0.146	0.039	0.003	0.180	0.389		NOVIEMBRE			
0.43	0.495	3.280	0.151	0.039	0.003	0.197	0.398		NOVIEMBRE		ABRIL	
0.44	0.526	3.376	0.156	0.039	0.003	0.214	0.407		DICIEMBRE		ABRIL	
0.45	0.559	3.472	0.161	0.039	0.003	0.232	0.416		DICIEMBRE		ABRIL	
0.46	0.592	3.569	0.166	0.039	0.003	0.251	0.424		DICIEMBRE		ABRIL	
0.47	0.627	3.665	0.171	0.039	0.003	0.271	0.433		DICIEMBRE		ABRIL	
0.48	0.662	3.761	0.176	0.039	0.003	0.292	0.441		DICIEMBRE		ABRIL	
0.49	0.699	3.858	0.181	0.039	0.003	0.314	0.450		DICIEMBRE		ABRIL	
0.5	0.736	3.954	0.186	0.039	0.003	0.337	0.458		DICIEMBRE		ABRIL	
0.51	0.774	4.050	0.191	0.039	0.003	0.361	0.466				MARZO	
0.52	0.813	4.147	0.196	0.039	0.003	0.385	0.474		ENERO		MARZO	
0.53	0.853	4.243	0.201	0.039	0.003	0.411	0.482		ENERO		MARZO	
0.54	0.894	4.339	0.206	0.039	0.003	0.438	0.490		ENERO	FEBRERO	MARZO	
0.55	0.936	4.436	0.211	0.039	0.003	0.466	0.498		ENERO	FEBRERO	MARZO	
0.56	0.979	4.532	0.216	0.039	0.003	0.495	0.506		ENERO	FEBRERO	MARZO	
0.57	1.023	4.628	0.221	0.039	0.003	0.525	0.513			FEBRERO	MARZO	
0.58	1.068	4.725	0.226	0.039	0.003	0.557	0.521			FEBRERO		
0.59	1.113	4.821	0.231	0.039	0.003	0.588	0.529					
0.6	1.160	4.918	0.236	0.039	0.003	0.622	0.536					
0.61	1.208	5.014	0.241	0.039	0.003	0.657	0.544					
0.62	1.256	5.110	0.246	0.039	0.003	0.692	0.551					
0.63	1.305	5.207	0.251	0.039	0.003	0.729	0.558					
0.64	1.356	5.303	0.256	0.039	0.003	0.767	0.566					
0.65	1.407	5.399	0.261	0.039	0.003	0.806	0.573					
0.66	1.459	5.496	0.265	0.039	0.003	0.846	0.580					
0.67	1.513	5.592	0.271	0.039	0.003	0.889	0.588					
0.68	1.567	5.640	0.278	0.039	0.003	0.937	0.598					

Cuadro N° 3.03

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
MAYO DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
						1
						S/D
2	3	4	5	6	1	8
S/D	S/D	S/D	S/D	0.150	0.150	0.150
9	10	11	12	13	14	15
0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	S/D
16	17	18	19	20	21	22
0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	S/D
23	24	25	26	27	28	29
0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	S/D
30	31					
0.117	0.117					
PROMEDIO				0.135		M3/S
REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
JUNIO DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
		0.117	0.115	0.115	0.115	S/D
6	7	8	9	10	11	12
0.106	0.106	0.106	0.097	0.097	0.097	S/D
13	14	15	16	17	18	19
0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	S/D
20	21	22	23	24	25	26
0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.081	S/D
27	28	29	30			
0.081	0.081	0.081	0.081			
PROMEDIO				0.095		M3/S
REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
JULIO DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
				1	2	3
				0.081	0.081	S/D
4	5	6	7	8	9	10
0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	S/D
11	12	13	14	15	16	17
0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	S/D
18	19	20	21	22	23	24
0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	S/D
25	26	27	28	29	30	31
0.062	0.062	0.062	0.062	S/D	S/D	S/D
PROMEDIO				0.069		M3/S
REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
AGOSTO DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	S/D
8	9	10	11	12	13	14
0.052	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052	S/D
15	16	17	18	19	20	21
0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	S/D
22	23	24	25	26	27	28
0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	S/D
29	30	31				
0.052	0.052	0.052				
PROMEDIO				0.050		M3/S

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
SETIEMBRE DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4
			0.057	0.057	0.057	S/D
5	6	7	8	9	10	11
0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	S/D
12	13	14	15	16	17	18
0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	S/D
19	20	0.12	22	23	24	25
0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	S/D
26	27	28	29	30		
0.081	0.081	0.081	0.081	0.081		
PROMEDIO				0.068		M3/S
REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
OCTUBRE DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
					1	2
					0.081	S/D
3	4	5	6	7	8	9
0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	S/D
10	11	12	13	14	15	16
0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	S/D
17	18	19	20	21	22	23
0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	S/D
24	25	26	27	28	29	30
0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	0.106	S/D
31						
S/D						
PROMEDIO				0.093		M3/S
REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
NOVIEMBRE DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
	S/D	S/D	S/D	0.106	0.106	S/D
7	8	9	10	11	12	13
0.115	0.115	0.115	0.117	0.117	0.117	S/D
14	15	16	17	18	19	20
0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	S/D
21	22	23	24	25	26	27
0.137	0.137	0.137	0.150	S/D	S/D	S/D
28	29	30				
0.150	0.150	0.150				
PROMEDIO				0.127		M3/S
REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
DICIEMBRE DEL 2011						
L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4
			0.150	0.150	0.150	S/D
5	6	7	8	9	10	11
0.165	0.165	0.165	0.180	0.180	0.180	S/D
12	13	14	15	16	17	18
0.197	0.197	0.214	0.214	0.214	0.232	S/D
19	20	21	22	23	24	25
0.232	0.232	0.251	0.251	S/D	S/D	S/D
26	27	28	29	30	31	
S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
PROMEDIO				0.194		M3/S

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
ENERO DEL 2012						
L	M	M	J	V	S	D
						1
						S/D
2	3	4	5	6	7	8
S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
9	10	11	12	13	14	15
S/D	S/D	0.385	0.385	0.411	0.385	0.385
16	17	18	19	20	21	22
0.385	0.361	0.385	0.438	0.438	0.438	0.495
23	24	25	26	27	28	29
0.495	0.466	0.466	0.466	0.466	0.495	S/D
30	31					
S/D	0.495					
PROMEDIO			0.445			M3/S

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
FEBRERO DEL 2012						
L	M	M	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
		0.438	0.438	0.466	0.466	S/D
6	7	8	9	10	11	12
0.495	0.495	0.525	0.525	0.557	0.557	S/D
13	14	15	16	17	18	19
0.588	0.588	0.557	0.557	0.525	0.525	S/D
20	21	22	23	24	25	26
0.557	0.557	0.588	0.588	0.588	0.557	S/D
27	28	29				
S/D	0.557	0.525				
PROMEDIO			0.530			M3/S

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
MARZO DEL 2012						
L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4
			0.525	0.525	0.557	0.557
5	6	7	8	9	10	11
0.588	0.588	0.588	0.557	0.525	0.525	0.495
12	13	14	15	16	17	18
0.495	0.495	0.466	0.466	0.466	0.438	0.438
19	20	21	22	23	24	25
0.438	0.411	0.411	0.385	0.385	0.385	0.385
26	27	28	29	30	31	
0.361	0.361	0.361	0.361	0.337	0.337	
PROMEDIO				0.463		M3/S

REGISTRO DE CAUDALES DIARIOS (M3/S)						
ABRIL DEL 2012						
L	M	M	J	V	S	D
						1
						S/D
2	3	4	5	6	7	8
0.337	0.337	0.337	0.314	0.314	0.314	S/D
9	10	11	12	13	14	15
0.292	0.292	0.271	0.271	0.251	0.251	S/D
16	17	18	19	20	21	22
0.232	0.232	0.214	0.214	0.197	0.197	S/D
23	24	25	26	27	28	29
0.197	0.197	0.197	0.197	S/D	S/D	S/D
30						
S/D						
PROMEDIO				0.252		M3/S

### 3.1.2.2 ESTACIONES PLUVIOMETRICAS DE LA ZONA EN ESTUDIO

A nivel de la región, se encuentran alrededor de 11 estaciones pluviométricas las que controlan solo la precipitación distribuidos en el ámbito de la Cuenca Cachi, estas estaciones fueron instaladas por el proyecto "Irrigación Cachi" Ex "Rio Cachi", conjuntamente con la "SENAMHI", quienes registran la información más confiable de dichas estaciones. En la actualidad estas estaciones son administradas por el Gobierno Regional a través de la Gerencia Regional de Infraestructura Coordinación de Actividades Operación y mantenimiento de la Red Hidrológica. La misma que ha descuidado en gran medida la operación y mantenimiento de las estaciones.

Para la presente tesis se han, Identificado 11 estaciones pluviométricas en el ámbito de la región y se han seleccionado 03 estaciones pluviométricas, los que se encuentran más cercanas a la zona de estudio. En los cuadros N° 3.04 y



N° 3.05 se presenta las estaciones identificadas y seleccionadas, a los que se les denominó estaciones pilotos, cuyos registros servirán para calibrar el modelo matemático de Lutz Scholz.

Las alturas promedio de las estaciones dentro de la zona de estudio varían desde 3350 m.s.n.m (Pampa Cangallo), 3550m.s.n.m (Putacca) y 3540 m.s.n.m (Sachabamba).

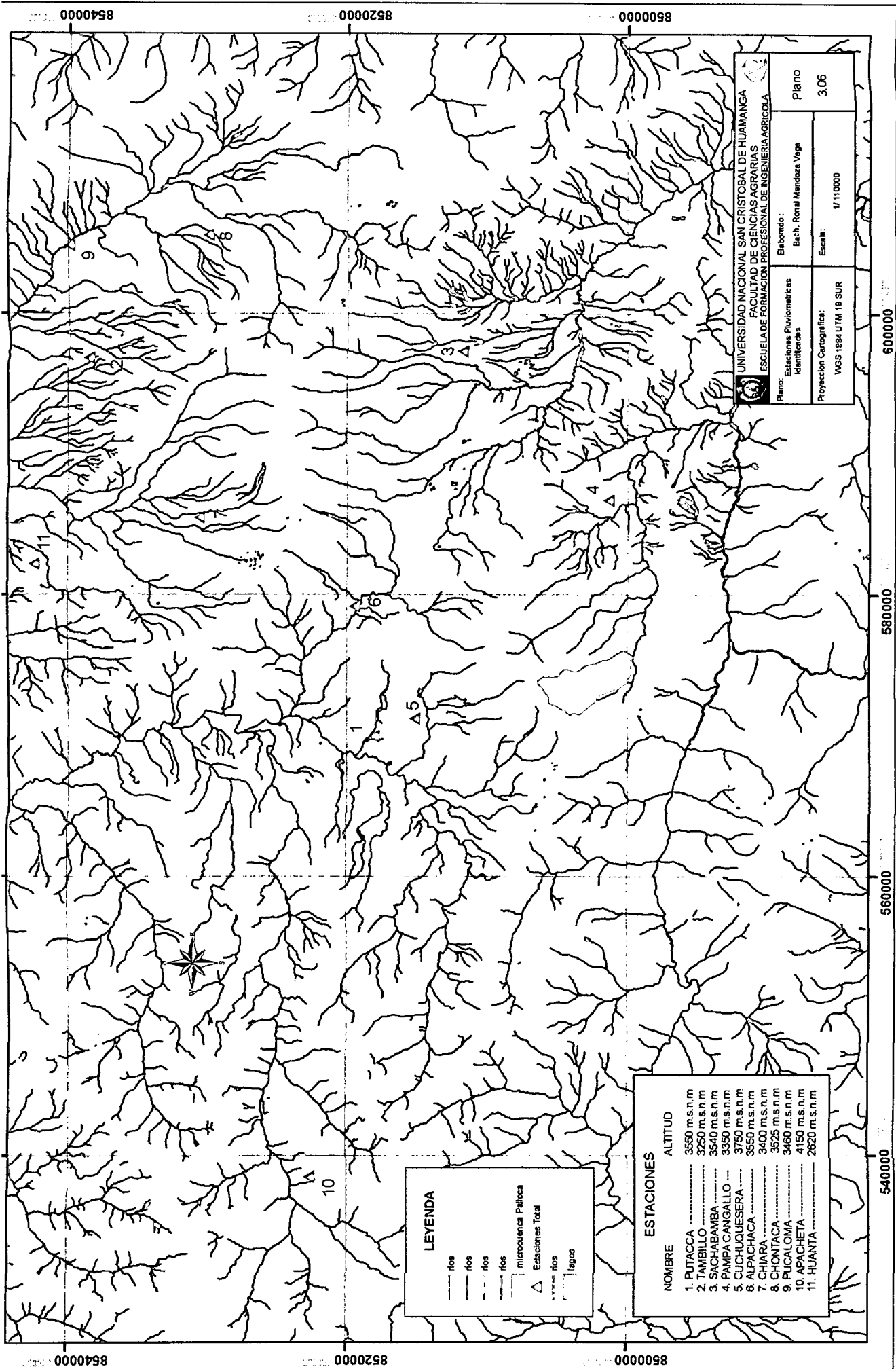
<b>Cuadro N° 3.04</b>			
<b>ESTACIONES PLUVIOMETRICAS IDENTIFICADAS</b>			
Código de Estación	Nombre de la Estación	Río	Estaciones Consideradas
C001	PUTACCA	Río Cachi	Identificada
C002	TAMBILLO	Río Cachi	Identificada
C003	SACHABAMBA	Río Pampas	Identificada
C004	PAMPA CANGALLO	Río Pampas	Identificada
C007	CUCHOQUESERA	Río Cachi	Identificada
C008	ALPACHACA	Río Cachi	Identificada
C009	CHIARA	Río Cachi	Identificada
C010	CHONTACA	Río Cachi	Identificada
C014	PUCALOMA	Río Cachi	Identificada
C019	APACHETA	Río Cachi	Identificada
C026	HUANTA	Río Cachi	Identificada

<b>Cuadro N° 3.05</b>							
<b>UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS SELECCIONADAS</b>							
Código	Nombre	Coordenadas Geográficas		Altura msnm	Año de Inicio	Año de Cierre	Ubicación: cuenca
		Latitud Sur	Longitud Oeste				
C001	PUTACCA	-13.39	-74.35	3550	1991	2009	Río Cachi
C002	TAMBILLO	-13.22	-74.11	3250	1992	2010	Río Cachi
C003	SACHABAMBA	-13.46	-74.10	3540	1995	2010	Río Pampas
C004	PAMPA CANGALLO	-13.57	-74.19	3350	1995	2011	Río Pampas

Los periodos de registro de las estaciones pluviométricas identificadas y seleccionadas se presentan en los cuadros N° 3.06, N° 3.07, N° 3.08, en ellas podemos notar que en promedio se cuenta con registros a partir 1991 hasta el







**LEYENDA**

-----	rios
-----	rios
-----	rios
-----	rios
-----	microcuenca Peltica
-----	Estaciones Tidal
△	Estaciones Total
.....	rios
.....	lagos

**ESTACIONES**

NOMBRE	ALTITUD
1. PUTACCA	3550 m.s.n.m
2. TAMBILLO	3250 m.s.n.m
3. SACHABAMBA	3540 m.s.n.m
4. PAMPA CANGALLO	3750 m.s.n.m
5. CUHUQUESERA	3550 m.s.n.m
6. ALPACHACA	3400 m.s.n.m
7. CHIARA	3525 m.s.n.m
8. CHONTACA	3460 m.s.n.m
9. PUCALOMA	4150 m.s.n.m
10. APACHETA	2620 m.s.n.m
11. HUANTA	2620 m.s.n.m

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA

Plano:	Estaciones Pluviométricas Identificadas	Elaborado:	Bach. Romal Mendoza Vega
Proyección Cartográfica:	MCS 1984 UTM 18 SUR	Escala:	1/110000
			Plano
			3,06

540000

560000

580000

600000

8540000

8520000

8500000

8540000

8520000

8500000

### 3.1.2.3 ESTACIONES METEOROLOGICAS COMPLEMENTARIAS DE LA ZONA EN ESTUDIO

No se cuenta con un registro extendido de la información meteorológica complementaria (solo con temperatura, humedad, nubosidad, evaporación, viento), únicamente se a podido ubicar información promedio mensual de las 11 estaciones identificadas.

En el cuadro N° 3.09 y N° 3.10, se presenta las 11 estaciones meteorológicas identificadas y seleccionadas y sus características tales como ubicación geográfica, latitud, entre otros.

Las variables meteorológicas registradas por las estaciones son: temperatura, evaporación, horas sol, nubosidad, viento; el cual se presenta en el cuadro N° 3.11.

Para el análisis del gradiente de temperatura máxima, mínima y promedio de la zona en estudio, se considera 03 estaciones meteorológicas (Putacca, Sachabamba y Pampa Cangallo), del cual se calculó la gradiente de temperatura mes a mes a la altitud media de la microcuenca Pallcca.

<b>Cuadro N° 3.09</b>			
<b>ESTACIONES METEOROLOGICAS</b>			
<b>Código de Estación</b>	<b>Nombre de la Estación</b>	<b>Río</b>	<b>Estaciones Consideradas</b>
C001	PUTACCA	Río Cachi	Identificada
C002	TAMBILLO	Río Cachi	Identificada
C003	SACHABAMBA	Río Pampas	Identificada
C004	PAMPA CANGALLO	Río Pampas	Identificada
C007	CUCHOQUESERA	Río Cachi	Identificada
C008	ALPACHACA	Río Cachi	Identificada
C009	CHIARA	Río Cachi	Identificada
C010	CHONTACA	Río Cachi	Identificada
C014	PUCALOMA	Río Cachi	Identificada
C019	APACHETA	Río Cachi	Identificada
C026	HUANTA	Río Cachi	Identificada

Cuadro N° 3.10							
UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS							
Código	Nombre	Coordenadas Geográficas		Altura msnm	Año de Inicio	Año de Cierre	Ubicación: cuenca
		Latitud Sur	Longitud Oeste				
C001	PUTACCA	-13.39	-74.35	3550	1991	2009	Río Cachi
C002	TAMBILLO	-13.22	-74.11	3250	1992	2010	Río Cachi
C003	SACHABAMBA	-13.46	-74.10	3540	1995	2010	Río Pampas
C004	PAMPA CANGALLO	-13.57	-74.19	3350	1995	2011	Río Pampas

Cuadro N° 3.11							
VARIABLES REGISTRADAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS							
Código	Estación	Evaporación	Horas sol	Nubosidad	Precipitación	Temperatura Max y Min	Viento
C001	PUTACCA	*	*	*	*	*	*
C002	TAMBILLO	*	*	*	*	*	*
C003	SACHABAMBA	*	SR	*	*	*	*
C004	PAMPA CANGALLO	*	SR	*	*	*	*
C007	CUCHOQUESERA	*	SR	*	*	*	*
C008	ALPACHACA	*	SR	*	*	*	*
C009	CHIARA	*	SR	*	*	*	*
C010	CHONTACA	*	SR	*	*	*	*
C014	PUCALOMA	*	SR	*	*	*	*
C019	APACHETA	SR	SR	*	*	*	*
C026	HUANTA	*	SR	*	*	*	*
	* Con registro	SR sin registro					

### 3.1.3 EQUIPOS Y PROGRAMAS DE CÓMPUTO

- ✓ Estación total, GPS y Equilímetro, para levantamiento topográfico de la sección de control del cauce.
- ✓ Mira Limnimétrica, para medición de los niveles de agua del río.
- ✓ Programa de Computo Arc Gis 3.9 para el análisis y generación de los mapas.
- ✓ Laptop Lenovo Z 750 y accesorios.

- ✓ Programa de computo Microsoff office para análisis de información estadística, redacción y presentación de tesis.
- ✓ Software Hydraccess para análisis temporal de las estaciones pluviométricas.
- ✓ Software Trend para análisis del test estadístico.

### 3.2 METODOLOGÍA

La aplicación del modelo “Precipitación Descarga” de Lutz Scholz comprende tres etapas bien definidas y se presenta en el siguiente organigrama.

**Cuadro N° 3.12**

<b>MODELO DE LUTZ SCHOLZ</b>		
<b>Análisis cartográfico y estadístico de la información</b>	<b>Aplicación de los modelos determinísticos</b>	<b>Generación de caudales para periodo extendido</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis cartográfico de la microcuenca.</li> <li>• Análisis, tratamiento y regionalización de la información pluviométrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculo de la precipitación media.</li> <li>• Calculo coeficiente de escorrentía.</li> <li>• Calculo ETP.</li> <li>• Calculo precipitación efectiva.</li> <li>• Fundamentos de balance hídrico.</li> <li>• Periodos del ciclo hidrológico</li> <li>• Cálculo de la retención en la cuenca.</li> <li>• Gasto de la Retención y abastecimiento de la retención.</li> <li>• Calculo del caudal para el año promedio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación con el modelo markoviano de primer orden.</li> <li>• validación mediante pruebas estadísticas y desviación estándar.</li> </ul>

El modelo de Lutz Scholz interactúa una serie de modelos determinísticos y estocásticos parciales con la finalidad de generar un caudal promedio característico en la microcuenca en estudio; para luego extender la serie con un modelo puramente estocástico como es el modelo markoviano de primer orden.

### 3.2.1 ANÁLISIS CARTOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

#### 3.2.1.1 ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LA MICROCUENCA

En esta etapa el modelo caracteriza a la microcuenca Pallicca desde su fisiografía, para lo cual adopta los métodos clásicos de la hidrología los cuales son.

- **Área total de la cuenca (A)**

Normalmente su valor se determina con el planímetro o con programas de cómputo como el ArcView, AutoCad, entre otros y se expresa en km<sup>2</sup> o hectáreas.

- **Coefficiente de Compacidad (Kc)**

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

*Kc* : Coeficiente de compacidad.

*P* : Perímetro de la cuenca, en Km.

*A* : Área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

Cuanto más irregular sea la microcuenca mayor será su coeficiente de compacidad, un coeficiente mínimo igual a la unidad corresponde a una cuenca circular; cuando este número tiende a la unidad hay mayor tendencia a aumentar el caudal.



- **Factor de Forma (Kt)**

[11, Mejía, 2001] Es la expresión cuantitativa de la forma del contorno de una cuenca;

$$Kt = \frac{B}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

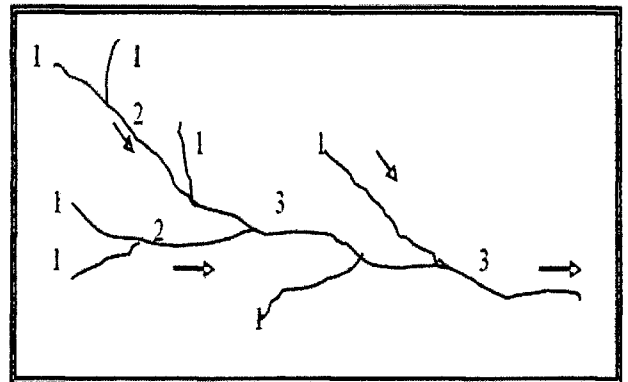
- $Kt$  : Factor de forma
- $B$  : Ancho medio de la cuenca, en Km ( $B = A/L$ )
- $A$  : Área de la cuenca, en km<sup>2</sup>
- $L$  : Longitud axial de la cuenca, en km

Este índice indica la mayor o menor tendencia de las avenidas en una cuenca; con un factor de forma bajo, está menos sujeta a inundaciones que otra del mismo tamaño pero con mayor factor de forma.

- **Orden de corrientes**

*figura 3.01*

[12, Reyes, 1992] Una cauce puede ser tributaria de otra mayor y así sucesivamente de manera que por esta razón se les puede asignar un orden de importancia dentro de la cuenca; una forma muy utilizada para establecer el orden de las corrientes es teniendo en cuenta su grado de bifurcación como se muestra en la **figura 3.01**



- **Densidad de corriente (Dc)**

$$Dc = \frac{Ns}{A}$$

Dónde:

- $Dc$  : Densidad de corrientes, (cauces o ríos / km<sup>2</sup>)

- $A$  : Área de la cuenca, (km<sup>2</sup>)  
 $N_s$  : Número de corrientes permanentes e intermitentes (unidades)

La corriente principal se cuenta como una sola desde su nacimiento hasta su desembocadura; después se tendrán todos los tributarios de orden anterior desde su origen hasta la unión de la corriente principal y así sucesivamente hasta llegar a las corrientes de orden 1.

▪ **Densidad de Drenaje (Dd)**

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Dónde:

- $Dd$  : Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)  
 $L$  : Longitud total de corrientes (km)  
 $A$  : Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

La densidad de drenaje, usualmente toma valores entre 0.5 km/ km<sup>2</sup> para cuencas con drenaje pobre y hasta 3.4 km/km<sup>2</sup> para cuencas excesivamente bien drenadas.

▪ **Pendiente media de la cuenca**

• **Criterio de Alvord**

$$S_c = \frac{D \cdot L}{A} \tag{1}$$

$$S_c = \frac{D_1 \cdot L_1 + (L_2 + L_3 \dots \dots L_{n-1}) D_n \cdot L_n}{A} \tag{2}$$

Dónde:

- $S_c$  : Pendiente de la cuenca.  
 $D$  : Desnivel constante entre curvas de nivel, en km  
 $L$  : Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, en km

- $D_1$  : Desnivel en la parte más baja, en km
- $D_n$  : Desnivel en la parte más alta, en km
- $A$  : Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

La ecuación 2 se emplea en el caso en que "D" no sea constante (eso puede suceder en la parte más alta y la parte más baja de la cuenca).

- **Criterio del rectángulo equivalente**

Con este criterio, para hallar la pendiente de la cuenca, se toma la pendiente media del rectángulo equivalente, es decir:

$$S_c = \frac{H}{L}$$

Dónde:

- $S_c$  : Pendiente de la cuenca.
- $H$  : Desnivel total (cota en la parte más alta – cota en la estación de aforo), en km.
- $L$  : Longitud mayor del rectángulo equivalente, en km.

Este criterio, no proporciona un valor significativo de la pendiente de la cuenca pero puede tomarse como una aproximación.

- **Índice de pendiente**

Su valor se obtiene utilizando una variable del rectángulo equivalente, con la siguiente fórmula.

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Dónde:

- $I_p$  : Índice de pendiente

- $n$  :Número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos.
- $a_1, a_2, a_3, \dots a_n$  :Cotas de las  $n$  curvas de nivel consideradas, en km
- $\beta$  :Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas  $a_i - a_{i-1}$
- $\beta_i$  :  $A_i/A_t$

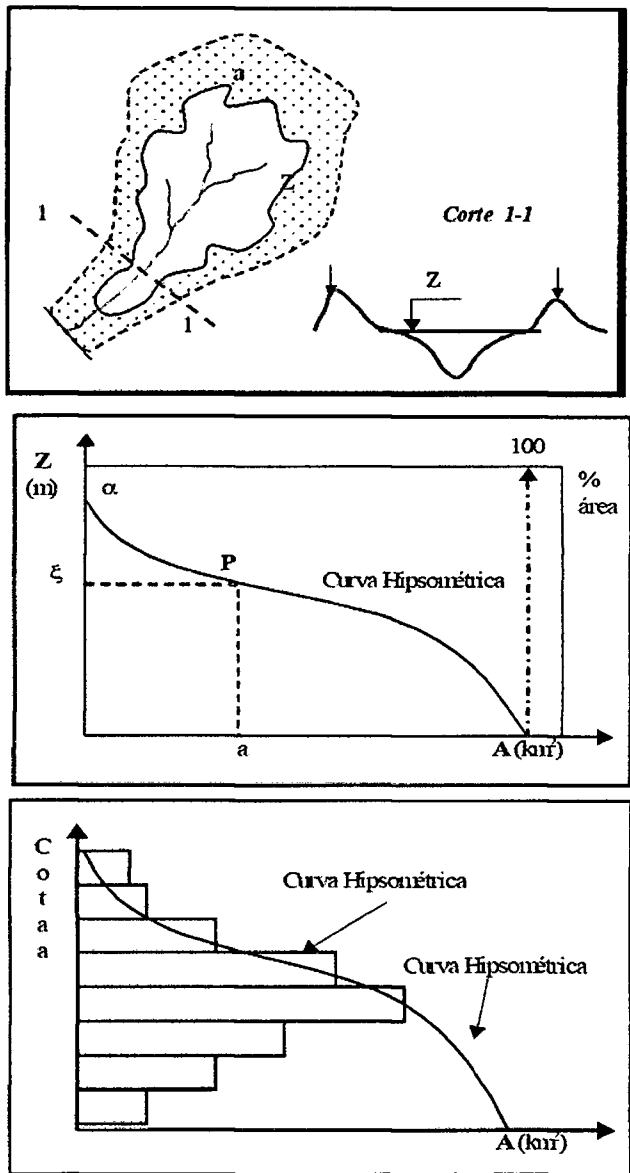
▪ **Curva hipsométrica de la cuenca**

*figura 3.02*

[13, Sovero, 1991] En el plano de delimitación de la cuenca que contenga las curvas de nivel, consideramos una curva de nivel cuales quiera cuya cota sea "Z".

Calculamos el área que se encuentra sobre ésta curva y el límite de la cuenca; entonces estaremos obteniendo la superficie "a" en proyección horizontal de los terrenos de la cuenca situados a una altitud superior a "Z". A cada valor de "Z" le corresponderá un valor de "a"; en otras palabras, "Z" es una función de a, con lo que se puede escribir  $Z = f(a)$

(a) La curva representativa de "Z" en función de "a" es la **curva hipsométrica**, que por sus características será constantemente decreciente.



Esta curva se construye poniendo las áreas en el eje de las abscisas y las altitudes en el eje de ordenadas tal como se muestra.

Esta figura puede explotarse en forma de frecuencias si se hace el razonamiento siguiente: Sea un punto "P" sobre la Curva hipsométrica al que le corresponde las coordenadas (a,z) .

Dividiendo "a" (área sobre la cota z) entre "A" (área total de la cuenca) obtenemos el porcentaje de área sobre la cota "Z", lo que permite representar la frecuencia de áreas.

figura 3.03

Para ordenar el trazo de la curva se puede utilizar el formato que se presenta; las columnas 1 en ordenadas y 2 en abscisas permitirán graficar la curva hipsométrica; la columna 1 en ordenadas y la columna 5 en abscisas, permitirán graficar el polígono de frecuencias altimétricas.

1	2	3	4	5
Cota m.s.n.m	Área sobre cota Z km <sup>2</sup>	Área entre cotas km <sup>2</sup>	Área acumulada	% de área entre cotas al área total A <sub>0</sub>
Punto más bajo Z <sub>0</sub>	A <sub>0</sub> =área total de la cuenca			
Z <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> -A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> -A <sub>1</sub>	100(A <sub>0</sub> -A <sub>1</sub> )/A <sub>0</sub>
Z <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub>		100(A <sub>1</sub> -A <sub>2</sub> )/A <sub>0</sub>
Z <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> -A <sub>3</sub>	.....	.....
-	-	.....	.....	.....
-	-	.....	.....	.....
		.....	.....	.....
Punto más alto Z <sub>N</sub>	A <sub>N</sub> =0	A <sub>N-1</sub> -A <sub>N</sub>	A <sub>0</sub>	100(A <sub>N-1</sub> -A <sub>N</sub> )/A <sub>0</sub>
TOTALES		A <sub>0</sub>		100

Los rectángulos representados, tienen longitudes proporcionales a la fracción de la cuenca comprendida entre las cotas consideradas.

**Altitud más frecuente;** es el máximo valor en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes.

- **Elevación media;** Es la altitud correspondiente al punto de abscisa  $\frac{1}{2}$  de la curva de frecuencia de altitudes, numéricamente la **elevación media** de la cuenca se obtiene con la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\sum a.e}{A}$$

Dónde:

$E_m$  : Elevación media  
 $a$  : Área entre dos contornos  
 $e$  : Elevación media entre dos contornos  
 $A$  : Área total de la cuenca.

Gráficamente la elevación mediana de la cuenca se obtiene, entrando con el **50 %** del área en el **eje X**, trazando una perpendicular por este punto hasta interceptar a la curva hipsométrica. Luego por éste punto se traza una horizontal hasta corta el **eje Y**.

- **Perfil longitudinal del cauce principal.**

Se plotea la proyección horizontal de la longitud de un cauce versus su altitud, se obtiene el perfil longitudinal del curso de agua.

- **Pendiente del cauce principal**

- **Método de pendiente Uniforme**

$$S = \frac{H}{L}$$

Dónde:

$S$  : Pendiente.  
 $H$  : Diferencia de cotas entre los extremos del cauce, en km.  
 $L$  : Longitud del cauce, en km.

Este método es recomendable usar preferentemente en tramos cortos.

- **Método de la ecuación de Taylor y Schwarz**

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{s_n}}} \right]^2$$

Dónde:

$n$  : Número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil

$S_1, S_2, \dots, S_n$  : Pendiente de cada tramo  $S = H / L$ .

$S$  : Pendiente media del cauce.

La ecuación tiene una mejor aproximación, cuanto más grande sea el número de tramos, en los cuales se subdivide el perfil longitudinal del río a analizar.

- **Rectángulo equivalente**

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (y por lo tanto el mismo índice de compacidad o índice Gravelious), igual distribución, igual distribución de alturas (y por lo tanto igual curva hipsométrica) e igual distribución de terreno en cuanto a sus condiciones de cobertura. En este rectángulo las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y última curvas de nivel.

Si "I" y "L" son dimensiones del rectángulo equivalente, se cumple:

Área :  $A = I * L$

Perímetro :  $P = 2(I + L)$

Índice de Gravelious :  $Kc = 0.282 * P / \sqrt{A}$

Sustituyendo :  $L^2 - \frac{Kc * \sqrt{A}}{0.56} * L + A = 0$

figura 3.04

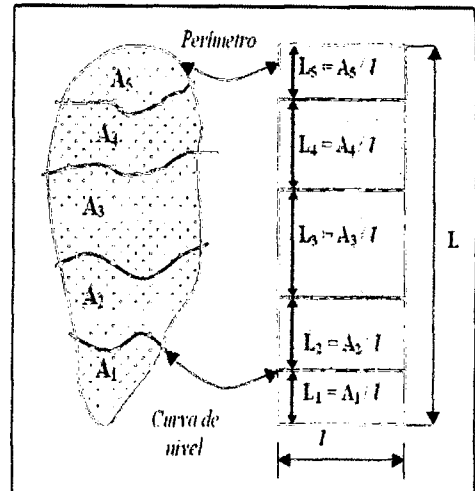
Aplicando la ecuación de segundo grado, resulta.

$$L = \frac{K * \sqrt{A}}{1.12} * \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{K * \sqrt{A}}{1.12} * \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Dónde:

- $L$  : Longitud del lado mayor del rectángulo.
- $l$  : Longitud del lado menor del rectángulo
- $K_c$  : Índice de Gravelious.
- $A$  : Área de la cuenca.

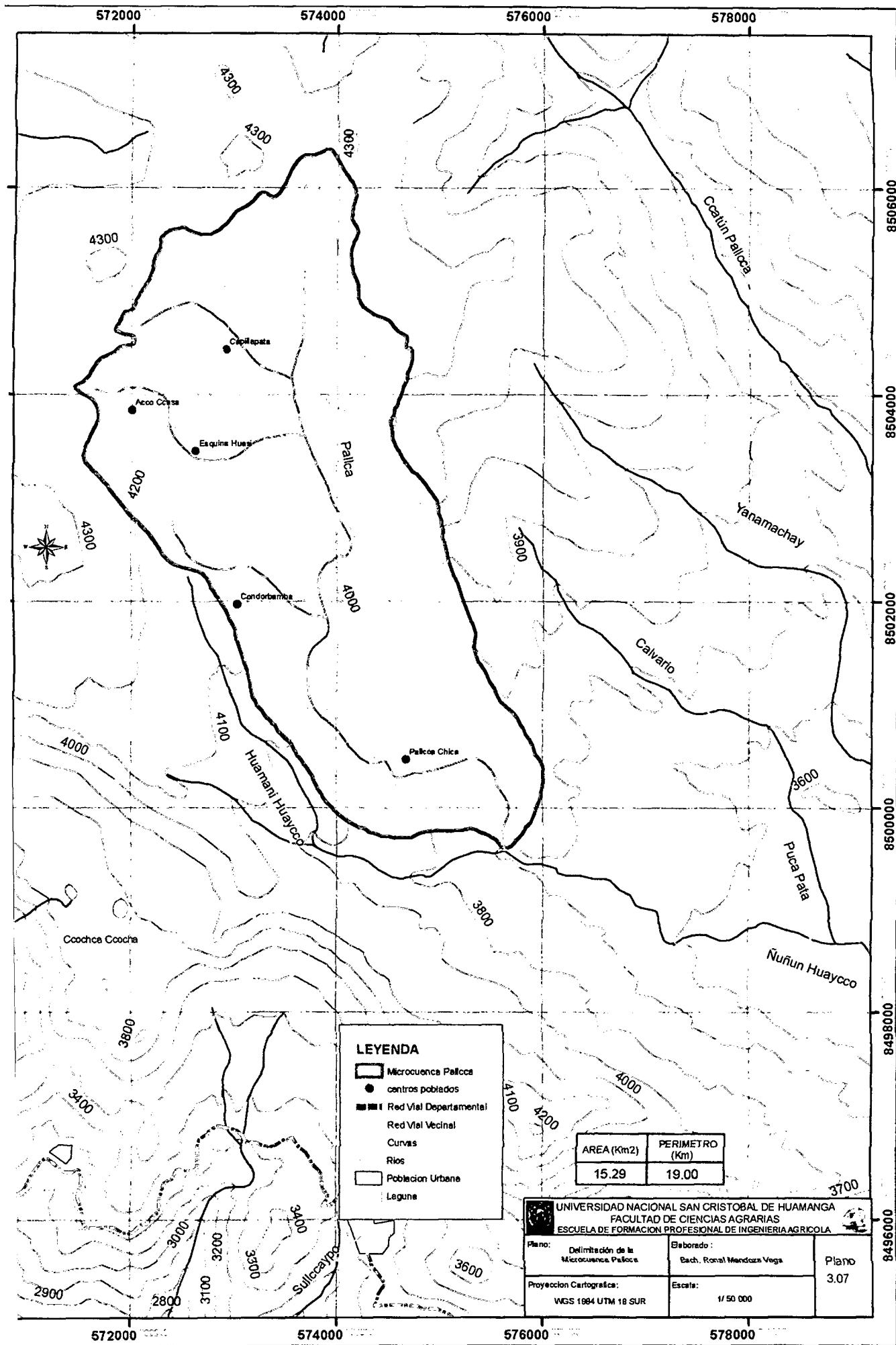


Las áreas parciales se calculan dividiendo el área entre curvas entre el lado menor del rectángulo.

La diferencia entre las curvas de nivel dividido entre la longitud mayor del rectángulo equivalente nos indica un valor promedio de la pendiente de la cuenca.

Las principales curvas geomorfológicas de la microcuenca Pallca se presenta en el cuadro N°3.13 y se visualiza en el grafico N°3.03 y los parámetros geomorfológicos de superficie, forma, relieve y drenaje se presentan en el cuadro N° 3.14.





**LEYENDA**

- Microcuenca Palca
- centros poblados
- Red Vial Departamental
- Red Vial Vecinal
- Curvas
- Rios
- Poblacion Urbana
- Laguna

AREA (Km <sup>2</sup> )	PERIMETRO (Km)
15.29	19.00

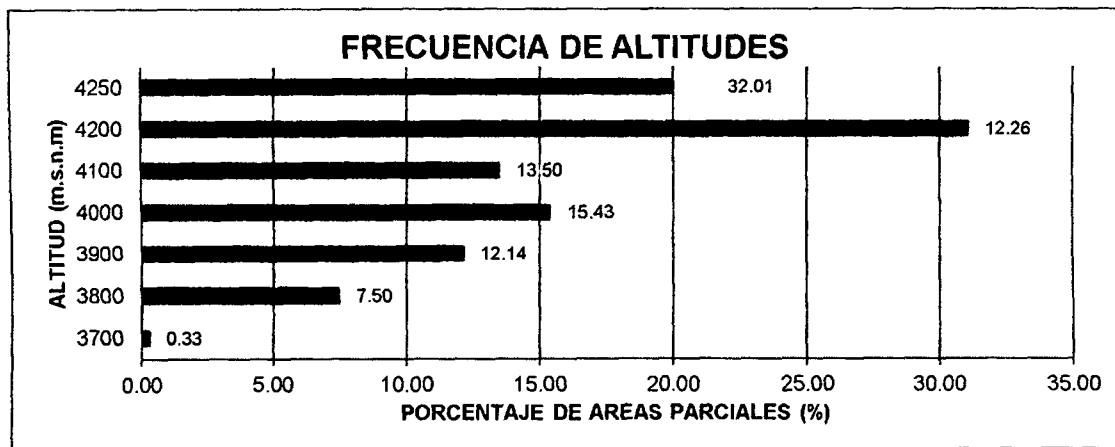
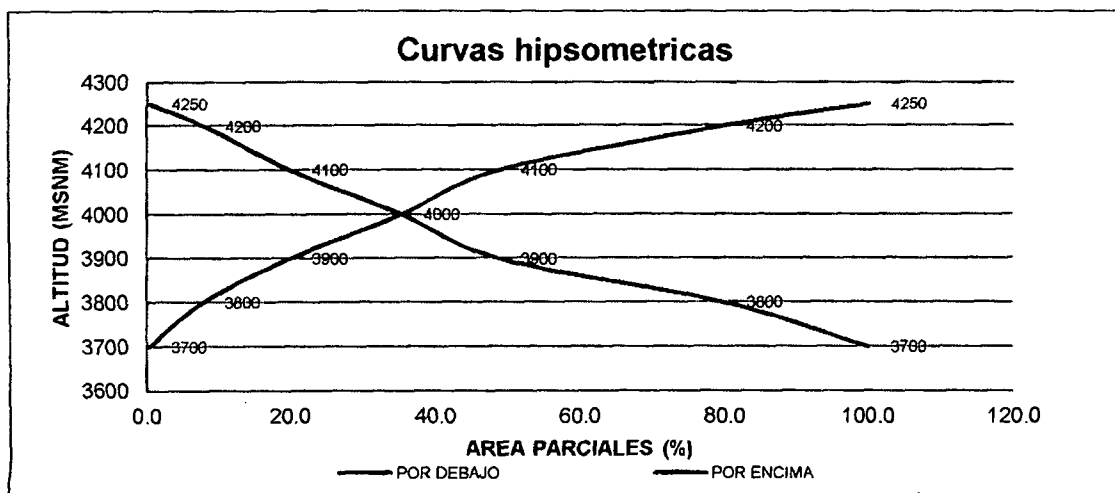
**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA**

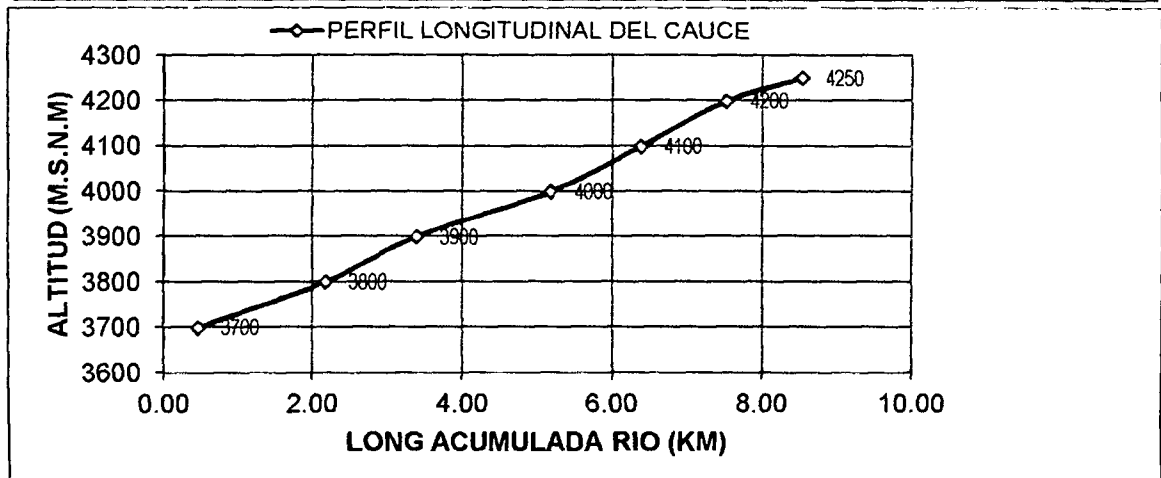
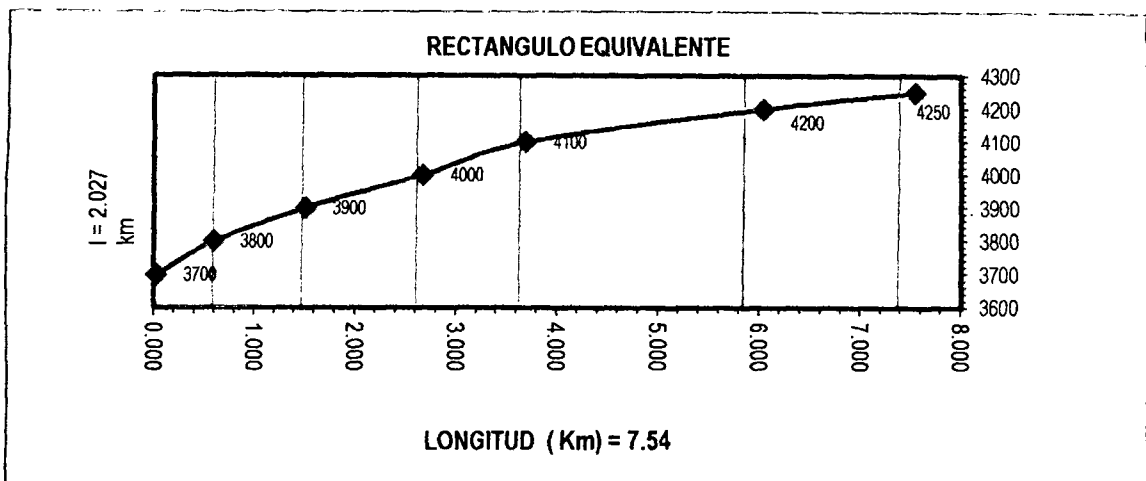
Plano: Delimitación de la Microcuenca Palca	Elaborado: Bach. Ronal Mendoza Vega	Plano 3.07
Proyeccion Cartografica: WGS 1984 UTM 18 SUR	Escala: 1/50 000	

Cuadro N° 3.13

ALTITUD	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS				ALTITUD
	Km2	(%)	POR DEBAJO		POR ENCIMA		
			(KM2)	(%)	KM2	(%)	
m.s.n.m.							m.s.n.m.
3700	0.050	0.33	0.050	0.3	15.290	100.00	4250
3800	1.147	7.50	1.197	7.83	14.093	92.2	4200
3900	1.856	12.14	3.053	20.0	12.237	80.0	4100
4000	2.359	15.43	5.412	35.4	9.878	64.6	4000
4100	2.065	13.50	7.477	48.9	7.813	51.1	3900
4200	4.755	31.10	12.232	80.0	3.058	20.0	3800
4250	3.058	20.00	15.290	100.0	0.000	0.0	3700
TOTAL	15.290	100.00					

Grafico N° 3.03





**Pendiente del Cauce: Método Rectángulos 7.29%, Criterio de Teylor 8.84 %**

**Cuadro N° 3.14 PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE SUPERFICIE, FORMA RELIEVE Y DRENAJE**

	Superficie		Forma				
	Area	Perimetro	Indice de compacidad	Factor de forma	Rectangulo equivalente		
					Largo "L"	Ancho "l"	Indice de pendiente
Microcuenca	km <sup>2</sup>	km	K	F	km	km	
	15.290	19.000	1.371	0.269	7.545	2.027	9.48
Nombre	Relieve y drenaje						
	Pendiente de la micro cuenca		Pendiente del cauce del rio principal		Altura media		
PALCCA	Criterios de rectangulos	Criterio de Alvord	Pendiente medio del cauce	Criterio de Teylor	Altitud media	Elevacion media	Promedio
	%	%	%	%	msnm	msnm	msnm
	7.29	21.07	6.45	8.84	4000.00	4040.66	4020.33
	Red de drenaje						
	Orden de corrientes	Densidad de Corriente	Densidad de drenaje				
N°	Nc/km <sup>2</sup>	Km/km <sup>2</sup>					
2	0.26	0.56					

### 3.2.1.2 ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y REGIONALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA

En esta etapa el modelo es exigente, plantea la necesidad de poder contar con una información lo más consistente posible, para lo cual existen una serie de métodos y programas de cómputo que permiten realizar dichos cálculos, para el análisis de gráficos, (saltos en la media y desviación estándar), se utilizó el software Hidraccsess y para la consistencia de la informaciones pluviométricas se utilizó el software Trend.

Sin embargo consideramos que dicha etapa de trabajo tiene una singular importancia para el tema de investigación, en tal sentido para la presente Tesis se optó por realizar el tratamiento de los datos pluviométricos de forma clásica, es decir de forma secuencial, para lo cual en el **capítulo II ítem 2.5** se ha realizado una amplia revisión bibliográfica de las metodologías existentes, planteando una secuencia de cálculos los mismos que consideramos parte del trabajo de investigación literaria.

Los resultados del análisis grafico de la información pluviométrica de las estaciones identificadas se presenta en el cuadro N° 3.15 y se visualiza en el grafico N°3.04. En él se muestra los histograma multianuales de las precipitaciones durante los 15 años de registro de las estaciones pluviométricas identidades, además se determina aquellas estaciones que tienen similar comportamiento mediante el análisis de sus histogramas.

Del análisis grafico se determina 04 estaciones pilotos (Putacca, Tambillo Sachabamba y Pampa cangallo), estas por tener una información aceptable y constante, además estas estaciones se encuentran a una altitud similar a la zona de estudio y tener similitud en el comportamiento de la precipitación durante los 15 años de registro pluviométrico, la misma que se visualiza en el grafico N° 3.05.

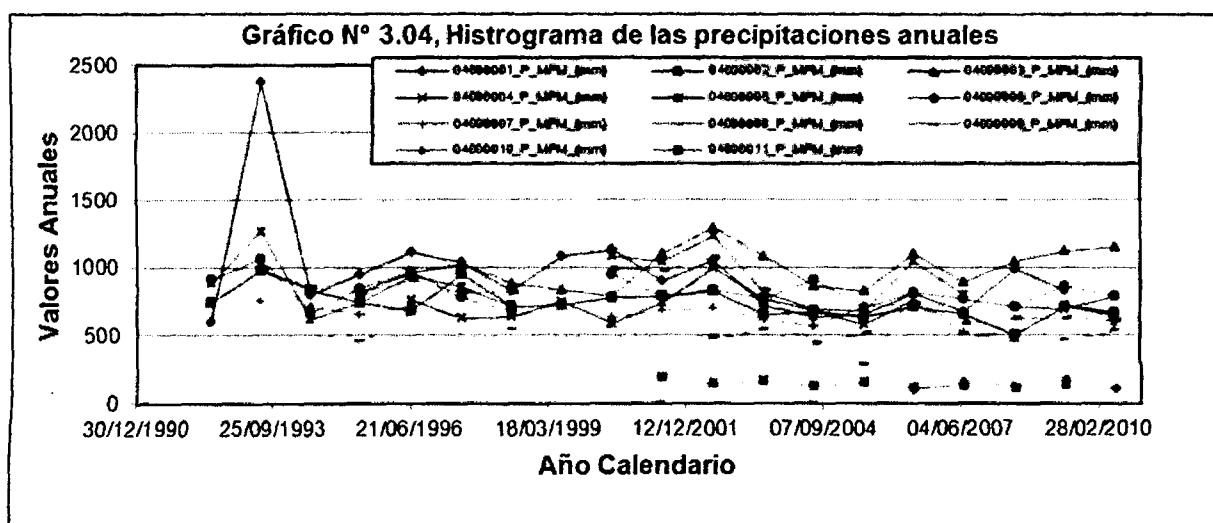
En el grafico N° 3.06, corresponde al análisis de doble masa, en él se visualiza puntos de quiebres, lo que detecta la inconsistencia de los datos pluviométricos,

para esto se realizara el análisis de consistencia y ver si los datos son o no significativos, ya que dicho cambio de pendiente en la recta de doble masa esta dentro del nivel de confianza de la variable para un nivel de probabilidad dado.

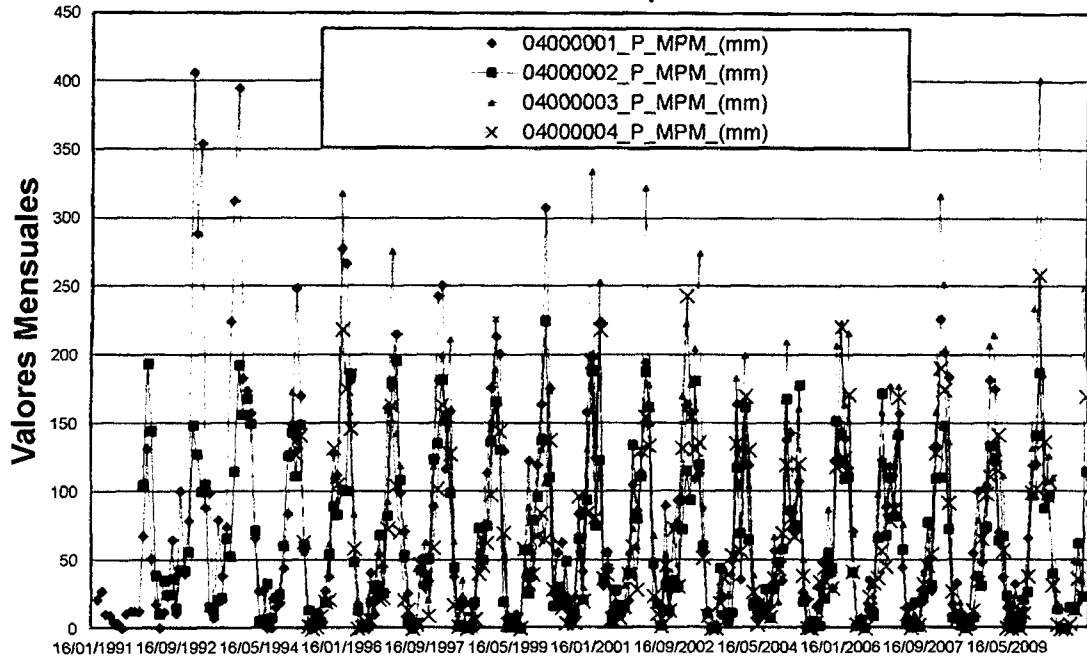
El cuadro N° 3.16, se presenta el grupo de análisis de las estaciones seleccionadas y el cuadro N° 3.17, se presenta los resultados del análisis de consistencia de la información pluviométrica mediante el software Trend de las 04 estaciones seleccionadas, siendo las estaciones de Putacca, Sachabamba y Pampa Cangallo con mayor aceptación y tomar como base de dato sus precipitaciones medias anuales para determinar la precipitación areal en la microcuenca Palcca.

Cuadro N° 3.15

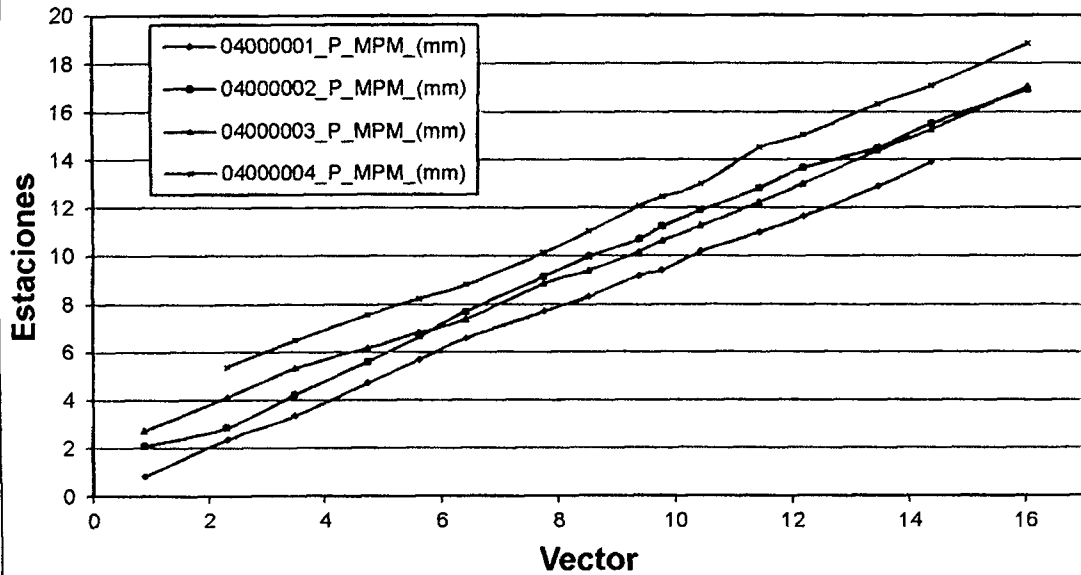
GRUPOS DE ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS IDENTIFICADAS			
Codigo	Nombre de la estacion	Altura msnm	Grupo de análisis
04000001	PUTACCA	3550	Identificada
04000002	TAMBILLO	3250	Identificada
04000003	SACHABAMBA	3540	Identificada
04000004	PAMPA CANGALLO	3350	Identificada
04000005	CUCHOQUESERA	3750	Identificada
04000006	ALPACHACA	3550	Identificada
04000007	CHIARA	3400	Identificada
04000008	CHONTACA	3525	Identificada
04000009	PUCALOMA	3460	Identificada
04000010	APACHETA	4150	Identificada
04000011	HUANTA	2620	Identificada



**Gráfico N° 3.05 Hidrogramas de precipitación mensuales- Estaciones seleccionadas Grupo 02**



**Gráfico N° 3.06 análisis de doble masa grupo 02**  
**Suma de los índices anuales del Vector y de las Estaciones**



Cuadro N° 3.16

GRUPOS DE ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS			
Codigo	Nombre de la estacion	Altura msnm	G02 Grupo de análisis
04000001	PUTACCA	3550	Seccionadas
04000002	TAMBILLO	3250	Seccionadas
04000003	SACHABAMBA	3540	Seccionadas
04000004	PAMPA CANGALLO	3350	Seccionadas

Cuadro N° 3.17

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS SELECCIONADAS - GRUPO 02																				
PUTACCA ENERO						TAMBILLO ENERO					SACHABAMBA ENERO					PAMPA CANGALLO ENERO				
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultad	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultad	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultad
Mann-Kendall (NP)	-0.49	1.481	1.764	2.318	NS	-0.74	1.481	1.764	2.318	NS	0.405	1.234	1.47	1.932	NS	0.405	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	-0.246	1.481	1.764	2.318	NS	-0.83	1.481	1.764	2.318	NS	0.581	1.234	1.47	1.932	NS	0.627	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-0.294	1.74	2.11	2.898	NS	-0.73	1.74	2.11	2.898	NS	0.667	1.761	2.145	2.977	NS	0.958	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	3	5.318	5.928	7.105	NS	6	5.318	5.928	7.105	S -0.05	3	4.88	5.44	6.52	NS	2	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.704	1.095	1.212	1.407	NS	1.078	1.095	1.212	1.407	NS	0.814	1.08	1.188	1.368	NS	0.63	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	2.552	2.914	3.296	4.168	NS	2.35	2.914	3.296	4.168	NS	2.553	2.956	3.344	4.282	NS	2.318	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	1.021	1.481	1.764	2.318	NS	1.347	1.481	1.764	2.318	NS	-0.26	1.234	1.47	1.932	NS	-0.05	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	0.95	1.734	2.101	2.878	NS	1.383	1.734	2.101	2.878	NS	-0.13	1.753	2.131	2.947	NS	-0.36	1.753	2.131	2.947	NS

Continuación

PUTACCA FEBRERO					TAMBILLO FEBRERO					SACHABAMBA FEBRERO					PAMPA CANGALLO FEBRERO					
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado
Mann-Kendall (NP)	-0.91	1.481	1.764	2.318	NS	-1.68	1.481	1.764	2.318	S-0.10	0.315	1.234	1.47	1.932	NS	-0.32	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	-0.878	1.481	1.764	2.318	NS	-1.76	1.481	1.764	2.318	S-0.10	0.285	1.234	1.47	1.932	NS	-0.51	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-0.716	1.74	2.11	2.898	NS	-1.62	1.74	2.11	2.898	NS	0.147	1.761	2.145	2.977	NS	-0.54	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	3	5.318	5.928	7.105	NS	5	5.318	5.928	7.105	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS	2	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.888	1.095	1.212	1.407	NS	1.119	1.095	1.212	1.407	S-0.10	0.507	1.08	1.188	1.368	NS	0.768	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	2.199	2.914	3.296	4.168	NS	2.732	2.914	3.296	4.168	NS	1.163	2.956	3.344	4.282	NS	1.702	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	1.102	1.481	1.764	2.318	NS	1.837	1.481	1.764	2.318	S-0.05	-0.26	1.234	1.47	1.932	NS	0.263	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	0.903	1.734	2.101	2.878	NS	1.721	1.734	2.101	2.878	NS	0.226	1.753	2.131	2.947	NS	0.455	1.753	2.131	2.947	NS
PUTACCA MARZO					TAMBILLO MARZO					SACHABAMBA MARZO					PAMPA CANGALLO MARZO					
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado
Mann-Kendall (NP)	-0.21	1.481	1.764	2.318	NS	-1.61	1.481	1.764	2.318	S-0.10	-0.32	1.234	1.47	1.932	NS	-0.59	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	-0.179	1.481	1.764	2.318	NS	-1.81	1.481	1.764	2.318	S-0.05	-0.38	1.234	1.47	1.932	NS	-0.41	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-0.383	1.74	2.11	2.898	NS	-1.86	1.74	2.11	2.898	S-0.10	-0.38	1.761	2.145	2.977	NS	-0.09	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	5	5.318	5.928	7.105	NS	3	5.318	5.928	7.105	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.72	1.095	1.212	1.407	NS	0.878	1.095	1.212	1.407	NS	0.702	1.08	1.188	1.368	NS	0.538	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	2.635	2.914	3.296	4.168	NS	2.731	2.914	3.296	4.168	NS	1.601	2.956	3.344	4.282	NS	1.373	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	0.286	1.481	1.764	2.318	NS	0.939	1.481	1.764	2.318	NS	0.368	1.234	1.47	1.932	NS	0.473	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	0.412	1.734	2.101	2.878	NS	1.078	1.734	2.101	2.878	NS	0.269	1.753	2.131	2.947	NS	0.374	1.753	2.131	2.947	NS
PUTACCA ABRIL					TAMBILLO ABRIL					SACHABAMBA ABRIL					PAMPA CANGALLO ABRIL					
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado
Mann-Kendall (NP)	-0.63	1.481	1.764	2.318	NS	-1.43	1.481	1.764	2.318	NS	1.126	1.234	1.47	1.932	NS	-0.41	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	-0.469	1.481	1.764	2.318	NS	-1.29	1.481	1.764	2.318	NS	1.014	1.234	1.47	1.932	NS	-0.67	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-0.6	1.74	2.11	2.898	NS	-1.68	1.74	2.11	2.898	NS	1.281	1.761	2.145	2.977	NS	-1.04	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	3	5.318	5.928	7.105	NS	4	5.318	5.928	7.105	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS	2	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.802	1.095	1.212	1.407	NS	1.089	1.095	1.212	1.407	NS	0.991	1.08	1.188	1.368	NS	0.645	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	1.84	2.914	3.296	4.168	NS	2.67	2.914	3.296	4.168	NS	4.229	2.956	3.344	4.282	S-0.05	2.09	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	1.266	1.481	1.764	2.318	NS	0.857	1.481	1.764	2.318	NS	-0.68	1.234	1.47	1.932	NS	0.158	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	1.571	1.734	2.101	2.878	NS	1.043	1.734	2.101	2.878	NS	-0.83	1.753	2.131	2.947	NS	0.579	1.753	2.131	2.947	NS



Continuación

PUTACCA MAYO						TAMBILLO MAYO					SACHABAMBA MAYO					PAMPA CANGALLO MAYO				
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado
Mann-Kendall (NP)	0.35	1.481	1.764	2.318	NS	0	1.481	1.764	2.318	NS	0.225	1.234	1.47	1.932	NS	0	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	0.499	1.481	1.764	2.318	NS	0.074	1.481	1.764	2.318	NS	0.342	1.234	1.47	1.932	NS	0.148	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-0.509	1.74	2.11	2.898	NS	0.134	1.74	2.11	2.898	NS	-0.2	1.761	2.145	2.977	NS	-0.5	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	2	5.318	5.928	7.105	NS	3	5.318	5.928	7.105	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.505	1.095	1.212	1.407	NS	0.697	1.095	1.212	1.407	NS	0.586	1.08	1.188	1.368	NS	0.739	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	1.103	2.914	3.296	4.168	NS	1.411	2.914	3.296	4.168	NS	1.147	2.956	3.344	4.282	NS	1.503	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	-1.184	1.481	1.764	2.318	NS	-0.45	1.481	1.764	2.318	NS	0.578	1.234	1.47	1.932	NS	0.578	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	-0.272	1.734	2.101	2.878	NS	-0.6	1.734	2.101	2.878	NS	1.106	1.753	2.131	2.947	NS	1.32	1.753	2.131	2.947	NS
PUTACCA JUNIO						TAMBILLO JUNIO					SACHABAMBA JUNIO					PAMPA CANGALLO JUNIO				
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado
Mann-Kendall (NP)	-0.56	1.481	1.764	2.318	NS	-2.59	1.481	1.764	2.318	S-0.01	-0.72	1.234	1.47	1.932	NS	-0.45	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	-0.543	1.481	1.764	2.318	NS	-2.17	1.481	1.764	2.318	S-0.05	0.159	1.234	1.47	1.932	NS	0.137	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-0.446	1.74	2.11	2.898	NS	-2.66	1.74	2.11	2.898	S-0.05	-0.76	1.761	2.145	2.977	NS	-0.71	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	3	5.318	5.928	7.105	NS	6	5.318	5.928	7.105	S-0.05	3	4.88	5.44	6.52	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.681	1.095	1.212	1.407	NS	1.05	1.095	1.212	1.407	NS	0.635	1.08	1.188	1.368	NS	0.69	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	1.375	2.914	3.296	4.168	NS	4.923	2.914	3.296	4.168	S-0.01	1.3	2.956	3.344	4.282	NS	1.426	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	0.122	1.481	1.764	2.318	NS	2	1.481	1.764	2.318	S-0.05	0.263	1.234	1.47	1.932	NS	0.578	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	-0.334	1.734	2.101	2.878	NS	2.089	1.734	2.101	2.878	S-0.10	0.952	1.753	2.131	2.947	NS	1.1	1.753	2.131	2.947	NS
PUTACCA JULIO						TAMBILLO JULIO					SACHABAMBA JULIO					PAMPA CANGALLO JULIO				
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado
Mann-Kendall (NP)	0.315	1.481	1.764	2.318	NS	-1.54	1.481	1.764	2.318	S-0.10		a=0.1	a=0.05	a=0.01		0.045	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	0.424	1.481	1.764	2.318	NS	-1.33	1.481	1.764	2.318	NS	0.405	1.234	1.47	1.932	NS	0.285	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-0.163	1.74	2.11	2.898	NS	-1.2	1.74	2.11	2.898	NS	0.649	1.234	1.47	1.932	NS	0.154	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	3	5.318	5.928	7.105	NS	4	5.318	5.928	7.105	NS	0.379	1.761	2.145	2.977	NS	2	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.483	1.095	1.212	1.407	NS	0.818	1.095	1.212	1.407	NS	5	4.88	5.44	6.52	S-0.10	0.548	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	1.316	2.914	3.296	4.168	NS	1.818	2.914	3.296	4.168	NS	0.79	1.08	1.188	1.368	NS	1.104	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	-1.347	1.481	1.764	2.318	NS	0.612	1.481	1.764	2.318	NS	1.763	2.956	3.344	4.282	NS	0.473	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	-0.566	1.734	2.101	2.878	NS	0.568	1.734	2.101	2.878	NS	0.263	1.234	1.47	1.932	NS	0.827	1.753	2.131	2.947	NS

Continuación

PUTACCA AGOSTO						TAMBILLO AGOSTO					SACHABAMBA AGOSTO				PAMPA CANGALLO AGOSTO					
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d
Mann-Kendall (NP)	-0.315	1.481	1.764	2.318	NS	-1.47	1.481	1.764	2.318	NS	0.405	1.234	1.47	1.932	NS	-0.72	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	-0.476	1.481	1.764	2.318	NS	-1.47	1.481	1.764	2.318	NS	0.558	1.234	1.47	1.932	NS	-0.78	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	-1.242	1.74	2.11	2.898	NS	-1.53	1.74	2.11	2.898	NS	0.011	1.761	2.145	2.977	NS	-0.79	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	2	5.318	5.928	7.105	NS	2	5.318	5.928	7.105	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS	4	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.81	1.095	1.212	1.407	NS	0.869	1.095	1.212	1.407	NS	0.49	1.08	1.188	1.368	NS	0.783	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	1.721	2.914	3.296	4.168	NS	1.959	2.914	3.296	4.168	NS	1.248	2.956	3.344	4.282	NS	1.897	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	0.286	1.481	1.764	2.318	NS	0.286	1.481	1.764	2.318	NS	-0.79	1.234	1.47	1.932	NS	0.053	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	1.093	1.734	2.101	2.878	NS	0.6	1.734	2.101	2.878	NS	-0.34	1.753	2.131	2.947	NS	0.256	1.753	2.131	2.947	NS
PUTACCA SEPTIEMBRE						TAMBILLO SEPTIEMBRE					SACHABAMBA SEPTIEMBRE				PAMPA CANGALLO SEPTIEMBRE					
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d
Mann-Kendall (NP)	0.77	1.481	1.764	2.318	NS	-1.68	1.481	1.764	2.318	S-0.10	1.081	1.234	1.47	1.932	NS	-0.5	1.234	1.47	1.932	NS
Spearman's Rho (NP)	0.953	1.481	1.764	2.318	NS	-1.64	1.481	1.764	2.318	S-0.10	0.991	1.234	1.47	1.932	NS	-0.37	1.234	1.47	1.932	NS
Linear regression (P)	0.672	1.74	2.11	2.898	NS	-1.92	1.74	2.11	2.898	S-0.10	0.702	1.761	2.145	2.977	NS	-0.4	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	3	5.318	5.928	7.105	NS	2	5.318	5.928	7.105	NS	4	4.88	5.44	6.52	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.661	1.095	1.212	1.407	NS	1.123	1.095	1.212	1.407	S-0.10	0.574	1.08	1.188	1.368	NS	0.66	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	1.33	2.914	3.296	4.168	NS	2.521	2.914	3.296	4.168	NS	1.767	2.956	3.344	4.282	NS	1.746	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	-1.021	1.481	1.764	2.318	NS	1.347	1.481	1.764	2.318	NS	-1.42	1.234	1.47	1.932	S-0.10	-0.26	1.234	1.47	1.932	NS
Student's t (P)	-0.685	1.734	2.101	2.878	NS	1.715	1.734	2.101	2.878	NS	-1.11	1.753	2.131	2.947	NS	0.27	1.753	2.131	2.947	NS
PUTACCA OCTUBRE						TAMBILLO OCTUBRE					SACHABAMBA OCTUBRE				PAMPA CANGALLO OCTUBRE					
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resulta d
Mann-Kendall (NP)	0.63	1.481	1.764	2.318	NS	0.28	1.481	1.764	2.318	NS	0.045	1.234	1.47	1.932	NS	1.351	1.234	1.47	1.932	S-0.10
Spearman's Rho (NP)	0.551	1.481	1.764	2.318	NS	0.253	1.481	1.764	2.318	NS	0.216	1.234	1.47	1.932	NS	1.538	1.234	1.47	1.932	S-0.05
Linear regression (P)	-0.45	1.74	2.11	2.898	NS	0.11	1.74	2.11	2.898	NS	0.584	1.761	2.145	2.977	NS	0.817	1.761	2.145	2.977	NS
Cusum (NP)	3	5.318	5.928	7.105	NS	3	5.318	5.928	7.105	NS	2	4.88	5.44	6.52	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS
Cumulative deviation (P)	0.666	1.095	1.212	1.407	NS	0.483	1.095	1.212	1.407	NS	0.692	1.08	1.188	1.368	NS	0.931	1.08	1.188	1.368	NS
Worsley likelihood (P)	1.903	2.914	3.296	4.168	NS	0.991	2.914	3.296	4.168	NS	1.432	2.956	3.344	4.282	NS	2.581	2.956	3.344	4.282	NS
Rank Sum (NP)	-0.122	1.481	1.764	2.318	NS	0.449	1.481	1.764	2.318	NS	0.263	1.234	1.47	1.932	NS	-1.73	1.234	1.47	1.932	S-0.05
Student's t (P)	0.644	1.734	2.101	2.878	NS	0.686	1.734	2.101	2.878	NS	0.039	1.753	2.131	2.947	NS	-0.38	1.753	2.131	2.947	NS

Continuación

PUTACCA NOVIEMBRE					TAMBILLO NOVIEMBRE					SACHABAMBA NOVIEMBRE					PAMPA CANGALLO NOVIEMBRE						
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	
Mann-Kendall (NP)	0	1.481	1.764	2.318	NS	-0.84	1.481	1.764	2.318	NS	0	1.234	1.47	1.932	NS	0.315	1.234	1.47	1.932	NS	
Spearman's Rho (NP)	0.112	1.481	1.764	2.318	NS	-0.79	1.481	1.764	2.318	NS	0.08	1.234	1.47	1.932	NS	0.319	1.234	1.47	1.932	NS	
Linear regression (P)	-0.615	1.74	2.11	2.898	NS	-0.46	1.74	2.11	2.898	NS	0.196	1.761	2.145	2.977	NS	-0.26	1.761	2.145	2.977	NS	
Cusum (NP)	2	5.318	5.928	7.105	NS	3	5.318	5.928	7.105	NS	3	4.88	5.44	6.52	NS	2	4.88	5.44	6.52	NS	
Cumulative deviation (P)	0.546	1.095	1.212	1.407	NS	0.456	1.095	1.212	1.407	NS	0.437	1.08	1.188	1.368	NS	0.532	1.08	1.188	1.368	NS	
Worsley likelihood (P)	1.302	2.914	3.296	4.168	NS	1.096	2.914	3.296	4.168	NS	1.008	2.956	3.344	4.282	NS	2.459	2.956	3.344	4.282	NS	
Rank Sum (NP)	0.041	1.481	1.764	2.318	NS	0.204	1.481	1.764	2.318	NS	0.158	1.234	1.47	1.932	NS	-0.26	1.234	1.47	1.932	NS	
Student's t (P)	0.594	1.734	2.101	2.878	NS	-0.02	1.734	2.101	2.878	NS	0.167	1.753	2.131	2.947	NS	0.412	1.753	2.131	2.947	NS	
PUTACCA DICIEMBRE					TAMBILLO DICIEMBRE					SACHABAMBA DICIEMBRE					PAMPA CANGALLO DICIEMBRE						
	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01		(Tabla Std)	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Resultado	
Mann-Kendall (NP)	0	1.481	1.764	2.318	NS	0.35	1.481	1.764	2.318	NS		a=0.1	a=0.05	a=0.01		1.036	1.234	1.47	1.932	NS	
Spearman's Rho (NP)	0.112	1.481	1.764	2.318	NS	0.365	1.481	1.764	2.318	NS	1.756	1.234	1.47	1.932	S-0.05	1.412	1.234	1.47	1.932	S-0.10	
Linear regression (P)	-0.615	1.74	2.11	2.898	NS	0.283	1.74	2.11	2.898	NS	1.823	1.234	1.47	1.932	S-0.05	1.118	1.761	2.145	2.977	NS	
Cusum (NP)	2	5.318	5.928	7.105	NS	4	5.318	5.928	7.105	NS	2.113	1.761	2.145	2.977	S-0.10	5	4.88	5.44	6.52	S-0.10	
Cumulative deviation (P)	0.546	1.095	1.212	1.407	NS	0.484	1.095	1.212	1.407	NS	5	4.88	5.44	6.52	S-0.10	1.08	1.08	1.188	1.368	S-0.10	
Worsley likelihood (P)	1.302	2.914	3.296	4.168	NS	1.58	2.914	3.296	4.168	NS	1.211	1.08	1.188	1.368	S-0.05	2.429	2.956	3.344	4.282	NS	
Rank Sum (NP)	0.041	1.481	1.764	2.318	NS	-0.61	1.481	1.764	2.318	NS	2.882	2.956	3.344	4.282	NS	-1.63	1.234	1.47	1.932	S-0.05	
Student's t (P)	0.594	1.734	2.101	2.878	NS	-0.58	1.734	2.101	2.878	NS	-1.73	1.234	1.47	1.932	S-0.05	-0.75	1.753	2.131	2.947	NS	
test p/ cambio en tendencia : Spearman's Rho, Mann-Kendall, Linear regression										NS:	No significativo, consistente					NP	No parametrico				
test p/ cambio en media y mediana: Cusum, Cumulative deviation, Worsley likelihood										S:	Significativo, no consistente					P	parametrico				
test p/ para diferencia en la media / mediana en los diferentes periodos de la serie : Rank Sum, Student'																					

El registro pluviométrico acumulado consistente y completo de las estaciones pilotos se presenta en los cuadros N° 3.18, N° 3.19, N° 3.20, N° 3.21

**Cuadro N° 3.18**

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)													
ESTACION	: PUTACCA			DISTRITO	: VINCHOS			LATITUD	:13°24'16,26"S				
CODIGO	: 001			PROVINCIA	: HUAMANGA			LONGITUD	:74°21'01,14"O				
AÑO	: 2009			DEPARTAMENTO	: AYACUCHO			ALTITUD	: 3550msnm				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1991	SD	20.8	27.3	10.3	9.5	4.0	3.8	0.0	10.5	12.5	12.5	12.0	123.2
1992	67.4	131.3	51.1	17.2	0.0	11.8	23.2	64.6	10.3	100.0	40.0	78.2	595.1
1993	405.8	288.4	354.0	88.2	98.8	6.8	79.4	38.6	74.2	224.0	312.4	394.6	2365.2
1994	182.6	173.9	157.5	66.0	27.2	27.7	0.0	0.0	15.3	18.9	43.9	83.6	796.6
1995	149.4	248.6	169.8	56.1	1.6	6.0	11.6	5.2	27.8	37.9	127.5	111.7	953.2
1996	277.6	266.4	181.2	50.3	17.9	0.6	3.2	40.7	9.8	54.3	45.6	161.7	1109.3
1997	176.6	215.0	98.8	71.0	25.1	0.0	1.7	50.8	29.9	34.8	89.6	242.9	1036.2
1998	250.7	116.3	158.9	37.9	1.4	22.0	0.0	17.9	0.0	49.0	62.2	114.1	830.4
1999	175.7	213.1	200.3	129.4	8.2	7.6	10.1	0.7	57.8	122.4	37.3	119.6	1082.2
2000	163.8	308.1	175.8	25.3	55.6	62.7	23.2	13.9	13.7	84.1	41.7	158.9	1127
2001	199.8	124.9	224.4	31.2	56.3	12.6	18.9	9.1	16.5	20.0	105.1	86.5	905.36
2002	114.5	194.5	149.5	45.4	18.9	1.5	89.9	10.6	74.7	94.1	93.9	164.4	1051.9
2003	157.6	109.6	113.5	56.9	12.4	0.1	1.9	22.3	23.2	10.6	49.5	164.4	722
2004	36.0	130.0	119.5	20.4	10.0	18.1	10.7	16.0	57.3	47.4	35.3	138.2	638.87
2005	143.0	71.5	107.7	26.0	20.8	0.0	15.8	28.8	49.9	38.5	29.5	123.8	655.3
2006	143.8	138.9	117.3	70.6	3.2	7.4	0.0	35.2	13.3	67.5	122.9	88.9	809
2007	118.1	89.4	157.3	44.4	15.4	2.2	17.1	2.7	20.1	49.7	27.7	134.0	678.1
2008	226.4	202.4	184.2	17.9	33.0	11.8	3.2	3.2	55.2	100.4	48.6	104.2	990.5
2009	181.8	175.1	70.8	37.4	15.2	2.7	32.1	5.6	13.4	66.1	119.5	120.4	840.1
2010	202.8	117.2	97.1	38.2	7.8	A	A	A	A	A	A	A	463.1
MEDIA	177.55	166.77	145.80	47.01	21.92	10.82	18.20	19.26	30.15	64.85	76.04	136.95	915.32

**Cuadro N° 3.19**

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUAL (mm)													
ESTACION	: TAMBILLO			DISTRITO	: TAMBILLO			LATITUD	:13°13'06,72"S				
CODIGO	: 002			PROVINCIA	: HUAMANGA			LONGITUD	:74°06'22,68"O				
				REGION	: AYACUCHO			ALTITUD	: 3250msnm				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1992	105.1	193.3	144.8	38.9	10.1	35.3	24.7	36.4	15.1	42.9	42.0	55.9	744.6
1993	148.4	127.1	100.0	105.0	15.4	12.5	20.4	22.4	66.1	52.8	114.5	192.5	977.1
1994	156.4	167.9	150.0	71.9	5.2	6.2	32.7	7.3	22.6	25.2	60.4	126.3	832.1
1995	143.2	111.4	148.9	60.8	13.0	1.0	10.3	4.5	19.2	54.7	89.6	83.2	739.8
1996	101.2	100.4	186.5	48.8	13.2	2.1	0.3	19.5	31.3	68.6	26.4	82.8	681.1
1997	180.3	195.6	108.2	53.5	6.2	0.0	3.1	42.8	50.5	51.4	124.1	135.4	951.1
1998	181.9	152.0	98.8	44.3	2.1	18.8	0.0	0.8	19.0	73.8	50.1	75.2	716.8
1999	136.6	165.9	130.5	19.8	0.5	3.7	5.0	0.0	57.2	25.7	79.1	96.1	720.1
2000	137.9	225.0	110.5	16.4	30.3	17.3	49.0	5.1	9.4	65.7	20.8	94.1	781.4
2001	188.4	75.5	123.1	36.4	43.9	5.9	28.3	16.6	15.9	40.2	134.3	80.5	789.0
2002	111.2	187.7	162.1	47.8	17.7	1.8	32.6	12.8	35.5	30.2	72.8	115.6	827.8
2003	94.2	181.2	120.1	60.8	10.7	0.0	0.0	44.3	9.9	5.8	11.7	118.0	656.5
2004	69.8	162.5	65.4	17.0	10.8	9.8	28.8	7.5	29.2	48.8	58.1	168.1	675.8
2005	86.5	75.4	178.2	19.4	0.2	0.0	4.4	1.5	22.1	55.3	44.1	151.7	638.8
2006	121.3	109.2	111.2	40.7	1.5	1.8	0.0	14.9	9.0	66.7	172.0	68.1	716.4
2007	110.2	82.2	141.8	57.5	4.3	0.0	19.0	1.0	25.2	77.7	31.6	109.7	660.3
2008	110.2	148.5	72.8	7.9	10.4	2.0	0.0	1.4	8.1	38.4	31.5	74.5	505.6
2009	133.3	124.3	64.9	67.7	23.8	0.0	9.4	0.2	21.0	26.7	97.7	140.8	709.8
2010	186.9	88.1	96.2	40.2	13.8	0.0	0.0	15.4	12.8	62.3	23.6	115.2	654.5
MEDIA	131.7	140.7	121.8	45.0	12.3	6.2	14.1	13.4	25.2	48.0	67.6	109.7	735.7

Cuadro N° 3.20

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)													
ESTACION	: SACHABAMBA			DISTRITO : CHIARA				LATITUD : 13°27'38,52" S					
CODIGO	: 003			PROVINCIA : HUAMANGA				LONGITUD : 74°06'02,58" O					
AÑO	: 2009			DEPARTAMENTO : AYACUCHO				ALTITUD : 3540 msnm					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1995	172.6	130.3	150.5	55.7	4.4	6.4	7.7	6.7	18.3	61.8	108.5	93.9	816.8
1996	317.9	188.1	158.0	83.5	20.0	0.0	1.3	4.3	13.2	33.1	43.3	92.9	955.6
1997	275.9	142.2	118.9	50.6	9.9	0.0	2.1	43.1	62.9	20.4	118.8	182.6	1027.4
1998	199.5	156.5	211.1	63.4	0.0	35.3	0.0	5.2	16.0	56.4	59.4	78.3	881.1
1999	146.1	189.1	131.1	53.8	10.1	7.0	3.2	0.0	40.0	88.6	43.9	121.5	834.4
2000	130.9	106.4	173.8	65.3	15.9	17.3	20.5	20.0	23.2	57.6	29.9	130.9	791.7
2001	334.3	134.3	253.1	57.2	55.1	5.1	26.0	14.5	31.5	55.2	72.5	59.6	1098.4
2002	128.1	322.4	177.8	67.8	16.5	4.2	54.3	17.1	31.5	79.1	170.0	222.7	1291.4
2003	178.5	204.4	274.4	89.0	9.9	0.0	0.0	28.1	44.6	24.7	40.5	183.3	1077.4
2004	102.9	199.7	104.6	38.7	10.4	10.2	12.7	17.2	67.0	19.0	68.5	209.4	860.3
2005	143.7	67.6	160.5	50.1	5.7	0.0	16.3	11.9	39.7	86.6	39.8	206.5	828.4
2006	223.4	163.2	215.4	68.8	0.0	8.6	0.0	31.2	23.7	98.3	157.7	112.2	1102.5
2007	177.7	113.7	176.9	75.8	11.3	0.0	9.1	5.3	40.6	51.3	74.0	158.1	893.8
2008	316.6	251.8	136.0	29.9	10.7	18.4	9.8	5.4	38.6	79.2	68.9	74.5	1039.7
2009	206.6	214.8	128.1	111.6	8.0	0.0	23.9	11.3	8.3	41.1	131.7	233.9	1119.3
2010	401.5	96.2	125.6	109.8	18.4	0.0	0.0	15.4	49.5	48.1	35.1	248.6	1148.1
MEDIA	216.0	167.5	168.5	66.9	12.9	7.0	11.7	14.8	34.3	56.3	78.9	150.6	985.4

Cuadro N° 3.21

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)													
ESTACION	: PAMPA CANGALL			DISTRITO : LOS MOROCHUCOS				LATITUD : 13°33'18,30" S					
CODIGO	: 004			PROVINCIA : CANGALLO				LONGITUD : 74°11'52,08" O					
				DEPARTAMENTO : AYACUCHO				ALTITUD : 3350msnm					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1995	139	127.4	141.5	63.2	1.6	0	0.8	9.1	19.8	20.8	131.9	105.3	760.4
1996	218.8	175.4	146.3	58.6	0.0	1.0	3.8	5.5	29.5	21.4	22.6	73.4	756.3
1997	163.0	104.1	70.6	21.2	13.3	0.0	2.6	46.7	36.7	9.1	59.4	102.4	629.1
1998	163.2	155.7	127.6	17.3	1.2	13.3	0.0	1.5	6.3	40.4	46.0	62.8	635.3
1999	98.0	225.9	144.1	70.0	2.6	1.7	6.2	0.0	58.2	32.9	39.7	67.3	746.6
2000	84.6	65.0	137.4	29.1	24.1	15.1	3.5	22.5	3.5	96.9	20.0	84.6	586.2
2001	195.0	81.8	218.8	37.1	39.8	7.3	11.8	8.1	15.7	39.8	59.8	28.6	743.5
2002	130.8	155.6	134.0	23.8	10.5	2.0	46.5	13.6	73.2	31.1	132.4	243.1	996.6
2003	155.3	131.4	136.8	52.2	9.5	0.0	0.0	18.5	37.4	40.4	53.8	135.8	771.1
2004	56.8	170.5	131.1	27.3	2.8	9.8	10.9	8.4	37.1	44.1	69.7	119.9	688.4
2005	80.9	67.1	120.8	38.6	0.1	0.0	4.1	34.4	43.9	43.0	29.3	118.5	580.7
2006	130.0	124.3	171.5	41.3	2.1	3.3	0.0	22.8	33.0	37.0	57.0	46.0	668.3
2007	78.7	87.7	169.6	S/D	10.5	0.5	4.7	2.4	32.6	46.6	54.7	128.3	616.3
2008	190.6	175.2	92.1	27.8	6.9	4.8	0.0	3.9	13.1	33.5	66.0	98.7	712.6
2009	111.3	118.2	141.7	57.4	0.2	0.0	15.8	0.0	11.3	38.5	100.0	102.7	697.1
2010	258.6	136.5	107.3	31.7	2.9	0.0	0.0	3.3	14.0	36.5	23.6	170.2	784.6
2011	306.7	260.7	124.5	90.1	8.0	0.0	13.3	4.4	34.5	34.5	89.3	89.5	1055.5
MEDIA	150.7	139.0	136.2	42.9	8.0	3.5	7.3	12.1	29.4	38.0	62.1	104.5	733.6

### 3.2.2 APLICACIÓN DE LOS MODELOS DETERMINÍSTICOS PARCIALES

En esta etapa el modelo toma prestado varios modelos parciales para la generación de variables meteorológicas, sin embargo no es rígido ni específica que modelo parcial debe usarse, dicha decisión es tomada en base a la experiencia y el conocimiento de la fisiografía de la microcuenca, de estudios anteriores realizadas en la microcuenca y el caso extremos si es necesario generar sus propias valores regionalizados en base a libres asociaciones, haciendo las aclaraciones que dichas ecuaciones generadas sólo son válidas para una determinada zona.

A continuación se describen los principales modelos parciales empleados, los cuales son propuestos por el experto Lutz y algunos propuestos en base a la experiencia y el conocimiento de la zona en estudio.

#### 3.2.2.1 PRECIPITACIÓN SOBRE LA CUENCA

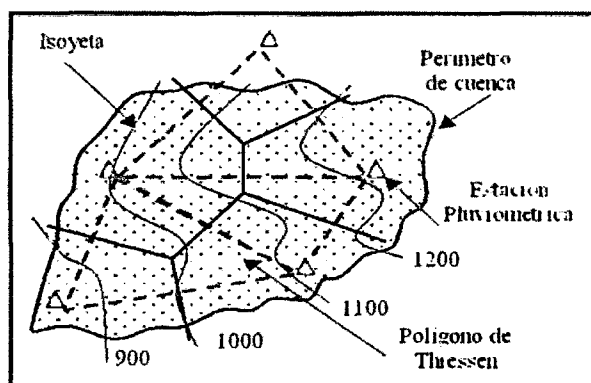
[15, Villón, 2002] Se determina la precipitación total mensual sobre la cuenca según el método de las isoyetas, a partir de las estaciones meteorológicas alrededor de la microcuenca, teniendo en cuenta la gradiente de lluviosidad calculada de datos a partir de las mismas estaciones.

El procedimiento para el cálculo de la precipitación areal de la microcuenca Palcca, se presenta en los resultados ver (cuadros N°4.03 y N°4.04), siguiendo la metodología que a continuación se presenta:

- **Método de las isoyetas**

[13, Sovero, 1991] utilizando las profundidades que se observa en los pluviómetros, e interpolando entre pluviómetros adyacentes, se une los puntos de igual profundidad de precipitación, (de modo semejante a

figura 3.05



como se trazan las curvas de nivel. Una vez que el mapa de isoyetas se construye, se mide el área  $A_j$  entre cada par de isoyetas en la cuenca y multiplicado por el promedio  $P_j$  de las profundidades de la lluvia de las dos isoyetas adyacentes para calcular la precipitación sobre el área mediante la ecuación:

$$P_m = \sum_{i=1}^n A_j \cdot P_j$$

- $P_m$  : Precipitación media areal sobre la cuenca (deducible del mapa de isoyetas) (mm)
- $A_j$  : Área entre el par de isoyetas (km<sup>2</sup>)
- $P_j$  : Promedio de las profundidades de lluvia de dos isoyetas adyacentes (mm)
- $P_i^m$  : Precipitación media de la estación  $i$

Determinando el factor de regionalización:

$$K_i = \frac{P_m}{P_i^m}$$

Generando precipitación media mensual para la estación ficticia

Admitiendo la hipótesis de  $K_i$  permanece constante cualquiera que sea el periodo considerado, se obtiene:

$$P_{a,j,k} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_{i,j,k}$$

Donde:

- $K_i$  : Factor de regionalización correspondiente a la estación
- $P_{i,j,k}$  : Precipitación en la estación  $i$  en el mes  $j$  y año  $k$
- $P_{a,j,k}$  : Precipitación estación ficticia areal sobre la cuenca en el mes  $j$  y año  $k$
- $n$  : Número de estaciones cuyos polígonos de influencia afectan a la Cuenca

### 3.2.2.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA “C”

Para la estimación del coeficiente de escorrentía “C”, se utilizara las ecuaciones de “L.Turc” debido a que los resultados serán muy cercanos a los de la zona en estudio. La metodología de cálculo se presenta en los resultados ver (cuadro N° 4.15)

#### ▪ Metodo de ” L. TURC”

[10, Lutz, 1980] Tiene la expresión de:

$$C = \frac{P - D}{P}$$

Donde:

- $C$  : Coeficiente de escurrimiento  
 $P$  : Precipitación total anual (mm/año)  
 $D$  : Déficit de escurrimiento (mm/año)

$$D = \frac{P}{\left[0.9 * \left(\frac{P}{L}\right)^2\right]^{0.5}}$$

- $L$  : Coeficiente de Temperatura

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3$$

- $T$  : Temperatura media anual (°centigrados)

### 3.2.2.3 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

#### [14, U,N,A,L,M, Meteorología, 1994]

Existen varios métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial, entre ellos puede mencionarse: los métodos de Blaney-Criddle Modificado por FAO, Penman-FAO, Hargreaves Tipo II, Hargreaves Tipo III (recomendado por Lutz Scholz), Thornthwaite, Penmam para las condiciones del Perú (García, J. 1984), este último método es el que mejor ajuste con respecto a los datos registrados por las estaciones meteorológicas próximos a la microcuenca Pallcca. Los cálculos



realizados por este método se presentan en los resultados ver cuadros (N°4.09, N°4.10, N°4.11, N°4.12 y la gráfica N°4.04)

▪ **Penmam para las condiciones del Perú (García, J. 1984)**

La fórmula de Penman modificado para las condiciones del Perú se presenta a continuación

$$E_o = \frac{\left[ \frac{m \cdot e_s}{P \cdot T^2} \right] * R_n + E_a}{\left[ \frac{m \cdot e_s}{P \cdot T^2} \right] + 1}$$

Dónde:

- E<sub>o</sub>* : Evapotranspiración potencial en (mm/día)  
*m* : 8.03\*10<sup>6</sup> °K<sup>2</sup>  
*e<sub>s</sub>* : Presión de vapor de saturación (hPa) en tablas psicrométricas.  
*P* :  $P = 1014.78 * e^{-1.17 * 10^{-4} Z}$   
*Z* : Altura de la estación (m.s.n.m)  
*T* : Temperatura del aire (°K)  
*R<sub>n</sub>* : Radiación Neta ( mm/día)  
 $R_n = R_{noc} - R_{nol}$   
*E<sub>a</sub>* : Término aerodinámico ( mm/día)

**Estimación de R<sub>nol</sub> (mm/día)**

- Costa Norte : R<sub>nol</sub> = -0.111 + 0.255 ΔT  
 Costa Central : R<sub>nol</sub> = -0.21 + 0.23 ΔT  
 Costa Sur : R<sub>nol</sub> = -0.474 + 0.5134 ΔT  
 Sierra Norte : R<sub>nol</sub> = -0.827 + 0.209 ΔT  
 Sierra Central : R<sub>nol</sub> = -0.0971 + 0.188 ΔT (microcuenca Pallcca)  
 Sierra Sur : R<sub>nol</sub> = -4.74 + 0.5134 ΔT  
 Selva : R<sub>nol</sub> = -1.2516 + 2.5882 ΔT/N

### Estimación de Rnoc (mm/día)

Costa Norte	: $R_{noc} = (1-\alpha) Q_s (0.360 + 0.221 \Delta T/N)$
Costa Central	: $R_{noc} = (1-\alpha) Q_s (0.060 + 0.640 \Delta T/N)$
Costa Sur	: $R_{noc} = \text{por definir}$
Sierra Norte	: $R_{noc} = (1-\alpha) Q_s (0.284 + 0.205 \Delta T/N)$
Sierra Central	: $R_{noc} = (1-\alpha) Q_s (0.457 + 0.207 \Delta T/N)$ (microcuenca Pallcca)
Sierra Sur	: $R_{noc} = (1-\alpha) Q_s (0.230 + 0.380 \Delta T/N)$
Selva	: $R_{noc} = (1-\alpha) Q_s (0.0188 + 0.4984 \Delta T/N)$

### Estimación de Ea (mm/día)

Costa Norte	: $E_a = -5.8423 + 0.461 T_{max}$
Costa Central	: $E_a = -0.5300 + 1.400 R_{nol}$
Costa Sur	: $E_a = -3.0100 + 2.820 R_{nol}$
Sierra Norte	: $E_a = -5.3500 + 3.980 R_{nol}$
Sierra Central	: $E_a = -0.0660 + 0.740 R_{nol}$ (microcuenca Pallcca)
Sierra Sur	: $E_a = -3.0100 + 2.820 R_{nol}$
Selva	: $E_a = -2.1080 + 0.095 T_{max} + 0.186 \Delta T$

Dónde:

$\Delta T$	: $T_{max} - T_{min}$
$Q_s$	: Radiación solar en el tope de la atmósfera (en tablas)
$N$	: Foto periodo (en tablas)
$\alpha$	: Albedo; promedio para las condiciones de la zona en estudio. Tablas, (recomendado 0.2 a 0.3)

Cuadro N° 3.22

Valores Característicos de Albedo Superficial			
Agua	0.080	Nieve Limpia	0.825
Barbecho	0.090	Nieve sucia	0.450
Hierba Verde	0.175	Pedregal	0.150
Hierba Seca	0.255	Ríos	0.085
Hierba Mojada	0.275	Suelo Húmedo	0.100
Nieve Fresca	0.875	Zona Urbana	0.305

Fuente: Guía de laboratorio de meteorología UNALM

**RADIACIÓN EN EL TOPE DE LA ATMÓSFERA**  
**Qs (mm/día)**

Cuadro N° 3.23

*Hemisferio Sur*

Lat	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	14.45	14.82	14.98	14.57	13.78	13.28	13.33	14.11	14.75	14.81	14.46	14.25
2	14.59	14.91	14.99	14.50	13.64	13.03	13.18	14.01	14.72	14.87	14.58	14.41
3	14.73	15.00	15.00	14.42	13.51	12.87	13.03	13.90	14.69	14.93	14.71	14.56
4	14.87	15.00	15.01	14.35	13.37	12.70	12.87	13.79	14.66	14.93	14.83	14.71
5	15.01	15.16	15.01	14.26	13.22	12.53	12.71	13.68	14.62	15.03	14.94	14.86
6	15.14	15.23	15.00	14.17	13.07	12.36	12.55	13.56	14.58	15.07	15.05	15.01
7	15.26	15.30	14.99	14.08	12.92	12.18	12.39	13.44	14.53	15.11	15.16	15.15
8	15.38	15.37	14.98	13.99	12.77	12.01	12.22	13.32	14.40	15.14	15.27	15.28
9	15.50	15.43	14.96	13.89	12.61	11.82	12.05	13.19	14.43	15.17	15.36	15.42
10	15.62	15.49	14.74	13.79	12.45	11.64	11.87	13.00	14.37	15.20	15.46	15.54
11	15.73	15.54	14.91	13.68	12.29	11.45	11.69	13.92	14.30	15.22	15.55	15.67
12	16.83	15.59	14.88	13.57	12.12	11.26	11.51	12.78	14.23	15.23	15.64	15.79
13	15.93	15.64	14.85	13.45	11.95	11.07	11.03	12.64	14.16	15.24	15.72	15.91
14	16.03	15.68	14.80	13.33	11.77	11.87	11.14	12.49	14.08	15.25	15.00	16.02
15	16.12	15.71	14.76	13.21	11.59	10.67	10.95	12.34	14.00	15.25	15.07	16.13
16	16.21	15.74	14.71	13.08	11.41	10.47	10.76	12.19	13.92	15.25	15.94	16.23
17	16.30	15.77	14.66	12.95	11.23	10.27	10.57	12.03	13.83	15.24	16.01	16.34
18	16.38	15.79	14.60	12.81	11.05	10.07	10.37	11.87	13.74	15.23	16.07	16.43

Fuente Laboratorio de Meteorología UNALM

**Cuadro N° 3.24**  
**FOTOPERIODO (fp)**  
**HORAS Y DÉCIMAS**

*Hemisferio Sur*

<b>Lat</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1	12.05	12.03	12.01	11.98	11.96	11.94	11.95	11.97	11.99	12.02	12.05	12.06
2	12.10	12.07	12.01	11.96	11.91	11.89	11.90	11.93	11.94	12.04	12.09	12.11
3	12.15	12.10	12.02	11.94	11.87	11.83	11.84	11.90	11.98	12.07	12.14	12.17
4	12.21	12.13	12.03	11.91	11.82	11.77	11.79	11.87	11.98	12.09	12.18	12.23
5	12.26	12.16	12.03	11.89	11.78	11.72	11.74	11.84	11.97	12.11	12.23	12.28
6	12.31	12.20	12.04	11.67	11.73	11.66	11.69	11.00	11.96	12.13	12.27	12.34
7	12.36	12.23	12.05	11.85	11.69	11.60	11.63	11.77	11.96	12.16	12.32	12.40
8	12.41	12.26	12.05	11.83	11.64	11.54	11.58	11.74	11.85	12.18	12.37	12.46
9	12.44	12.30	12.06	11.31	11.59	11.49	11.53	11.70	11.85	12.20	12.41	12.51
10	12.52	12.33	12.07	11.79	11.55	11.43	11.47	11.67	11.94	12.22	12.46	12.57
11	12.57	12.36	12.08	11.76	11.50	11.37	11.42	11.64	11.94	12.25	12.51	12.63
12	12.63	12.40	12.08	11.74	11.45	11.31	11.37	11.60	11.93	12.27	12.55	12.69
13	12.68	12.43	12.09	11.72	11.41	11.25	11.31	11.57	11.92	12.29	12.60	12.75
14	12.74	12.47	12.10	11.70	11.36	11.19	11.26	11.53	11.92	12.32	12.65	12.81
15	12.79	12.50	12.10	11.67	11.31	11.13	11.20	11.50	11.91	12.34	12.70	12.87
16	12.85	15.54	12.11	11.65	11.26	11.07	11.14	11.46	11.90	12.36	12.75	12.93
17	12.90	12.57	12.12	11.63	11.22	11.00	11.08	11.43	11.90	12.39	12.80	13.00
18	12.96	12.61	12.13	11.60	11.17	10.97	11.03	11.39	11.89	12.41	12.85	13.06

Fuente Laboratorio de Meteorología UNALM

Cuadro N° 3.25

## TABLA PSICROMÉTRICA PARA TEMPERATURAS POSITIVAS

Presión de vapor saturado en hpa (e s)

(°C)	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	6.110	6.155	6.200	6.245	6.336	6.382	6.428	6.475	6.522
1	6.569	6.616	6.664	6.712	6.810	6.859	6.908	6.958	7.008
2	7.058	7.109	7.159	7.211	7.314	7.367	7.419	7.472	7.525
3	7.579	7.633	7.687	7.742	7.852	7.907	7.963	8.020	8.076
4	8.133	8.191	8.248	8.307	8.424	8.483	8.542	8.602	8.663
5	8.723	8.784	8.846	8.908	9.032	9.095	9.159	9.222	9.286
6	9.351	9.416	9.481	9.547	9.679	9.746	9.813	9.881	9.949
7	10.018	10.087	10.156	10.226	10.367	10.438	10.509	10.581	10.653
8	10.726	10.799	10.873	10.947	11.097	11.172	11.248	11.324	11.401
9	11.478	11.556	11.634	11.713	11.871	11.951	12.032	12.113	12.194
10	12.276	12.359	12.442	12.525	12.693	12.778	12.864	12.950	13.036
11	13.123	13.210	13.298	13.387	13.565	13.655	13.746	13.837	13.928
12	14.020	14.113	14.206	14.300	14.489	14.584	14.680	14.777	14.874
13	14.971	15.070	15.168	15.267	15.468	15.569	15.670	15.772	15.875
14	15.978	16.082	16.187	16.292	16.504	16.611	16.718	16.826	16.935
15	17.045	17.154	17.265	17.376	17.601	17.714	17.827	17.942	18.057
16	18.172	18.289	18.406	18.523	18.761	18.880	19.000	19.121	19.243
17	19.365	19.488	19.612	19.736	19.987	20.113	20.240	20.368	20.497
18	20.626	20.756	20.887	21.018	21.283	21.417	21.551	21.686	21.822
19	21.958	22.095	22.233	22.372	22.652	22.793	22.935	23.077	23.221
20	23.365	23.510	23.656	23.802	24.097	24.246	24.396	24.547	24.698
21	24.850	25.003	25.157	25.311	25.623	25.780	25.938	26.097	26.256
22	26.417	26.578	26.740	26.903	27.232	27.398	27.564	27.732	27.900
23	28.069	28.239	28.410	28.582	28.929	29.103	29.279	29.455	29.633
24	29.811	29.990	30.171	30.352	30.717	30.901	31.086	31.272	31.459
25	31.647	31.836	32.025	32.216	32.601	32.795	32.989	33.185	33.382
26	33.580	33.779	33.979	34.180	34.585	34.789	34.994	35.200	35.407
27	35.615	35.825	36.035	36.247	36.673	36.888	37.103	37.320	37.538
28	37.757	37.978	38.199	38.422	38.870	39.096	39.323	39.551	39.780
29	40.011	40.242	40.475	40.709	41.181	41.418	41.657	41.897	42.138
30	42.380	42.624	42.869	43.115	43.610	43.860	44.111	44.363	44.616
31	44.871	45.127	45.384	45.642	46.163	46.425	46.689	46.954	47.220
32	47.488	47.756	48.027	48.298	48.845	49.121	49.397	49.676	49.955
33	50.236	50.518	50.802	51.087	51.661	51.950	52.241	52.533	52.827
34	53.121	53.418	53.715	54.015	54.617	54.921	55.226	55.532	55.840
35	56.149	56.460	56.773	57.087	57.719	58.037	58.357	58.679	59.002
36	59.326	59.652	59.980	60.309	60.972	61.306	61.641	61.978	62.317
37	62.657	62.999	63.343	63.688	64.383	64.733	65.084	65.438	65.793
38	66.149	66.508	66.868	67.229	67.958	68.324	68.693	69.063	69.435
39	69.809	70.184	70.561	70.940	71.703	72.087	72.473	72.861	73.250
40	73.642	74.035	74.430	74.826	75.625	76.028	76.432	76.838	77.246
41	77.655	78.067	78.480	78.896	79.732	80.153	80.576	81.001	81.428
42	81.857	82.288	82.720	83.155	84.030	84.471	84.913	85.358	85.804
43	86.253	86.704	87.156	87.611	88.527	88.988	89.450	89.915	90.383
44	90.852	91.323	91.796	92.272	93.229	93.711	94.195	94.681	95.170
45	95.660	96.153	96.648	97.145	98.146	98.650	99.156	99.664	100.174
46	100.687	101.202	101.719	102.238	103.284	103.811	104.339	104.870	105.404
47	105.939	106.477	107.018	107.560	108.653	109.203	109.755	110.310	110.867
48	111.426	111.988	112.552	113.119	114.260	114.834	115.411	115.990	116.571
49	117.156	117.742	118.331	118.923	120.114	120.713	121.315	121.920	122.527
50	123.137	123.749	124.364	124.981	126.224	126.850	127.478	128.109	128.742

Fuente Laboratorio de Meteorología UNALM

hpa=mb (aprox)

Cuadro N° 3.26

## TABLA PSICROMÉTRICA PARA TEMPERATURAS NEGATIVAS

Presión de vapor saturado en hpa (e s )

T(°C)	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	6.110	6.066	6.022	5.978	5.892	5.849	5.806	5.764	5.722
-1	5.680	5.638	5.597	5.556	5.475	5.435	5.395	5.355	5.316
-2	5.277	5.238	5.199	5.161	5.085	5.047	5.010	4.972	4.935
-3	4.899	4.862	4.826	4.790	4.719	4.684	4.649	4.614	4.580
-4	4.545	4.511	4.477	4.444	4.377	4.344	4.311	4.279	4.247
-5	4.215	4.183	4.151	4.120	4.057	4.026	3.996	3.965	3.935
-6	3.905	3.875	3.846	3.817	3.758	3.730	3.701	3.673	3.644
-7	3.616	3.589	3.561	3.533	3.479	3.452	3.426	3.399	3.373
-8	3.347	3.321	3.295	3.269	3.219	3.193	3.169	3.144	3.119
-9	3.095	3.071	3.047	3.023	2.975	2.952	2.929	2.906	2.883
-10	2.860	2.837	2.815	2.793	2.749	2.727	2.705	2.684	2.662
-11	2.641	2.620	2.599	2.579	2.537	2.517	2.497	2.477	2.457
-12	2.437	2.418	2.398	2.379	2.341	2.322	2.303	2.285	2.266
-13	2.248	2.229	2.211	2.193	2.158	2.140	2.123	2.106	2.088
-14	2.071	2.054	2.037	2.021	1.988	1.971	1.955	1.939	1.923
-15	1.907	1.892	1.876	1.860	1.830	1.815	1.799	1.784	1.770
-16	1.755	1.740	1.726	1.711	1.683	1.669	1.655	1.641	1.627
-17	1.614	1.600	1.587	1.573	1.547	1.534	1.521	1.508	1.495
-18	1.482	1.470	1.457	1.445	1.420	1.408	1.396	1.384	1.373
-19	1.361	1.349	1.338	1.326	1.303	1.292	1.281	1.270	1.259
-20	1.248	1.237	1.227	1.216	1.195	1.185	1.174	1.164	1.154
-21	1.144	1.134	1.124	1.114	1.095	1.085	1.076	1.066	1.057
-22	1.048	1.038	1.029	1.020	1.002	0.993	0.985	0.976	0.967
-23	0.959	0.950	0.942	0.933	0.917	0.909	0.900	0.892	0.884
-24	0.876	0.869	0.861	0.853	0.838	0.830	0.823	0.815	0.808
-25	0.801	0.793	0.786	0.779	0.765	0.758	0.751	0.744	0.737
-26	0.731	0.724	0.717	0.711	0.698	0.691	0.685	0.679	0.672
-27	0.666	0.660	0.654	0.648	0.636	0.630	0.624	0.618	0.613
-28	0.607	0.601	0.596	0.590	0.579	0.574	0.568	0.563	0.558
-29	0.552	0.547	0.542	0.537	0.527	0.522	0.517	0.512	0.507
-30	0.502	0.497	0.493	0.488	0.479	0.474	0.470	0.465	0.461
-31	0.456	0.452	0.447	0.443	0.435	0.430	0.426	0.422	0.418
-32	0.414	0.410	0.406	0.402	0.394	0.390	0.386	0.383	0.379
-33	0.375	0.371	0.368	0.364	0.357	0.353	0.350	0.346	0.343
-34	0.340	0.336	0.333	0.330	0.323	0.320	0.317	0.313	0.310
-35	0.307	0.304	0.301	0.298	0.292	0.289	0.286	0.283	0.280
-36	0.277	0.274	0.272	0.269	0.263	0.261	0.258	0.255	0.253
-37	0.250	0.247	0.245	0.242	0.237	0.235	0.232	0.230	0.228
-38	0.225	0.223	0.221	0.218	0.214	0.211	0.209	0.207	0.205
-39	0.203	0.200	0.198	0.196	0.192	0.190	0.188	0.186	0.184
-40	0.182	0.180	0.178	0.176	0.172	0.170	0.168	0.167	0.165
-41	0.163	0.161	0.159	0.158	0.154	0.152	0.151	0.149	0.147
-42	0.146	0.144	0.142	0.141	0.138	0.136	0.135	0.133	0.132
-43	0.130	0.129	0.127	0.126	0.123	0.121	0.120	0.119	0.117
-44	0.116	0.114	0.113	0.112	0.109	0.108	0.107	0.105	0.104
-45	0.103	0.102	0.100	0.099	0.097	0.096	0.094	0.093	0.092
-46	0.091	0.090	0.089	0.088	0.086	0.084	0.083	0.082	0.081
-47	0.080	0.079	0.078	0.077	0.075	0.074	0.073	0.073	0.072
-48	0.071	0.070	0.069	0.068	0.066	0.065	0.064	0.064	0.063
-49	0.062	0.061	0.060	0.059	0.058	0.057	0.056	0.055	0.055
-50	0.054	0.053	0.052	0.052	0.050	0.050	0.049	0.048	0.047

Fuente Laboratorio de Meteorología UNALM

hpa=mb (aprox)

### 3.2.2.4 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA

[10, Lutz, 1980] Suponiendo que los caudales promedios observados pertenezcan a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención, de la cuenca respectiva, se calcula la precipitación efectiva para el coeficiente de escurrimiento promedio de manera que la relación entre la precipitación efectiva total sea igual al coeficiente de escurrimiento. Para este cálculo se adoptó el método del United States Bureau of Reclamación (USBR) para la determinación de la porción de lluvias que es aprovechado para cultivos. El Bureau of Reclamation llama a esta cantidad la precipitación efectiva de los cultivos que en realidad es la antítesis de la precipitación de escorrentía superficial.

El criterio del método del USBR para el cálculo de la precipitación efectiva para cultivos, es el principio que cuando aumenta la precipitación total mensual se toma un porcentaje disminuyendo del incremento de la lluvia como aumento de la precipitación efectiva de tal forma que a partir de un lineamiento superior, la precipitación efectiva para los cultivos se mantenga constante. **“Para la hidrología se toma como precipitación efectiva esta parte de la precipitación total mensual que sale como el déficit según el método original del USBR”.**

El cálculo de la proporción de lluvia que produce escorrentía, es decir, precipitación efectiva en el sentido hidrológico se resume en el siguiente cuadro,

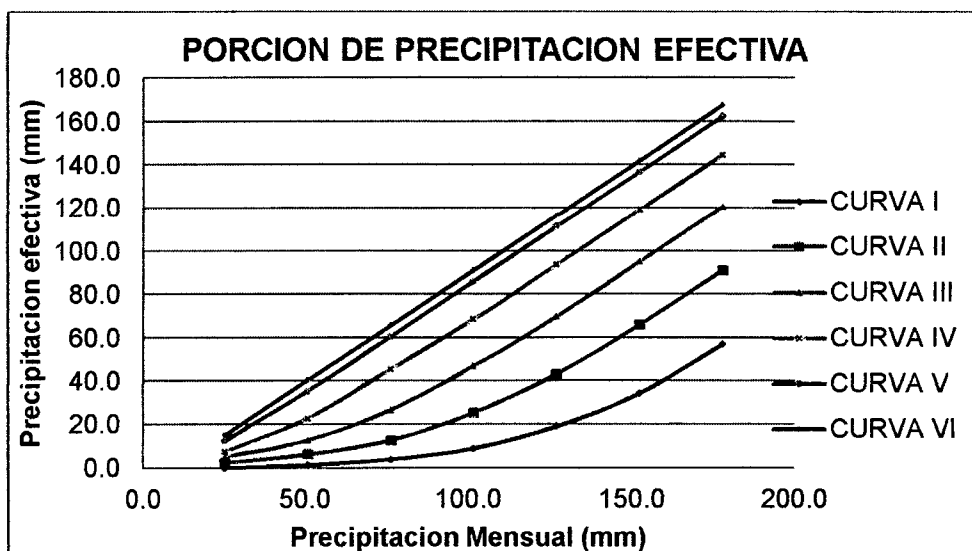
Cuadro N° 3.27

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (Limite superior) mm	PORCION DE PRECIPITACION MM/MES													
	APROVECHABE POR LAS PLANTAS (mm)							Déficit o Escurrimiento (mm)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII
25.4	25.4	22.9	20.4	17.9	15.4	12.9	10.4	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0
50.8	49.5	44.5	38.1	28.0	17.9	15.4	10.4	1.3	6.3	12.7	22.8	32.9	35.4	40.4
76.2	72.4	63.5	49.5	30.5	20.4	15.4	10.4	3.8	12.7	26.7	45.7	55.8	60.8	65.8
101.6	92.7	76.2	54.6	33.0	20.4	15.4	10.4	8.9	25.4	47.0	68.6	81.2	86.2	91.2
127.0	107.9	83.8	57.1	33.0	20.4	15.4	10.4	19.1	43.2	69.9	94.0	106.6	111.6	116.6
152.4	118.1	86.4	57.1	33.0	20.4	15.4	10.4	34.3	66.0	95.3	119.4	132.0	137.0	142.0
177.8	120.6	86.4	57.1	33.0	20.4	15.4	10.4	57.2	91.4	120.7	144.8	157.4	162.4	167.4
"C"								0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.00

Las cifras romanas se refieren a las curvas que cubren un rango para el coeficiente de escorrentía entre 0.15 y 1.00, las curvas I y II pertenecen al método del USBR las curvas III, IV, V, VI y VII han sido desarrollados mediante ampliación simétrica del rango original según el criterio del experto Lutz.

Es necesario aclarar que cada curva está asociada a un coeficiente de escorrentía hipotético planteado por el USBR basado en sus propias investigaciones.

Figura 3.07: Curvas para el calculo de Precipitación efectiva



Fuente: Elaboración propia

Para facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado la siguiente ecuación polinómica para cada curva.

$$PE = a_0 + a_1 * P + a_2 * P^2 + a_3 * P^3 + a_4 * P^4 + a_5 * P^5$$

Dónde:

- $PE$  : Precipitación efectiva (mm/mes)
- $P$  : Precipitación total mensual (mm/mes)
- $a_i$  : Coeficiente del polinomio (mm/mes)

En el siguiente cuadro se presentan los coeficientes " $a_i$ " que permiten la aplicación del polinomio



**Cuadro N° 3.28**

COEFICIENTES DEL POLINOMIO	VALORES PARA EL CALCULO SEGÚN:						
	CURVA I	CURVA II	CURVA III	CURVA IV	CURVA V	CURVA VI	CURVA VII
a0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
a1	4.30E-03	-5.40E-03	1.34E-01	4.18E-01	6.09E-01	6.89E-01	0.7832
a2	-7.00E-05	2.10E-03	3.10E-03	2.30E-03	1.60E-03	1.33E-03	9.00E-04
a3	7.00E-06	5.00E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
a4	2.00E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
"C"	<b>0.15</b>	<b>0.30</b>	<b>0.45</b>	<b>0.60</b>	<b>0.75</b>	<b>0.90</b>	<b>1.00</b>
El rango de aplicación de los coeficientes es para $0 < p < 180$							

De este modo, es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva total, de manera que el volumen anual de la precipitación efectiva sea igual al caudal anual de la cuenca respectiva.

Por ejemplo: si "C" promedio es igual 0.39, para calcular la precipitación efectiva media mensual de la cuenca, correspondiente al coeficiente de escurrimiento promedio, se calcula de tal manera que la relación entre la precipitación efectiva "PE" y precipitación total "P" sea igual al coeficiente de escurrimiento, 0.39. El rango del coeficiente de escurrimiento debe estar entre 0.30 a 0.45.

$$\sum_{12}^1 PE = C * P \quad mm/año$$

Para el ejemplo, las combinaciones pueden ser: I y II ó II y III; la decisión de optar por una de las combinaciones lo dará el cálculo de los coeficientes de ponderación, que debe ser un numero positivo entre cero y uno.

Para el ejemplo, asumiendo que la segunda combinación es la que cumple los requisitos, entonces se calcula la "PE" con los polinomios de las curvas II y III:

Luego los coeficientes de ponderación son:

$$C_{II} = \frac{C * P - PE_{III}}{PE_{II} - PE_{III}} \qquad C_{III} = \frac{C * P - PE_{II}}{PE_{III} - PE_{II}}$$

Condición:  $0 < C_{II}$  y  $C_{III} > 1$  y  $C_{II} + C_{III} = 1$ , si no se cumplen estas dos condiciones, probar con la siguiente combinación, es decir: I y II

Así, la precipitación efectiva "PE" característica mensual para el ejemplo, se calcula de la siguiente manera:

$$PE = C_{II} * PE_{II} + C_{III} * PE_{III}$$

Dónde:

- $C_{II}$  ,  $C_{III}$  : Coeficientes de ponderación de las curvas II y III
- $PE_{II}$  ,  $PE_{III}$  : Precipitación efectiva calculada por la curva II y III
- $PE$  : Precipitación efectiva característica media mensual (mm)
- $C$  : Coeficiente de escurrimiento "C" promedio
- $P$  : Precipitación mensual total (mm)

### 3.2.2.5 FUNDAMENTOS DEL BALANCE HIDROLÓGICO DEL MODELO

[10, Lutz, 1980] La ecuación fundamental del balance hídrico mensual, expresada en mm/mes se puede describir en la forma siguiente, propuesta por Fisher.

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

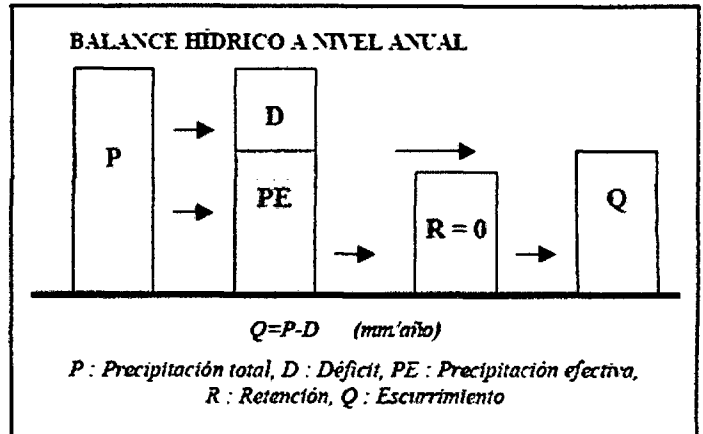
Dónde:

- $CM_i$  : Caudal mensual (mm/mes)
- $P_i$  : Precipitación total mensual (mm/mes)
- $D_i$  : Déficit de escurrimiento (mm/mes)
- $G_i$  : Gasto de la Retención en la cuenca. (mm/mes)
- $A_i$  : Abastecimiento de la Retención (mm/mes)

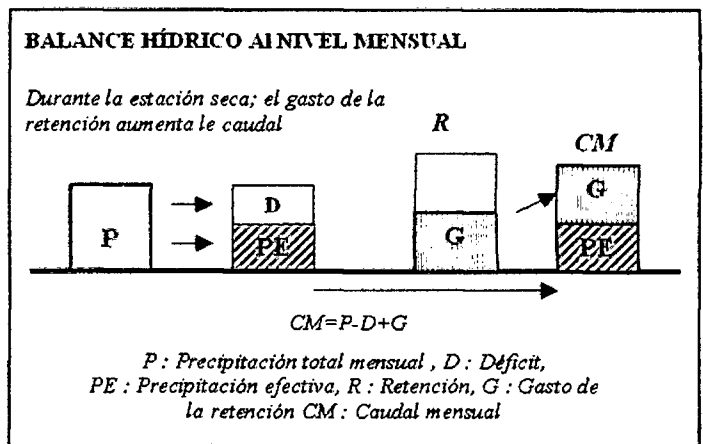
Para la aplicación de la ecuación anterior, se parte de las siguientes consideraciones:

figura 3.07

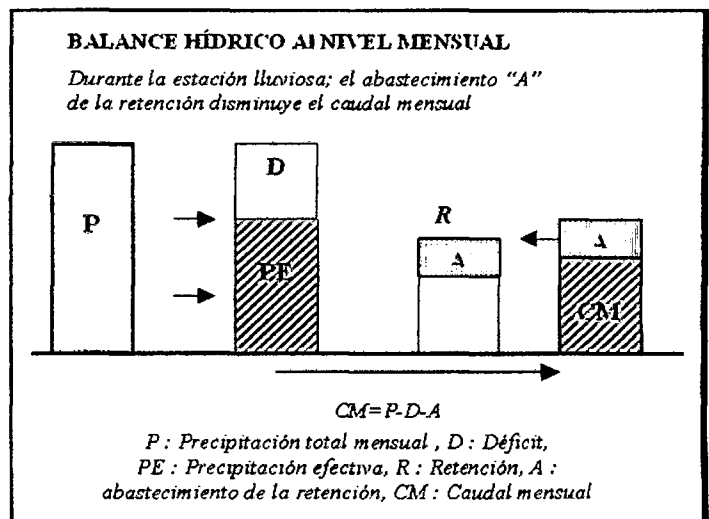
- Durante el año hidrológico la retención se mantiene constante pues el agua almacenada en el periodo húmedo es soltada en el periodo de estiaje, por lo tanto el gasto y el abastecimiento son iguales ( $G_i = A_i$ )



- Una parte de la precipitación se pierde por evaporación por lo que la expresión  $(P_i - D_i)$  puede sustituirse por  $(C * P)$ , donde "C" es el coeficiente de escorrentía que puede ser medido o estimado y "P" precipitación total.



Este método permite combinar los diferentes factores tales como precipitación, evapotranspiración y almacenamiento natural en la cuenca para el cálculo de las descargas en forma de un modelo matemático. El cálculo por modelo tiene la ventaja de poder constatar la influencia de cada componente del balance hídrico y en consecuencia, tener la posibilidad de calibrar el modelo por aforos.



Además, el modelo puede combinar varias influencias determinadas por submodelos determinísticos o estocásticos.

Este modelo básicamente intenta reproducir el comportamiento del agua en las diferentes etapas del ciclo hidrológico y relaciona los volúmenes de escorrentía con los volúmenes de precipitación con el efecto producido por diversos factores climáticos, geológicos y fisiográficos. El proceso está precedido por el principio de continuidad o conservación de la masa y regulado por las leyes específicas de reparto y transferencia entre los términos del balance que se estructura racionalmente conforme a la naturaleza del fenómeno físico y después se perfilan y comprueban empíricamente.

Como fundamento conceptual se considera que, de la precipitación, una parte del agua termina siendo drenada y sale por el río, denominado escorrentía; el resto del agua se almacena momentáneamente en la zona superior de la humedad del suelo, una parte se evapora y la otra permanece en el suelo. Así mismo, el escurrimiento a su vez se descompone en el que discurre por la superficie del terreno y los cursos de agua, es decir viene a ser la escorrentía superficial; la otra parte de la infiltración, sigue infiltrándose en el terreno hasta llegar a la zona de saturación donde se almacena también momentáneamente, pues parte desaguará a los cauces y el resto permanecerá en el embalse subterráneo para salir en fechas posteriores.

### **3.2.2.6 PERIODOS DEL CICLO HIDROLÓGICO**

Del análisis de los registros pluviométricos de la estación piloto para la microcuenca en estudio, se ha podido determinar la duración de los periodos de avenidas y estiaje del ciclo hidrológico, los cuales se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 3.29

Periodo hidrológico	MESES DEL AÑO											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Avenidas	*	*	*							*	*	*
Estiaje				*	*	*	*	*	*			

Fuente: Elaboración propia

Abril, octubre y noviembre corresponden a un periodo de transición que según el tipo de año (húmedo o seco) puede cambiar su ubicación, es decir que pueden pertenecer al periodo de avenidas como al de estiaje. Para la presente Tesis, se ha mantenido la ubicación que se presenta en el cuadro, en todos los análisis.

### 3.2.2.7 CÁLCULO DE LA RETENCIÓN EN LA CUENCA

[10, Lutz, 1980] Suponiendo que en el año promedio existe un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo, además, que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, se puede calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal según las fórmulas.

$$R_i = CM_i - PE_i$$

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Dónde:

- $CM_i$  : Caudal mensual (mm/mes)
- $P_i$  : Precipitación total mensual (mm/mes)
- $D_i$  : Déficit de escurrimiento (mm/mes)
- $G_i$  : Gasto de la Retención en la cuenca. (mm/mes)
- $A_i$  : Abastecimiento de la Retención (mm/mes)
- $R_i = G_i$  : Para valores mayores de cero (mm/mes)
- $R_i = A_i$  : Para valores menores de cero (mm/mes)

Sumando todos los valores  $G$  o  $A$  respectivamente, se halla la retención total  $R$  de la cuenca durante el año promedio en las dimensiones de mm/año. Esta ecuación se realiza básicamente para realizar la calibración de la retención de la cuenca.

El experto Lutz Scholz propone tres fuentes principales para el almacenamiento hídrico de la cuenca: acuíferos (de 200 a 300 mm/año), lagunas-pantanos (500 mm/año) y nevados (500 mm/año); para los cuales propone diferentes aportes específicos en función del área de la cuenca.

Siguiendo el mismo criterio del experto Lutz y Aguirre se calibro la retención de la microcuenca, en función de las ecuaciones de almacenamiento hídrico para acuíferos, retención de lámina y retención total de la microcuenca, cuyo proceso de estimación se presenta en los resultados ver (cuadro N°4.16).

- **Almacenamiento Hídrico**

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados:

- Acuíferos
- Lagunas y pantanos
- Nevados

La determinación de la lámina "L" que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

**Acuíferos:**

$$L_A = 750 (I) + 315 \text{ (microcuenca Pallca)}$$

Siendo:

$L_A$  : Lamina específica del acuífero (mm/año).

$I$  : Pendiente de desagüe:  $I \leq 15 \%$

**Lagunas y Pantanos**

$$L_L = 500 \text{ mm/año}$$

Siendo:

$L_L$  : Lámina específica de lagunas y pantanos

## Nevados

$$L_N = 500 \text{ mm/año}$$

Siendo:

$L_N$  : Lámina específica de nevados

- **Retención de lámina total**

$$RT = L_A * A_{ap}$$

Dónde:

$RT$  : Retención de lámina total (m<sup>3</sup>/año)

$L_A$  : Lámina específica del acuífero (mm/año).

$A_{ap}$  : Área de acuíferos potenciales, "45% del área de la cuenca", (km<sup>2</sup>)

- **Retención total de la cuenca**

$$R = \frac{RT}{AR} * 1000$$

Dónde:

$R$  : Retención de la microcuenca (mm/año)

$RT$  : Retención de lámina total (m<sup>3</sup>/año)

$AR$  : área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Del análisis realizado en la microcuenca, con influencia de acuíferos, se ha podido determinar que la retención llega hasta 52.1 mm /año.

### **3.2.2.8 RELACIÓN ENTRE GASTO DE LA RETENCIÓN "G" Y ABASTECIMIENTO DE LA RETENCIÓN "A"**

[03, Aguirre, 1992]

- **Gasto de la Retención "G"**

El Gasto de la retención "G" es el volumen de agua que entrega la cuenca en los meses secos bajo un determinado régimen de entrega. El abastecimiento de la

retención "A" es el volumen de agua que almacena la cuenca en los meses lluviosos bajo un determinado régimen de almacenamiento.

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$b_0 = e^{-a(t)}$$
$$b_i = \sum_{t=1}^6 b_0^t$$
$$G_i = R \frac{b_0^t}{\sum_{t=1}^6 b_0^t}$$

Dónde:

$G_i$	: Gasto de la retención
$b_i$	: Razón de agotamiento mensual
$b_0$	: Razón de agotamiento inicial
$a$	: Coeficiente de agotamiento
$t$	: Tiempo (días)

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

- **Coeficiente de agotamiento "a"**

Mediante la ecuación anterior se puede calcular el coeficiente de agotamiento "a", en base a datos hidrométricos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente.



Con fines prácticos se puede despreciar la variación del coeficiente " $a$ " durante la estación seca empleando un valor promedio.

El coeficiente de agotamiento de la microcuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la microcuenca.

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

$$a = 3.1249E67 (AR)^{-0.1144} (EP)^{-19.336} (T)^{-3.369} (R)^{-1.429}$$

$$r = 0.86$$

El análisis de las observaciones disponibles muestra, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana:

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

Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año):

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

Dónde:

- $a$  : Coeficiente de agotamiento por día
- $AR$  : área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )
- $EP$  : evapotranspiración potencial anual ( $\text{mm/año}$ )
- $T$  : duración de la temporada seca (días)
- $R$  : retención total de la cuenca ( $\text{mm/año}$ )

Cuencas con agotamiento rápido. Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna):

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

Cuencas con agotamiento mediano. Retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados):

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.026 \text{ (microcuenca Pallica)}$$

Cuencas con agotamiento reducido. Debido a la alta retención (> 100 mm/año) y vegetación mezclada:

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

Dónde:

- $a$  : coeficiente de agotamiento por día
- $AR$  : área de la cuenca (km<sup>2</sup>)
- $EP$  : evapotranspiración potencial anual (mm/año)
- $T$  : duración de la temporada seca (días)
- $R$  : retención total de la cuenca (mm/año)

- **Abastecimiento de la Retención "A"**

**[03, Aguirre, 1992]**

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en el cuadro.

**Cuadro N° 3.30**

<b>COEFICIENTES DE ALMACENAMIENTO DURANE LA EPOCA DE LLUVIA</b>					
<b>VALORES EN PORCENTAJE (%) = ai</b>					
<b>Mes</b>	<b>Cuzco</b>	<b>Huancavelica</b>	<b>Junín</b>	<b>Cajamarca</b>	<b>Palleca</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Ene	0.40	0.3	0.30	0.20	0.50
Feb	0.20	0.2	0.30	0.25	0.15
Mar	0.00	0.05	0.05	0.30	0.10
Abr	0.00	0	0.00	0.00	0.00
May	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Jun	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Jul	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Ago	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Sep	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Oct	0.00	0.1	0.10	0.20	0.00
Nov	0.05	0	0.00	0.05	0.00
Dic	0.35	0.35	0.25	0.00	0.25
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Aguirre N, M. 1992

El cálculo del abastecimiento de la retención se estima mediante la siguiente ecuación

$$A_i = R * a_i$$

Dónde:

$A_i$  : Abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

$a_i$  : coeficiente de abastecimiento (%)

$R$  : retención total de la cuenca (mm/año)

El proceso de estimación de los coeficientes de aporte y retención se presenta en los resultados, ver cuadros (N°4.17 y N° 4.19). Se recuerda nuevamente que estos coeficientes son regionalizados y empíricos y se generaron siguiendo los mismos criterios del experto Lutz.

### 3.2.2.9 CÁLCULO DEL CAUDAL MENSUAL PARA EL AÑO PROMEDIO

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para el año promedio se calcula según la ecuación básica siguiente del balance hídrico a partir de los componentes descritos anteriormente.

$$M_i = PE_i + G_i - A_i$$

Dónde:

- $CM_i$  : Caudal mes i (mm/mes)  
 $PE_i$  : Precipitación Efectiva del mes i (mm/mes)  
 $G_i$  : Gasto de la Retención del mes i (mm/mes)  
 $A_i$  : Abastecimiento en el mes i (mm/mes)

### 3.2.3 GENERACIÓN Y VALIDACIÓN DE CAUDALES MENSUALES PARA PERIODOS EXTENDIDOS

#### 3.2.3.1 GENERACIÓN CON EL MODELO MARCOVIANO DE PRIMER ORDEN

El modelo hidrológico presentado anteriormente (de Lutz Scholz) permite estimar los caudales del año promedio para la microcuenca en estudio a con una precisión satisfactoria.

Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de caudales sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un periodo extendido.

Un método apropiado para la generación de caudales consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden con una variable de impulso, que vendría a ser la precipitación efectiva.

Ecuación general del modelo markoviano

$$Q_t = f(Q_{t-1})$$

La variable de impulso considerada la Precipitación efectiva

$$Q = g(PE_t)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de los valores generados y obtener una aproximación cercana a la realidad, se utiliza, además una variable aleatoria.

$$Z = z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

Finalmente, la ecuación integral para la generación de caudales mensuales combinando los componentes citados, se escribe.

$$Q_t = B_0 + B_1 * Q_{t-1} + B_2 * PE_t + z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

Dónde:

$Q_t$	: Caudal del mes t
$Q_{t-1}$	: Caudal del mes anterior
$PE_t$	: Precipitación efectiva del mes t
$B_i$	: Coeficientes de la regresión lineal múltiple
$S$	: Error estándar de la regresión múltiple
$r$	: Coeficiente de correlación múltiple
$z$	: Número aleatorio normalmente distribuido (0,1) del año t

El valor inicial de  $Q_{t-1}$  puede ser del caudal promedio del mes, o el caudal aforado del mes, o empezar con cero.

La precipitación efectiva de cada mes se calcula según el ítem 3.2.2.4 con las siguientes consideraciones:

- No es necesario identificar las curvas características para cada año puesto que se identificaron al calcular la precipitación efectiva representativa.
- Los coeficientes de ponderación son los mismos.
- Con las ecuaciones de las curvas características multiplicados con su respectivo coeficiente de ponderación, nos dará PE de ese mes.

Los valores de los números aleatorios para caudales con media cero y variancia uno se presenta en el ítem 2.5.2.3.

Los valores de los coeficientes  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $r$  y  $S$  se calculan al desarrollar la regresión múltiple con los datos de caudales mensuales para el año promedio .

Por motivos didácticos se presenta la metodología del análisis de regresión múltiple.

- **Regresión múltiple**

Se calculan los parámetros  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $r$  y  $S$ , sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio, mediante el cálculo de regresión con  $Q_t$  como valor dependiente y  $Q_{t-1}$  y  $PE_t$ , como valores independientes.

Ejemplo: sea " $Q_i$ " los caudales generados por el modelo de Lutz Scholz para el mes  $i$  del año promedio, y " $PE_i$ " la precipitación efectiva calculada para el mes  $i$  del año promedio, entonces las series para la regresión múltiple se elabora como se muestra en el cuadro adjunto.

Mes	Qi	Qi-1	PEi
	Y	X1	X2
Ene	Q1	Q12	PE1
Feb	Q2	Q1	PE2
Mar	Q3	Q2	PE3
Abr	Q4	Q3	PE4
May	Q5	Q4	PE5
Jun	Q6	Q5	PE6
Jul	Q7	Q6	PE7
Ago	Q8	Q7	PE8
Sep	Q9	Q8	PE9
Oct	Q10	Q9	PE10
Nov	Q11	Q10	PE11
Dic	Q12	Q11	PE12

Luego, las ecuaciones para el cálculo de las variables son como sigue:

Ecuación de regresión lineal múltiple para dos variables:

$$Y = B_0X_{0i} + B_1X_{1i} + B_2X_{2i} + E_i$$

Se define:

$$\hat{Y} = Y - \bar{Y}$$

$$\hat{X}_1 = X_1 - \bar{X}_1$$

$$\hat{X}_2 = X_2 - \bar{X}_2$$

Los coeficientes se calculan.

$$B_0 = \bar{Y} - B_1 \bar{X}_1 - B_2 \bar{X}_2$$

$$B_1 = \frac{\sum(\hat{Y}\hat{X}_1) * \sum(\hat{X}_2^2) - \sum(\hat{Y}\hat{X}_2) * \sum(\hat{X}_1\hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - (\sum(\hat{X}_1\hat{X}_2))^2}$$

$$B_2 = \frac{\sum(\hat{Y}\hat{X}_2) * \sum(\hat{X}_1^2) - \sum(\hat{Y}\hat{X}_1) * \sum(\hat{X}_1\hat{X}_2)}{\sum(\hat{X}_1^2) * \sum(\hat{X}_2^2) - (\sum(\hat{X}_1\hat{X}_2))^2}$$

Se define.

$$SPX_1Y = \sum(X_1 - \bar{X}_1)(Y - \bar{Y})$$

$$SPX_2Y = \sum(X_2 - \bar{X}_2)(Y - \bar{Y})$$

$$SCY = \sum(Y - \bar{Y})^2$$

Luego, el coeficiente de correlación múltiple "r" se calcula:

$$r = \frac{B_1(SPX_1Y) + B_2(SPX_2Y)}{SCY}$$

Definimos:

$Y$  : Valores muestrales ( $Q_i'$ ), de la variable dependiente.

$Y'$  : Valores estimados de la variable dependiente con la ecuación de regresión múltiple

$e = Y - Y'$  : Error entre los valores observados y estimados de la variable dependiente.

$n$  : Número de grupos de la muestra (para nuestro caso 12)

$p$  : Número de parámetros a estimar (para nuestro caso 3)

Luego el error estándar de la regresión múltiple "S" se calculan:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y')^2}{n-p}} = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n-p}}$$

### 3.2.3.2 TESTS ESTADÍSTICOS

La bondad del ajuste de los caudales generados con los observados, se lleva a cabo mediante comparación de los promedios y desviaciones tipo de ambos valores siempre y cuando exista dicha información. Se prueba si los promedios salen de la misma población, es decir, son iguales mediante el test de Student.

Se calcula el valor de la prueba "t" para cada mes de la siguiente manera:

$$\hat{t} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\left(\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}\right)^{0.5}}$$

Dónde:

$\hat{t}$	: Valor del estadístico t
$\bar{X}_1$	: Promedio del grupo 1, caudales registrados
$\bar{X}_2$	: Promedio del grupo 2, caudales generados
$S_1$	: Desviación estándar del grupo 1, caudales registrados
$S_2$	: Desviación estándar del grupo 2, caudales registrados
$n$	: Grados de libertad (número de valores disminuido en uno)

Se compara el valor de  $\hat{t}$  con el valor de  $t_{p,n}$ , que indica el límite superior que, con una probabilidad de error de P%, permite decidir que ambos promedios pertenecen a la misma población. Dependiendo de la utilización de los resultados el valor de "p" puede variar de 0.025 a 0.1; Lutz recomienda el valor de 0.1, para los análisis del presente trabajo se empleará el valor de 0.05.

Si  $\hat{t}$  calculado es menor  $t_{p,n}$  tabulado entonces se acepta que la muestra pertenece a la misma población en caso contrario se rechaza.

Para comparar las desviaciones estándar se calcula el valor de  $\hat{F}$  del test de Fisher

$$\hat{F} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{si } S_1^2 > S_2^2 \quad ; \quad \hat{F} = \frac{S_2^2}{S_1^2} \quad \text{si } S_2^2 > S_1^2$$

se compara con el valor límite  $F_{P/2(\%),(n_1, n_2)}$  tabulado entonces se acepta que la muestra pertenece a la misma población en caso contrario se rechaza.



## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1 DE LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS DETERMINÍSTICOS**

#### **4.1.1 DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA MICROCUENCA PALLCCA**

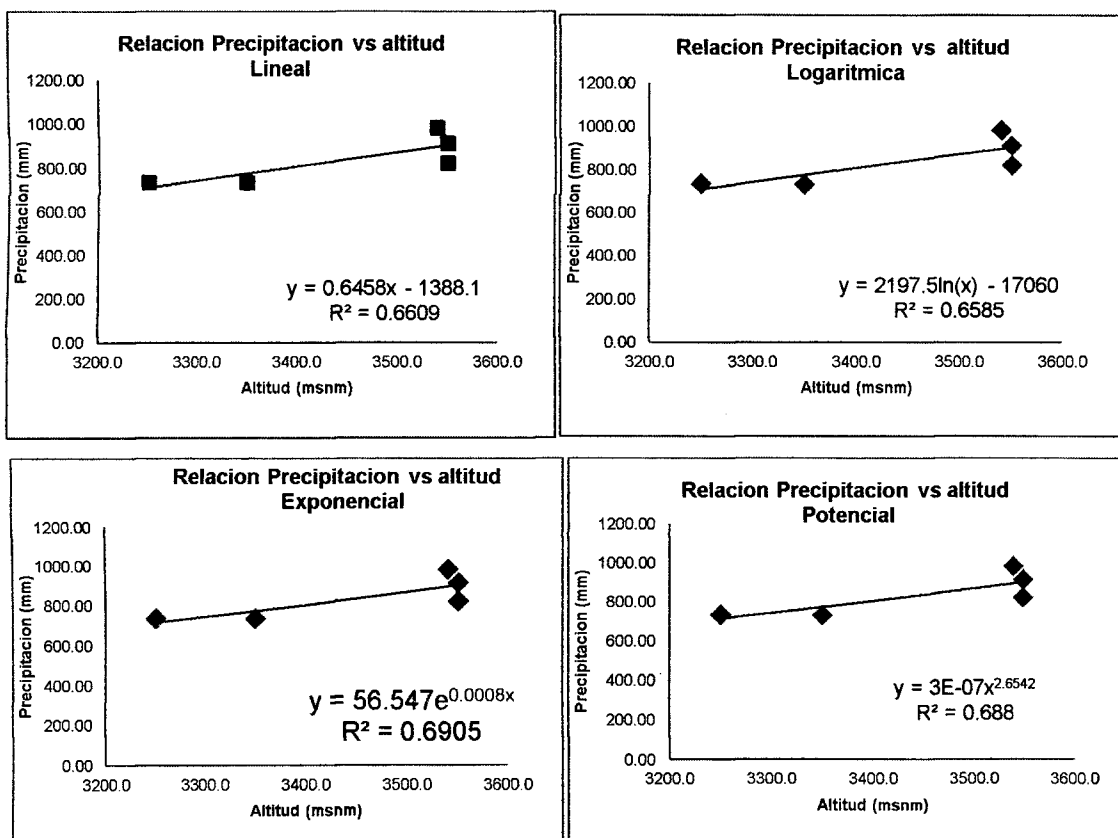
##### **RESULTADOS**

- Los pares de correlaciones ( la precipitación media anual versus la altura de las estaciones pilotos) se presentan el cuadro N° 4.01.
- La función exponencial es la que mejor explica la relación altura – precipitación en la zona de estudio y se visualiza en el grafico 4.01.
- La precipitación total anual de la zona de estudio para alturas mayores a 3000 m.s.n.m se presenta en el cuadro N° 4.02.
- En el mapa N° 4.01 se visualiza a las estaciones pilotos (Putacca, Sachabamba, Pampa Cangallo ), que a partir de los pares de correlaciones se generarán las precipitaciones.
- Con los mapas N°4.02 y N°4.03, se visualiza como se generó la precipitación media de la microcuenca Pallca por el método de las isoyetas.

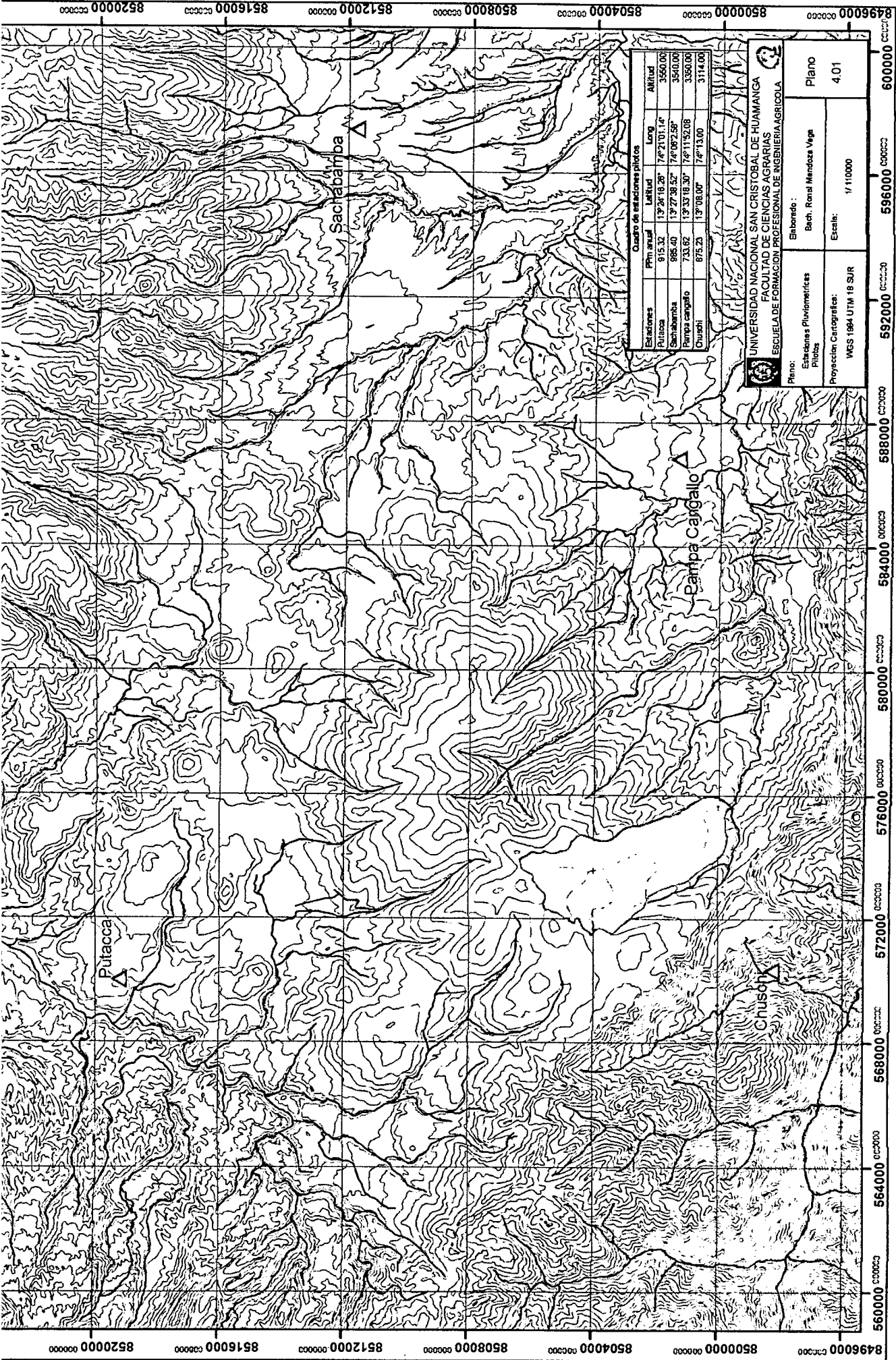
- La precipitación media de la microcuenca Pallcca es de 863.95 mm/ año y el coeficiente de regionalización de 1.18, estimado por el método de las isoyetas y se presenta el cuadro N° 4.03. El registro pluviométrico generado para la microcuenca Pallcca se presenta en el cuadro N° 4.04 y su histograma se visualiza en el grafico N° 4.02.

Cuadro N° 4.01 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LAS ESTACIONES SELECCIONADAS																
Estación Pluviométrica				Precipitaciones medias anuales												
Código	Nombre	Grupo	Altitud msnm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PP anual
C001	PUTACCA	Grupo 02	3550.0	177.55	166.77	145.80	47.01	21.92	10.82	18.20	19.26	30.15	64.85	76.04	136.95	915.32
C002	TAMBILLO	Grupo 02	3250.0	131.74	140.69	121.79	44.99	12.27	6.22	14.11	13.39	25.21	48.04	67.59	109.66	735.71
C003	SACHABAMBA	Grupo 02	3540.0	216.02	167.54	168.49	66.93	12.90	7.02	11.68	14.79	34.28	56.28	78.91	150.56	985.40
C004	PAMPA CANGALLO	Grupo 02	3350.0	150.67	138.97	136.22	42.91	8.00	3.45	7.30	12.06	29.40	38.02	62.07	104.54	733.62
C008	ALPACHACA	Grupo 01	3550.0	151.06	145.82	154.65	48.33	19.22	5.85	12.05	16.11	29.53	54.72	62.16	123.77	823.26

Grafico N° 4.01



<b>Cuadro N° 4.02</b>					
<b>PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL</b>					
<b>Altitud</b>	<b>TIPO DE CORRELACION</b>				
<b>m.s.n.m</b>	<b>Lineal</b>	<b>Logarítmica</b>	<b>Exponencial</b>	<b>Potencial</b>	<b>Promedio</b>
3000.00	549.30	529.99	623.33	508.27	552.72
3100.00	613.88	602.03	675.24	554.49	611.41
3200.00	678.46	671.78	731.48	603.24	671.24
3550.00	904.49	899.82	967.85	794.58	891.68
3600.00	936.78	930.55	1007.34	824.63	924.83
3650.00	969.07	960.85	1048.45	855.38	958.44
3700.00	1001.36	990.75	1091.24	886.83	992.55
3750.00	1033.65	1020.24	1135.78	919.00	1027.17
3800.00	1065.94	1049.34	1182.13	951.88	1062.32
3850.00	1098.23	1078.06	1230.37	985.49	1098.04
3900.00	1130.52	1106.40	1280.58	1019.82	1134.33
3950.00	1162.81	1134.39	1332.85	1054.90	1171.24
4000.00	1195.10	1162.03	1387.24	1090.71	1208.77
4050.00	1227.39	1189.32	1443.86	1127.27	1246.96
4100.00	1259.68	1216.28	1502.78	1164.59	1285.83
4150.00	1291.97	1242.91	1564.11	1202.66	1325.41
4200.00	1324.26	1269.22	1627.94	1241.51	1365.73
4250.00	1356.55	1295.22	1694.38	1281.12	1406.82
4300.00	1388.84	1320.92	1763.53	1321.52	1448.70



Cuadro de estaciones físicas

Estaciones	Ptm avial	Latitud	Long	Altitud
Putacca	915.32	13° 24' 18.28"	74° 21' 01.14"	3500.00
Sacabamba	986.40	13° 27' 38.52"	74° 08' 22.58"	3540.00
Rampa Cargallo	733.62	13° 33' 18.30"	74° 11' 52.08"	3350.00
Chuschi	675.23	13° 08' 00"	74° 13.00"	3114.00

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA

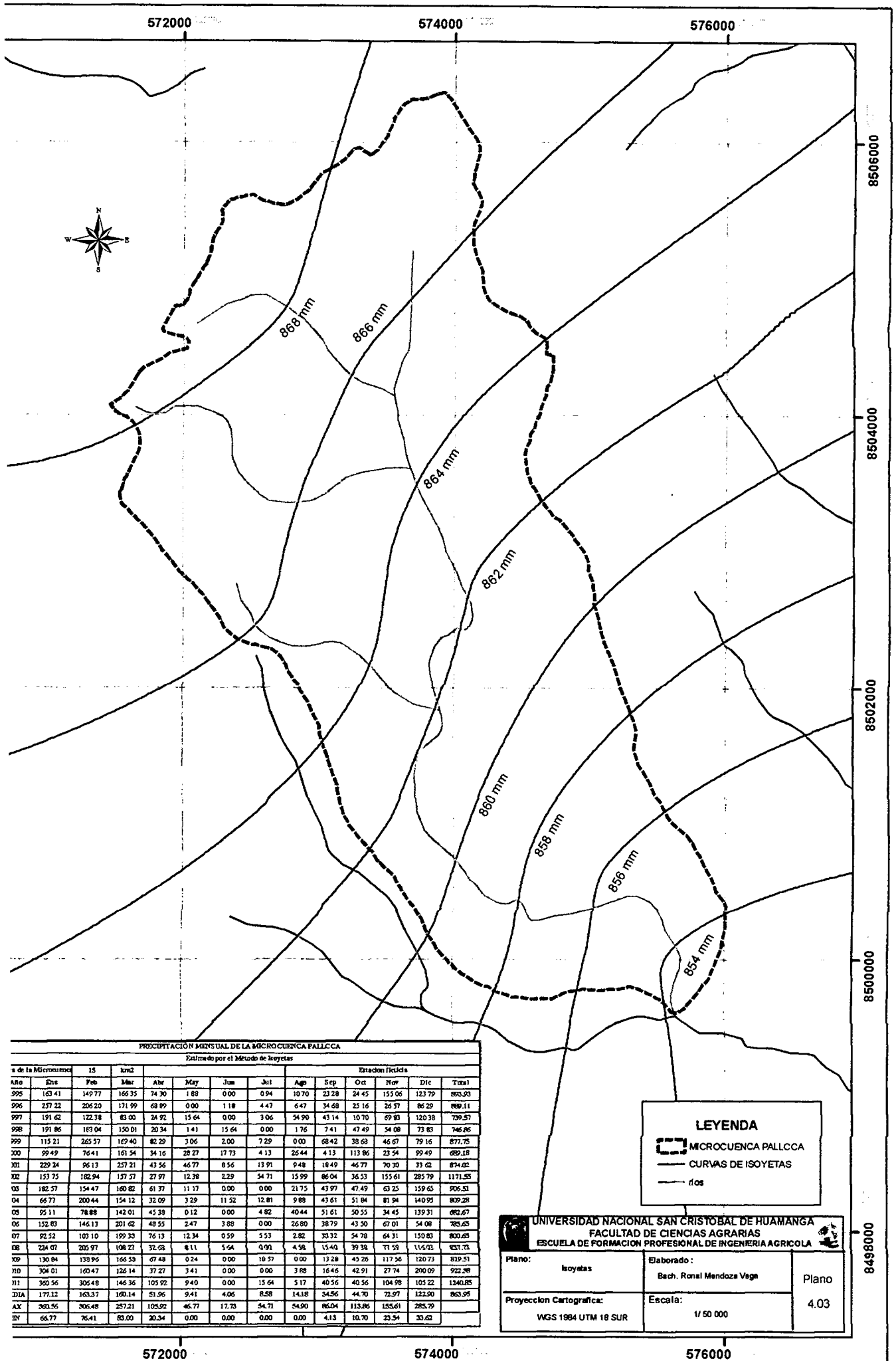
Plano: Estaciones Pluviométricas Pilobos  
 Proyección Cartográfica: WGS 1984 UTM 18 SUR

Elaborado: Bach. Romel Mendoza Vega  
 Escala: 1/110000

Plano: 4.01

8496000 8520000 8516000 8512000 8508000 8504000 8500000 560000 564000 568000 572000 576000 580000 584000 588000 592000 596000 600000





572000

574000

576000

8506000

8504000

8502000

8500000

8498000

572000

574000

576000



868 mm

866 mm

864 mm

862 mm

860 mm

858 mm

856 mm

854 mm

PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA MICROCUENCA PALLASCA

Estimado por el Método de Isoyetas

Año	Estación (lítica)												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agg	Sep	Oct	Nov	Dic	
995	163.41	149.77	166.35	74.30	1.69	0.00	0.94	10.70	23.28	24.45	155.06	123.79	880.00
996	237.22	206.20	171.99	68.89	0.00	1.18	4.47	6.47	34.68	23.16	26.57	86.29	889.11
997	191.62	122.38	83.00	24.92	15.64	0.00	3.06	54.90	43.14	10.70	69.80	120.38	739.57
998	191.86	163.04	150.01	20.34	1.41	15.64	0.00	1.76	7.41	47.49	54.08	73.83	746.86
999	115.21	265.57	169.40	82.29	3.06	2.00	7.29	0.00	68.42	38.63	46.67	79.16	877.75
000	99.49	76.41	161.34	34.16	28.27	17.73	4.13	26.44	4.13	113.86	23.54	99.49	699.18
001	229.24	96.13	237.21	43.56	46.77	8.56	13.91	9.48	18.49	46.77	70.30	33.62	874.02
002	153.75	182.94	137.37	27.97	12.38	2.29	54.71	15.99	86.04	36.53	153.61	285.79	1171.55
003	182.37	154.47	180.82	61.37	11.17	0.00	0.00	21.75	43.97	47.49	63.25	159.65	906.51
004	66.77	200.44	154.12	32.09	3.29	11.52	12.81	9.88	43.61	51.84	81.94	140.95	809.28
005	95.11	78.88	142.01	43.39	0.12	0.00	4.82	40.44	51.61	50.55	34.45	139.31	682.67
006	152.83	146.13	201.62	48.55	2.47	3.88	0.00	26.80	38.79	43.50	67.01	54.08	785.65
007	92.52	103.10	199.33	76.13	12.34	0.59	5.53	2.82	33.32	54.78	64.31	150.83	800.65
008	124.07	205.97	108.27	32.63	8.11	5.64	0.91	4.58	15.40	39.38	71.59	116.03	831.73
009	130.84	139.96	166.59	67.48	0.24	0.00	18.37	0.00	13.28	43.26	117.56	120.73	819.51
010	304.01	160.47	126.14	37.27	3.41	0.00	0.00	3.88	16.46	42.91	27.74	290.09	922.28
011	360.56	305.48	146.36	105.92	9.40	0.00	15.64	5.17	40.56	40.56	104.98	105.22	1340.85
012	177.12	165.37	180.14	51.96	9.41	4.06	8.58	14.18	34.56	44.70	72.97	122.50	863.95
013	380.56	306.48	237.21	105.92	46.77	17.73	54.71	54.90	86.04	113.86	155.61	285.79	
014	66.77	76.41	83.00	20.34	0.00	0.00	0.00	0.00	4.13	10.70	23.54	33.62	

LEYENDA

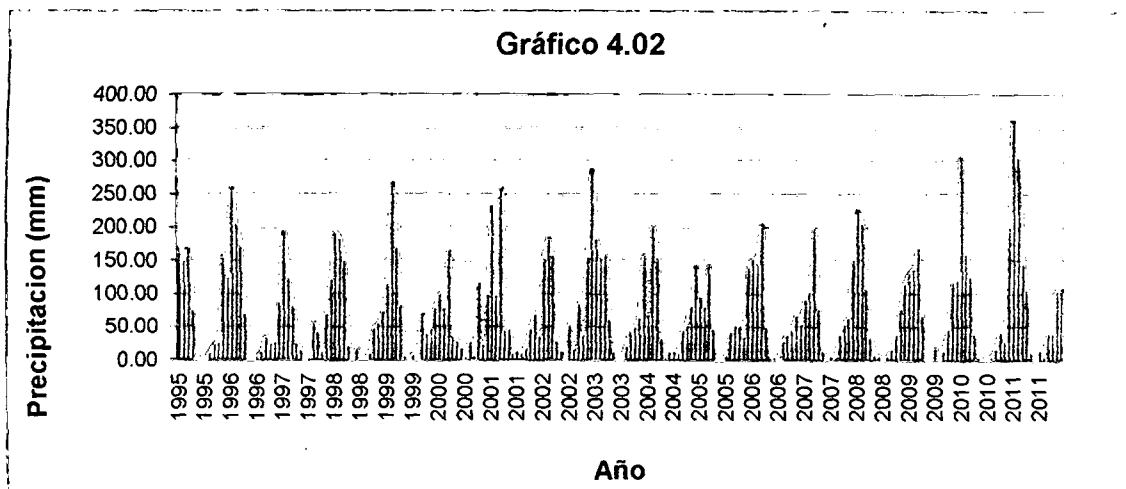
- MICROCUENCA PALLASCA
- CURVAS DE ISOYETAS
- ríos

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Plano: Isoyetas	Elaborado: Bch. Ronal Mendoza Vega	Plano 4.03
Proyección Cartográfica: WGS 1984 UTM 18 SUR	Escala: 1/50 000	

Cuadro N° 4.03													
CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA MICROCUENCA PALLCCA													
Cálculo de los Coeficientes Pluviométricos de Isoyetas													
Área de la Microcuenca:		15.26		Km2			Area en km2, PP en mmm						
Estación	Isoyeta		PP Entre Isoyetas	Area Entre Isoyetas		PP Media Areal de la Est. i	PP Media de la Est. I (pampa Cangallo)	Pai / Pi					
	Inf.	Sup.	Pi	Ai	Pi * Ai	$\Sigma (Pi * Ai) / \Sigma Ai$			Pai	Pi	Ki		
Estacion ficticia	866	868	867	1.080	936.36								
	864	866	865	2.700	2335.50								
	862	864	863	2.730	2355.99								
	860	862	861	2.540	2186.94								
	858	860	859	2.380	2044.42								
	856	858	857	1.820	1559.74								
	854	856	855	1.260	1077.30								
	852	854	853	0.540	460.62								
	848	852	850	0.240	204.00								
				$\Sigma$	15.26	13160.87			863.95		733.62		1.18

Cuadro N° 4.04														
PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LA MICROCUENCA PALLCCA														
Estimado por el Método de Isoyetas														
Área de la Microcuenca		15	km2								Estacion ficticia			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
1995	163.41	149.77	166.35	74.30	1.88	0.00	0.94	10.70	23.28	24.45	155.06	123.79	893.93	
1996	257.22	206.20	171.99	68.89	0.00	1.18	4.47	6.47	34.68	25.16	26.57	86.29	889.11	
1997	191.62	122.38	83.00	24.92	15.64	0.00	3.06	54.90	43.14	10.70	69.83	120.38	739.57	
1998	191.86	183.04	150.01	20.34	1.41	15.64	0.00	1.76	7.41	47.49	54.08	73.83	746.86	
1999	115.21	265.57	169.40	82.29	3.06	2.00	7.29	0.00	68.42	38.68	46.67	79.16	877.75	
2000	99.49	76.41	161.54	34.16	28.27	17.73	4.13	26.44	4.13	113.86	23.54	99.49	689.18	
2001	229.24	96.13	257.21	43.56	46.77	8.56	13.91	9.48	18.49	46.77	70.30	33.62	874.02	
2002	153.75	182.94	157.57	27.97	12.38	2.29	54.71	15.99	86.04	36.53	155.61	285.79	1171.55	
2003	182.57	154.47	160.82	61.37	11.17	0.00	0.00	21.75	43.97	47.49	63.25	159.65	906.51	
2004	66.77	200.44	154.12	32.09	3.29	11.52	12.81	9.88	43.61	51.84	81.94	140.95	809.28	
2005	95.11	78.88	142.01	45.38	0.12	0.00	4.82	40.44	51.61	50.55	34.45	139.31	682.67	
2006	152.83	146.13	201.62	48.55	2.47	3.88	0.00	26.80	38.79	43.50	67.01	54.08	785.65	
2007	92.52	103.10	199.38	76.13	12.34	0.59	5.53	2.82	38.32	54.78	64.31	150.83	800.65	
2008	224.07	205.97	108.27	32.68	8.11	5.64	0.00	4.58	15.40	39.38	77.59	116.03	837.73	
2009	130.84	138.96	166.58	67.48	0.24	0.00	18.57	0.00	13.28	45.26	117.56	120.73	819.51	
2010	304.01	160.47	126.14	37.27	3.41	0.00	0.00	3.88	16.46	42.91	27.74	200.09	922.38	
2011	360.56	306.48	146.36	105.92	9.40	0.00	15.64	5.17	40.56	40.56	104.98	105.22	1240.85	
<b>MEDIA</b>	<b>177.12</b>	<b>163.37</b>	<b>160.14</b>	<b>51.96</b>	<b>9.41</b>	<b>4.06</b>	<b>8.58</b>	<b>14.18</b>	<b>34.56</b>	<b>44.70</b>	<b>72.97</b>	<b>122.90</b>	<b>863.95</b>	
<b>MAX</b>	<b>360.56</b>	<b>306.48</b>	<b>257.21</b>	<b>105.92</b>	<b>46.77</b>	<b>17.73</b>	<b>54.71</b>	<b>54.90</b>	<b>86.04</b>	<b>113.86</b>	<b>155.61</b>	<b>285.79</b>		
<b>MIN</b>	<b>66.77</b>	<b>76.41</b>	<b>83.00</b>	<b>20.34</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>4.13</b>	<b>10.70</b>	<b>23.54</b>	<b>33.62</b>		



## DISCUSIONES

El cálculo de la precipitación media mensual para la estación ficticia sobre el área de influencia de la microcuenca palcca, se realizó por el método de las Isoyetas (Interpolación de Kriging), este método es más acertado debido a que genera precipitación espacial para la zona en estudio, a partir de un conjunto de líneas distribuidas a lo largo de la microcuenca tomando como base las precipitaciones medias anuales de las estaciones (putacca, Sachabamba y Pampa cangallo). El par de correlaciones puede ser utilizado para cuencas que no disponen con una estación pluviométrica dentro de la zona a estudiar.

De los cuadros y gráficos presentados se puede notar las siguientes tendencias:

- En el histograma puede observarse que los datos de precipitación presentan una buena distribución, manteniendo su carácter aleatorio.
- La distribución temporal promedio de la precipitación en la microcuenca Palcca es como sigue: abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre serán considerados como meses secos, en este periodo la precipitación disminuye paulatinamente a partir de abril (51.96 mm) alcanzando el punto más bajo en el mes de junio (4.06 mm) y, en los meses de agosto y septiembre hay un ligero aumento sin mayor efecto (14.18 mm).



- Los meses de abril y mayo no necesariamente son meses secos, en la realidad son meses de transición por lo que el escurrimiento de la precipitación se confunde con el escurrimiento de los acuíferos, esta particularidad se ha podido verificar al realizar los balances hídricos.
- Los meses lluviosos son: octubre, noviembre, diciembre enero, febrero y marzo serán consideradas como meses húmedos con las siguientes particularidades: en los meses octubre noviembre y diciembre la precipitación no es permanente (de 44.70 a 122.90 mm), pudiéndose producirse esporádicamente una lámina ligeramente alta; en los meses de enero, febrero y marzo se obtuvo la mayor precipitación (de 177.12 a 160.14 mm) y la mayor recarga de la microcuenca.

#### **4.1.2 DE LAS VARIABLES METEOROLOGICAS COMPLEMENTARIAS A LA MICROCUENCA PALLCCA**

##### **RESULTADOS**

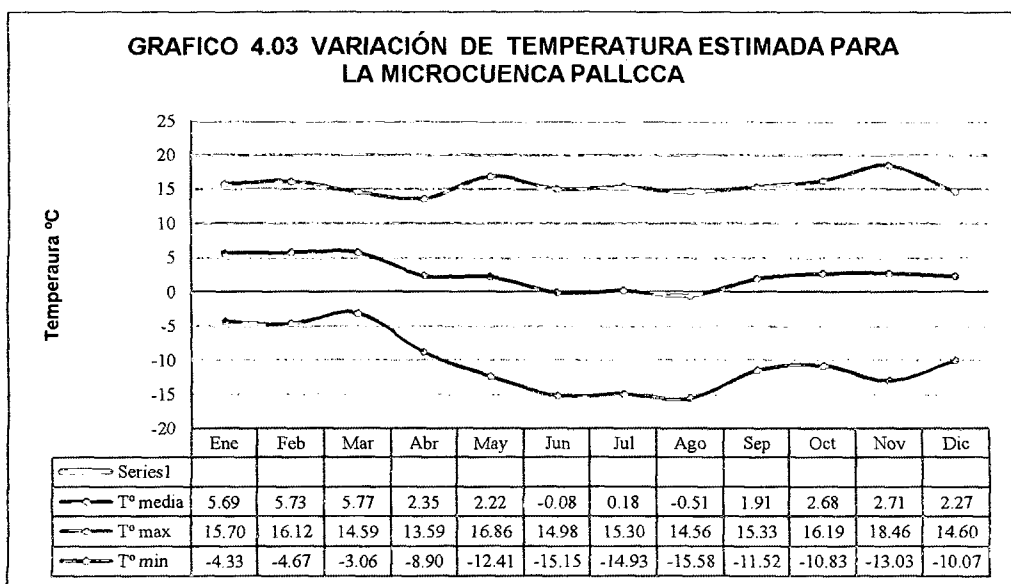
- La gradiente térmica de las temperaturas mínima, máxima y media mensual de la zona en estudio se presenta en los cuadros N° 4.05, N° 4.06, N° 4.07.
- La temperatura media a la altitud media de la microcuenca se presenta en el cuadro N° 4.08
- La variación mensual promedio de la estimada y comparada con las estaciones pilotos se visualiza el grafico 4.03

Cuadro N° 4.05 GRADIENTE TÉRMICA DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA ZONA EN ESTUDIO.															
Estación meteorológica		Registro de Temperaturas Promedios Mensuales °C													
Código	Nombre	Grupo	Altura msnm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
C001	PUTACCA	Grupo 02	3550.0	10.83	11.03	10.88	9.08	8.29	6.80	6.92	7.72	9.04	10.27	10.33	10.94
C003	SACHABAMBA	Grupo 02	3540.0	11.16	10.94	10.99	9.75	8.96	8.32	8.18	8.75	10.36	10.92	10.95	10.05
C004	PAMPA CANGALLO	Grupo 02	3350.0	13.16	13.15	13.06	12.29	11.23	10.63	10.52	11.79	12.85	13.82	13.87	13.91
Promedio			3480.00	11.71	11.71	11.64	10.37	9.49	8.58	8.54	9.42	10.75	11.67	11.71	11.63
Desv. Estand.			112.69	1.26	1.25	1.23	1.69	1.54	1.93	1.83	2.11	1.93	1.89	1.89	2.02
Parámetros de la ecuación lineal de la temperatura media mensual (gradiente térmica mensual de la temperatura media)			<b>r =</b>	-0.996	-0.997	-1.000	-0.988	-0.985	-0.936	-0.953	-0.980	-0.954	-0.992	-0.993	-0.965
			<b>m =</b>	-0.011	-0.011	-0.011	-0.015	-0.013	-0.016	-0.015	-0.018	-0.016	-0.017	-0.017	-0.017
			<b>b =</b>	50.51	50.21	49.49	62.06	56.28	64.41	62.35	73.37	67.74	69.53	69.68	71.90
			<b>R2 =</b>	0.998	0.998	1.000	0.994	0.992	0.967	0.976	0.990	0.977	0.996	0.996	0.982
Y = mx + b	Y = Temperatura °C, X = Altura de la estación en m.s.n.m														

Cuadro N° 4.06 GRADIENTE TÉRMICA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL DE LA ZONA EN ESTUDIO															
Estación meteorológica		Registro de Temperaturas Mínimas Mensuales °C													
Código	Nombre	Grupo	Altura msnm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
C001	PUTACCA	Grupo 02	3550.0	0.86	1.45	2.01	-0.63	-3.70	-5.89	-5.89	-5.18	-3.54	-1.96	-2.18	-0.48
C003	SACHABAMBA	Grupo 02	3540.0	1.76	1.94	2.38	-0.16	-2.26	-2.90	-3.27	-3.28	-0.83	-0.66	-0.95	0.08
C004	PAMPA CANGALLO	Grupo 02	3350.0	3.59	4.29	4.33	3.08	0.83	-0.11	-0.44	0.36	1.53	2.54	3.09	3.83
Promedio			3480.00	2.07	2.56	2.90	0.76	-1.71	-2.97	-3.20	-2.70	-0.95	-0.03	-0.01	1.14
Desv. Estand.			112.69	1.39	1.52	1.25	2.02	2.32	2.89	2.73	2.81	2.54	2.32	2.76	2.34
Parámetros de la ecuación lineal de la temperatura media mensual (gradiente térmica mensual de la temperatura media)			<b>r =</b>	-0.959	-0.993	-0.995	-0.997	-0.963	-0.878	-0.897	-0.955	-0.868	-0.971	-0.984	-0.997
			<b>m =</b>	-0.012	-0.013	-0.011	-0.018	-0.020	-0.023	-0.022	-0.024	-0.020	-0.020	-0.024	-0.021
			<b>b =</b>	43.257	49.129	41.293	63.003	67.179	75.514	72.358	80.275	67.151	69.534	83.838	73.335
			<b>R2 =</b>	0.979	0.997	0.997	0.999	0.982	0.937	0.947	0.977	0.932	0.986	0.992	0.999
Y = mx + b	Y = Temperatura °C, X = Altura de la estación en m.s.n.m														

Cuadro N° 4.07 GRADIENTE TÉRMICA DE LA TEMPERATURA MAXIMA MENSUAL DE LA ZONA EN ESTUDIO															
Estación meteorológica			Registro de Temperaturas Mínimas Mensuales °C												
Código	Nombre	Grupo	Altura msnm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
C001	PUTACCA	Grupo 02	3550.0	20.79	20.61	19.76	18.79	20.28	19.49	19.73	20.62	21.63	22.49	22.83	22.35
C003	SACHABAMBA	Grupo 02	3540.0	20.55	19.93	19.61	19.66	20.18	19.54	19.63	20.79	21.56	22.49	22.84	20.03
C004	PAMPA CANGALLO	Grupo 02	3350.0	22.73	22.01	21.78	21.50	21.62	21.38	21.48	23.22	24.17	25.09	24.64	23.99
Promedio			3480.00	21.36	20.85	20.38	19.98	20.69	20.13	20.28	21.54	22.45	23.36	23.44	22.12
Desv. Estand.			112.69	1.19	1.06	1.22	1.39	0.80	1.07	1.04	1.46	1.49	1.50	1.04	1.99
Parámetros de la ecuación lineal de la temperatura media mensual (gradiente térmica mensual de la temperatura media)			r =	-0.989	-0.932	-0.994	-0.962	-0.994	-1.000	-0.996	-1.000	-0.998	-0.999	-0.999	-0.785
			m =	-0.010	-0.009	-0.011	-0.012	-0.007	-0.010	-0.009	-0.013	-0.013	-0.013	-0.009	-0.014
			b =	57.77	51.29	57.69	61.12	45.39	53.31	52.34	66.48	68.32	69.53	55.53	70.47
			R2 =	0.995	0.965	0.997	0.981	0.997	1.000	0.998	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000
Y = mx + b	Y = Temperatura °C, X = Altura de la estación en m.s.n.m														

Cuadro N° 4.08 TEMPERATURAS MENSUALES ESTIMADAS DE LA MICROCUENCA PALLCCA														
Estación meteorológica			Registro de Temperaturas Mínimas Mensuales °C											
Nombre	Temperatura	Altitud media msnm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Estación Ficticia	Temperatura Media	4020.3	5.69	5.73	5.77	2.35	2.22	-0.08	0.18	-0.51	1.91	2.68	2.71	2.27
	Temperatura Maxima	4020.3	15.70	16.12	14.59	13.59	16.86	14.98	15.30	14.56	15.33	16.19	18.46	14.60
	Temperatura Minima	4020.3	-4.33	-4.67	-3.06	-8.90	-12.41	-15.15	-14.93	-15.58	-11.52	-10.83	-13.03	-10.07



## DISCUSIONES

En el ítem 3.1.2.3 se menciona la ubicación y las principales características de las estaciones meteorológicas complementarias de las zona en es estudio, como son: la Temperatura, Humedad Relativa, Velocidad del viento, Horas de Sol y Evaporación.

La información disponible para el análisis son los promedios mensuales totales, es decir registros cortos, es por este motivo que los resultados de este análisis se utilizaron básicamente para la calibración de las variables estimadas como: Evapotranspiración Potencial, Temperatura media anual, entre otros.

El análisis de estas variables consiste en determinar las respectivas gradientes de cada variable meteorológica, de esta manera poder caracterizar el comportamiento estacional de los mismos.

De los cuadros y gráficos presentados se puede notar las siguientes tendencias:

- En los cuadros se puede verificar que la variable de temperatura máxima, mínima y promedio mensual guarda una relación inversa con la altura

(mayor altura menor temperatura); tienen una correlación alta ( $r^2 > 0.9$ ) y, el comportamiento estacional de la temperatura media mensual es directamente proporcional con la precipitación, es decir en los meses que llueve la temperatura no desciende mucho y en los meses secos hay un descenso significativo.

- El comportamiento mensual de la temperatura máxima y mínima, es como sigue: en los meses secos se registra los valores extremos, es decir altas temperaturas en el día y bajas en las noches; en los meses húmedos hay una ligera variación en ambos registros, es decir, los valores de la temperatura alta descienden o se mantienen y los valores de la temperatura baja aumentan.

#### **4.1.3 DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DE LA MICROCUENCA**

##### **RESULTADOS**

- La Evapotranspiración Potencial calculado por los métodos de Thornthwaite, Hargreaves, Penman Garcia para las condiciones del Peru.se presentan en los cuadros N° 4.09, N° 4.10, N° 4.11.
- La Variación de la evaporación mensual de la zona de estudio en el cuadro N° 4.12.
- La comparación gráfica de las curvas de evapotranspiración calculadas versus la Evaporación de la zona en estudio se visualiza en el gráfico N° 4.04.

**Cuadro N° 4.09 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL**  
**identificación del método para la Microcuenca Palcca**

	Altura Media	4020.33	m. s. n. m			Presión Atmosférica						634	hPa
Penman-Garcia	Altura Media	13,3°	Latitud Sur			Constante						8E+06	°K2
Variables	mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
T med	°C	5.91	5.95	5.99	2.65	2.50	0.24	0.50	-0.14	2.24	3.02	3.05	2.63
T max	°C	15.92	16.30	14.81	13.83	17.00	15.18	15.49	14.83	15.60	16.46	18.64	14.88
T min	°C	-4.09	-4.40	-2.83	-8.54	-12.00	-14.69	-14.49	-15.10	-11.12	-10.42	-12.54	-9.64
Qs (mm/dia)	13,3° Lat Sur	16.38	15.62	14.87	13.51	12.04	11.17	11.27	12.71	14.20	15.24	15.68	15.85
fp (hr/dia)	13,3° Lat Sur	12.66	12.42	12.09	11.73	11.43	11.28	11.34	11.59	11.93	12.28	12.58	12.72
Albedo		0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215	0.215
Rnoc	mm/dia	10.083	9.831	8.858	9.033	9.279	8.809	8.885	9.894	10.262	10.884	11.944	10.651
Rnol	mm/dia	3.663	3.793	3.218	4.108	5.355	5.518	5.537	5.528	4.927	4.956	5.766	4.513
Rn	mm/dia	6.419	6.037	5.639	4.924	3.924	3.291	3.345	4.365	5.334	5.928	6.178	6.138
Ea	mm/dia	2.644	2.741	2.315	2.974	3.897	4.017	4.032	4.025	3.580	3.601	4.209	3.273
es	hpa	9.286	9.351	9.351	7.367	7.314	6.200	6.336	6.066	7.159	7.579	7.633	7.367
	$\beta$	1.512	1.522	1.522	1.228	1.221	1.052	1.072	1.031	1.196	1.260	1.268	1.228
Eo	mm/dia	4.917	4.730	4.321	4.049	3.912	3.645	3.676	4.198	4.536	4.898	5.306	4.853
Eto	mm/mes	152.43	132.459	133.96	121.48	121.27	109.356	113.98	130.14	136.08	151.86	159.2	150.43

**Cuadro N° 4.10 - EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA SEGUN HARGREAVES mm/día**  
**GENERACION DE DESCAGAS MEDIAS MENSUALES**  
**MICROCUENCA PALLCCA**

Proyecto:

$$ET_o = 0.0023 * (T_m + 17.8) * \sqrt{TD}$$

Latitud (grados)	13.33	Introduzca la latitud en grados y los valores de temperatura en °C											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media °C "tm"	5.7	5.7	5.8	2.3	2.2	-0.1	0.2	-0.5	1.9	2.7	2.7	2.3	
Temp. media de máximas °C "T"	15.7	16.1	14.6	13.6	16.9	15.0	15.3	14.6	15.3	16.2	18.5	14.6	
Temp. media de mínimas °C "t"	-4.3	-4.7	-3.1	-8.9	-12.4	-15.2	-14.9	-15.6	-11.5	-10.8	-13.0	-10.1	
T-t	20.0	20.8	17.6	22.5	29.3	30.1	30.2	30.1	26.9	27.0	31.5	24.7	
Ra	14.79	15.34	15.50	15.02	14.20	13.64	13.79	14.49	15.14	15.27	14.88	14.56	
ET referencia en mm/día	3.6	3.8	3.5	3.3	3.5	3.1	3.1	3.2	3.6	3.7	3.9	3.3	
ET referencia en mm/mes	111	106	109	99	110	92	97	98	107	116	118	103	
ET referencia en m3/Ha/mes	1108	1060	1094	990	1097	915	972	981	1067	1159	1182	1035	

**Cuadro N° 4.11 - EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGUN THORNTHWAITE**  
**mm/mes**  
**GENERACION DE DESCAGAS MEDIAS MENSUALES MICROCUENCA**  
**PALLCCA**

Proyecto:

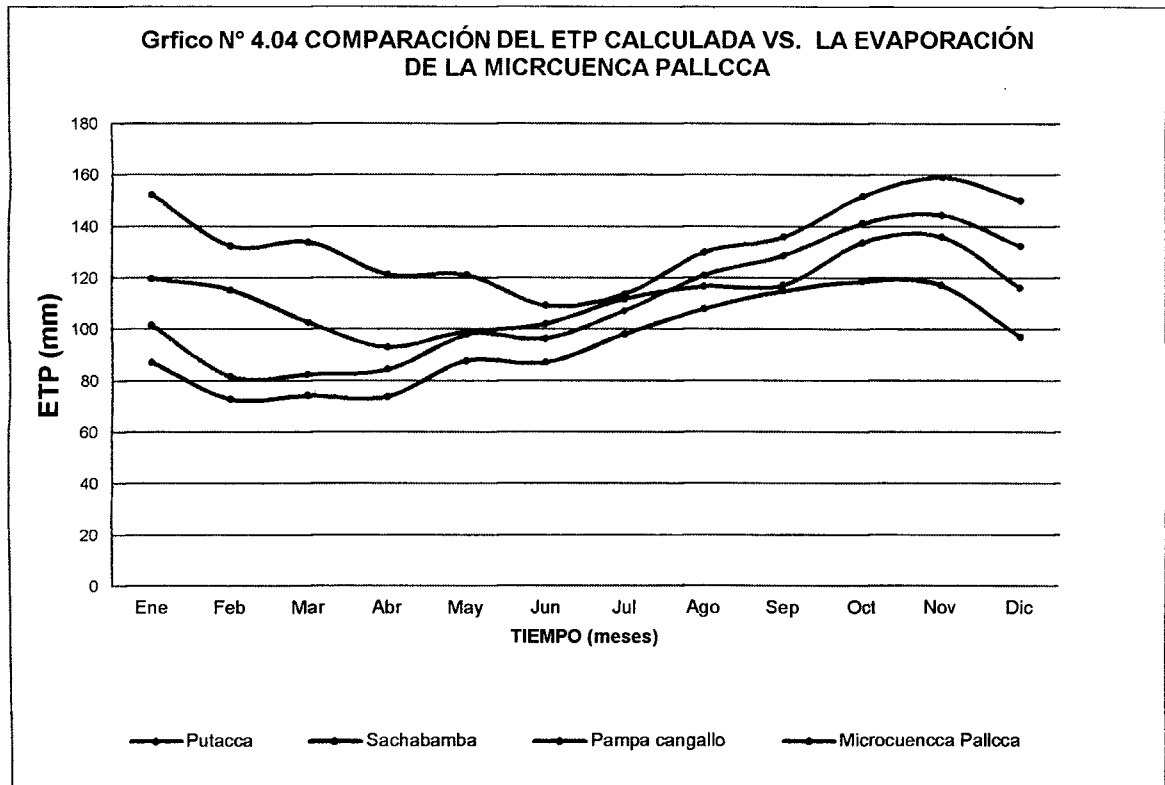
Latitud (grados)

13.33

Introduzca la latitud en grados y las temperaturas medias mensuales en °C  
 Si  $t_m > 26.5^\circ\text{C}$  introduzca los valores de ETP sin ajustar:  $ETP = L \cdot ETP$  sin ajustar

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media °C	5.7	5.7	5.8	2.3	2.2	-0.1	0.2	-0.5	1.9	2.7	2.7	2.3
Índice calor mensual "i"	1.22	1.23	1.24	0.32	0.29	0.00	0.01	0.00	0.23	0.39	0.40	0.30
Índice calor anual "I"	5.62											
Parámetro "a"	0.591											
ETP sin ajustar mm/mes	62.79	63.04	63.29	37.22	36.06	0.00	8.27	0.00	32.90	40.26	40.53	36.54
L	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
ETP mm/mes	65.53	59.40	66.01	37.57	37.62	0.00	8.63	0.00	33.21	41.99	40.93	38.14
<i>ETP sin ajustar si <math>t_m &gt; 26.5</math></i>												
<i>L</i>	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
<i>ETP mm/mes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Si $t_m > 26.5^\circ\text{C}$ lea directamente el valor de ETP sin ajustar y sólo hay que multiplicar por el valor L												
	tm	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5
tm < 26.5	ETP sin	135.0	139.5	143.7	147.8	151.7	155.4	158.9	162.1	165.2	168.0	170.7
	tm	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.5
	ETP sin	175.3	177.2	179.0	180.5	181.8	182.9	183.7	184.3	184.7	184.9	185.0

Cuadro N° 4.12 VARIACIÓN MENSUAL PROMEDIO DE LA EVAPORACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO															
Estación Meteorológicas		Evaporación Total Promedio Mensual (mm)													
Código	Nombre	Grupo	Altura msnm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
C001	PUTACCA	Grupo 02	3550	120	115	103	93.2	99	96.6	108	121	129	141	145	132
C003	SACHABAMBA	Grupo 02	3540	87.3	72.8	74.2	73.9	87.9	87.1	98.3	108	115	119	117	97.2
C004	PAMPA CANGALLO	Grupo 02	3350	102	81.8	82.4	84.5	98	102	112	117	117	134	136	116
Promedio =			3480	103	89.9	86.4	83.9	95	95.3	106	115	120	131	133	115
Desv. Estand. =			113	16.2	22.4	14.6	9.67	6.17	7.63	6.98	6.65	7.44	11.4	14	17.7
R2 =				0.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	1.0	0.6	0.7	0.7	1.0	0.0





## DISCUSIONES

Con la finalidad de identificar el método más adecuado para el cálculo de la evapotranspiración de la zona de estudio, se desarrollaron los métodos de Penman-García para las condiciones del Perú, Thornthwaite, Hargreaves.

De la comparación de estos gráficos con los datos de la evaporación de la zona de estudio se determinó que el método de Penman-García para las condiciones del Perú es el que presente resultados representativos en la zona de estudio.

De los cuadros y gráficos presentados se puede notar las siguientes tendencias:

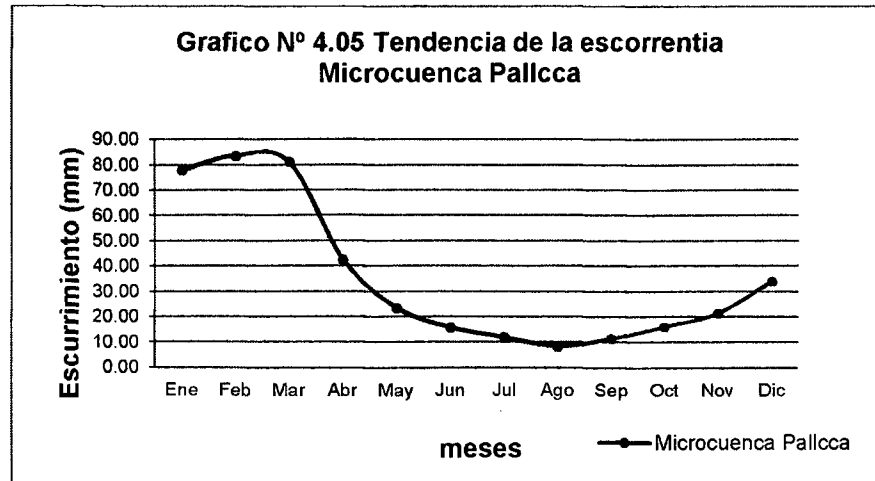
- En el cuadro de la evapotranspiración para la microcuenca calculado por el método de Penman-García puede notarse valores altos en los meses más lluviosos, enero febrero y marzo (152.36 mm/mes) y valores bajos en los meses secos (109.35 mm/mes), es decir a mayor precipitación mayor evapotranspiración potencial.
- La evaporación registrada por las estaciones pilotos guarda una ligera relación con la altura (> altura, > evaporación; < altura, < evaporación). La evaporación registrada manifiesta un comportamiento mensual directo al de las precipitaciones, es decir valores altos en los meses lluviosos y valores bajos en los meses secos
- La evapotranspiración anual a la altura media de la microcuenca está alrededor de los 1612.29 mm/año.

#### **4.1.4 DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA “C” DE LA MICROCUENCA PALLCCA**

##### **RESULTADOS**

- La información preliminar para el cálculo del coeficiente de escorrentía en la microcuenca Pallcca se presentan el cuadro N° 4.13, N° 4.14 y se visualiza en el grafico N° 4.05.
- El coeficiente de escorrentía de la mcrocuenca Pallcca, fue estimado por el método de L. TURC y La Misión Técnica Alemana el mismo que se promedia el resultado y se presenta en el cuadro N° 4.15

Cuadro N° 4.13 CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES REGISTRADOS DE LA MICROCUENCA PALLCCA															
(Escorrentía media mensual y media anual)															
Nombre de la Microcuenca	Área de la microcuenca Km <sup>2</sup>	Nombre de la estación	Área colectora km <sup>2</sup>	Descarga media Mensual (m <sup>3</sup> /s)											
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pallcca	15.26	Ficticia	15.26	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
				0.445	0.530	0.463	0.252	0.135	0.095	0.069	0.050	0.068	0.093	0.127	0.194
Nombre de la Microcuenca	Área de la microcuenca Km <sup>2</sup>	Nombre de la estación	Área colectora km <sup>2</sup>	Escorrentía media mensual (mm)											
				Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pallcca	15.26	Ficticia	15.26	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
				78.15	83.94	81.18	42.83	23.77	16.14	12.19	8.80	11.63	16.27	21.59	34.04



**Cuadro N° 4.14 INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA DE LA MICROCUENCA PALLCCA**

Nombre de la Microcuenca	Altitud media msnm	Pendiente (%)	Area km2	Caudal medio anual (mm)	PP (2011) Media anual (mm)	ETP media anual (mm)	T°media anual °C	C registrado Qreg/Preg
PALLCCA	4020.33	21.07	15.26	430.53	1240.85	1612.29	2.58	0.35

**Cuadro N° 4.15 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA ESTIMADO PARA LA MICROCUENCA PALLCCA**

Nombre de la Microcuenca	L. TURC					MISION ALEMANA			"C" Prom estimado	"C" reg
	PP total Anual (mm/año)	D déficit de escurrimiento (mm/año)	L Coef de temperatura	T° media anual °C	"C" coef escurrimiento	Evaporacion Anual (mm/año)	D deficit de escurrimiento (mm/año)	"C" Coef escurrimiento		
Pallcca	863.95	339.09	365.36	2.58	0.61	1612.28	1037.24	0.10	0.35	0.35

## DISCUSIONES

- La microcuenca Pallcca presenta un coeficiente de escorrentía de anual de 0.35, este valor se obtuvo del registro de caudales medidos por el tesista de un año calendario. Al no contar con una serie de registros confiables para la aplicación del modelo, además este valor permite calibrar o verificar el coeficiente de escorrentía para la microcuenca en estudio.
- El coeficiente de escorrentía estimado para la microcuenca Pallcca, es el promedio de los resultados obtenidos por el método el L-Turc y la Misión Alemana y se asemeja a lo registrado.

## 4.2 DE LA GENERACIÓN Y VALIDACIÓN DE CAUDALES-PARA UN PERIODO EXTENDIDO

### 4.2.1 DE LA GENERACIÓN DESCARGAS MEDIAS MENSUALES PARA EL AÑO PROMEDIO DE LA MICROCUENCA PALLCCA

#### RESULTADOS

- La retención generada y tabulada de la microcuenca Pallcca se presenta en el cuadro N° 4.16
- Los coeficientes de retención y agotamiento de la microcuenca Pallcca se presenta en el cuadro N° 4.17
- La generación de caudales mensuales para el año promedio se presentan en los cuadros N° 4.18

**Cuadro N° 4.16 RETENCIÓN TOTAL DE LA MICROCUENCA**

RETENCIÓN DE LA MICROCUENCA PALLCCA					
Microcuenca Pallcca	Altitud media msnm	Ind. Pend.	lamina neta	Area acuíferos	Retención de lamina total
Descripcion	4020.33	%		Km2	m3/año
Napa Freática (Acuíferos)		7.29	260.325	3.052	7.95E+05
Lagunas				0	0.00E+00
Nevados				0	0.00E+00
TOTAL					7.95E+05
Retención total =		0.79		52.1	mm/año

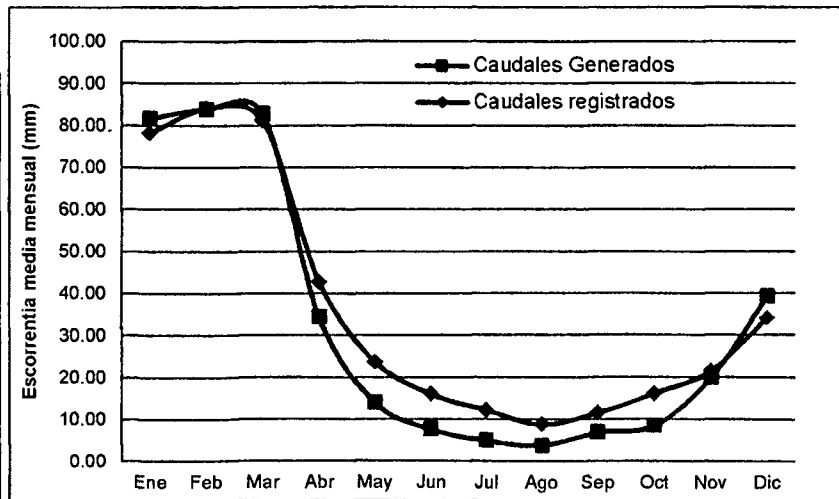
**Cuadro N° 4.17**

Calculo de coeficientes del Gasto Retención a partir del mes de abril a setiembre de la Microcuenca Pallcca															
Nombre de la Microcuenca	Elevacion media m.s.n.m	Area km2	Coeficientes												Total
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Pallcca	4020.33	15.26	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
			*	*	*								*	*	*
Coeficientes de agotamiento (a)		0.019			bi	0.56	0.32	0.18	0.10	0.06	0.03				1.25
Razon de agotamiento mensual (30 días) : (bo)		0.56			Gi	23.49	13.23	7.45	4.20	2.36	1.33				52.1

Cuadro N° 4.18

## CAUDALES GENERADOS PARA EL AÑO PROMEDIO - MICROCUENCA PALLCCA

Microcuenca Pallcca					C Calculado		0.45		Retension de la Microcuenca			
PP media anual		863.95	mm	Curvas	C	Coef de ponderacion						
Area Microcuenca		15.26	km2	2	0.30	Curva II		0.47	Retención	R	52.1	mm/año
				3	0.45	Curva III		0.53				
<b>Micca Pallcca</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
PP Media mm	177.12	163.37	160.14	51.96	9.41	4.06	8.58	14.18	34.56	44.70	44.70	122.90
Curva IV	92.71	76.97	73.52	6.09	0.14	0.01	0.11	0.36	2.53	4.40	12.73	40.33
Curva V	121.01	104.65	100.97	15.34	1.54	0.60	1.38	2.52	8.34	12.19	26.29	63.30
PE (mm)	107.77	91.70	88.13	11.01	0.88	0.32	0.79	1.51	5.62	8.55	19.95	52.56
bi	0.00	0.00	0.00	0.56	0.32	0.18	0.10	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00
Gi	0.00	0.00	0.00	23.49	13.23	7.45	4.20	2.36	1.33	0.00	0.00	0.00
ai	0.50	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
A	26.03	7.81	5.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.02
Q Gen (mm)	81.73	83.89	82.92	34.50	14.11	7.78	4.98	3.88	6.95	8.55	19.95	39.54
Q Reg (mm)	78.15	83.94	81.18	42.83	23.77	16.14	12.19	8.80	11.63	16.27	21.59	34.04



Mes	Q	Q-1	PE
Ene	81.73	39.54	107.77
Feb	83.89	81.73	91.70
Mar	82.92	83.89	88.13
Abr	34.50	82.92	11.01
May	14.11	34.50	0.88
Jun	7.78	14.11	0.32
Jul	4.98	7.78	0.79
Ago	3.88	4.98	1.51
Sep	6.95	3.88	5.62
Oct	8.55	6.95	8.55
Nov	19.95	8.55	19.95
Dic	39.54	19.95	52.56

Coef Estadístico	
Bo	2.40
B1	0.31
B2	0.62
S	1.21
R	1.00
R <sup>2</sup>	1.00
n	12.00
P	3.00

## DISCUSIONES

- Previo a la generación de caudales, se realizó el cálculo la precipitación efectiva (en mm) según los procedimientos descritos en el ítem 3.2.2.4.
- El cálculo de la Retención ( R ) que se muestra en los cuadros, se estimó siguiendo la metodología presentada el ítem 3.2.2.7, al respecto podemos mencionar que la Retención en la microcuenca estimada es de 117.1 mm/año.
- Los caudales promedios generados que se estimaron siguiendo los criterios y ecuaciones de los ítems 3.2.2.5, 3.2.2.8 y 3.2.2.9 presentan en cada uno de los casos una aceptable correspondencia respecto a los registrados, esto mismo se puede notar al comparación grafica de los caudales medios mensuales registrados y los generados por el modelo.
- Los coeficientes estadísticos que se mencionan en el cuadro, es resultado de la regresión múltiple de los caudales promedios mensuales generados (Q y  $Q_{t-1}$ ) y la precipitación efectiva promedio mensual (PE) generadas en la aplicación del modelo, (Los coeficientes estadísticos se emplearan la generación de caudales medios mensuales para un periodo extendido).
- Finalmente, se debe mencionar que los caudales medios mensuales generados y registrados tienen un coeficiente de correlación promedio de 99 %.

## 4.2.2 DE LA GENERACIÓN DESCARGAS MEDIAS MENSUALES PARA UN PERIODO EXTENDIDO DE LA MICROCUENCA PALLCCA

### RESULTADOS

- La generación de las descargas medias y test estadístico para la Microcuenca Palcca se presentan en los cuadros N° 4.19 y N°4.20.

Cuadro N° 4.19												
GENERACIÓN DE DESCARGAS MENSUALES PARA UN PERIODO EXTENDIDO MICROCUENCA PALLCCA												
Precipitación media mensual, Estimado por el Método de Isoyetas												
PP media de la Micca Palcca				Periodo de analisis 1995- 2011						Estacion ficticia		
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1995	163.41	149.77	166.35	74.30	1.88	0.00	0.94	10.70	23.28	24.45	155.06	123.71
1996	257.22	206.20	171.99	68.89	0.00	1.18	4.47	6.47	34.68	25.16	26.57	86.29
1997	191.62	122.38	83.00	24.92	15.64	0.00	3.06	54.90	43.14	10.70	69.83	120.31
1998	191.86	183.04	150.01	20.34	1.41	15.64	0.00	1.76	7.41	47.49	54.08	73.83
1999	115.21	265.57	169.40	82.29	3.06	2.00	7.29	0.00	68.42	38.68	46.67	79.16
2000	99.49	76.41	161.54	34.16	28.27	17.73	4.13	26.44	4.13	113.86	23.54	99.49
2001	229.24	96.13	257.21	43.56	46.77	8.56	13.91	9.48	18.49	46.77	70.30	33.62
2002	153.75	182.94	157.57	27.97	12.38	2.29	54.71	15.99	86.04	36.53	155.61	285.71
2003	182.57	154.47	160.82	61.37	11.17	0.00	0.00	21.75	43.97	47.49	63.25	159.61
2004	66.77	200.44	154.12	32.09	3.29	11.52	12.81	9.88	43.61	51.84	81.94	140.91
2005	95.11	78.88	142.01	45.38	0.12	0.00	4.82	40.44	51.61	50.55	34.45	139.31
2006	152.83	146.13	201.62	48.55	2.47	3.88	0.00	26.80	38.79	43.50	67.01	54.08
2007	92.52	103.10	199.38	76.13	12.34	0.59	5.53	2.82	38.32	54.78	64.31	150.81
2008	224.07	205.97	108.27	32.68	8.11	5.64	0.00	4.58	15.40	39.38	77.59	116.01
2009	130.84	138.96	166.58	67.48	0.24	0.00	18.57	0.00	13.28	45.26	117.56	120.71
2010	304.01	160.47	126.14	37.27	3.41	0.00	0.00	3.88	16.46	42.91	27.74	200.01
2011	360.56	306.48	146.36	105.92	9.40	0.00	15.64	5.17	40.56	40.56	104.98	105.21
<b>Media</b>	<b>177.12</b>	<b>163.37</b>	<b>160.14</b>	<b>51.96</b>	<b>9.41</b>	<b>4.06</b>	<b>8.58</b>	<b>14.18</b>	<b>34.56</b>	<b>44.70</b>	<b>72.97</b>	<b>122.91</b>
<b>Desv Estad</b>	<b>79.42</b>	<b>62.46</b>	<b>38.29</b>	<b>24.06</b>	<b>12.13</b>	<b>5.82</b>	<b>13.33</b>	<b>15.40</b>	<b>21.79</b>	<b>21.05</b>	<b>40.37</b>	<b>60.11</b>

Precipitación efectiva en mm	Curva	a0	a1	a2	a3	a4	Coef
Curvas y coeficientes de aporte	Curva IV	0.00E+00	4.18E-01	2.30E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.47
	Curva V	0.00E+00	6.09E-01	1.60E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.53



PRECIPITACION EFECTIVA EN (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1995	135.58	120.24	138.99	48.59	0.96	0.00	0.48	5.65	12.88	13.59	126.10	93.04
1996	261.02	188.49	145.61	44.32	0.00	0.60	2.31	3.36	19.97	14.01	14.87	58.47
1997	169.66	91.64	55.70	13.87	8.42	0.00	1.57	33.80	25.56	5.65	45.05	89.67
1998	169.95	158.96	120.50	11.14	0.72	8.42	0.00	0.90	3.87	28.55	33.21	48.21
1999	84.64	273.86	142.56	55.11	1.57	1.02	3.80	0.00	43.95	22.58	27.98	52.53
2000	70.01	50.29	133.44	19.63	15.92	9.62	2.13	14.79	2.13	83.34	13.03	70.01
2001	219.98	67.00	261.00	25.84	28.04	4.49	7.44	4.98	10.06	28.04	45.42	19.29
2002	124.63	158.83	128.92	15.73	6.58	1.17	33.67	8.62	58.26	21.16	126.72	306.11
2003	158.38	125.45	132.62	38.57	5.91	0.00	0.00	11.97	26.12	28.55	39.98	131.28
2004	42.68	180.95	125.05	18.32	1.69	6.11	6.83	5.20	25.88	31.61	54.82	110.71
2005	66.10	52.30	111.84	27.09	0.06	0.00	2.49	23.75	31.44	30.69	19.82	108.96
2006	123.61	116.26	182.48	29.29	1.26	2.00	0.00	15.02	22.65	25.80	42.86	33.21
2007	63.83	73.28	179.58	50.06	6.56	0.30	2.86	1.45	22.34	33.72	40.78	121.40
2008	212.73	188.18	78.06	18.69	4.25	2.93	0.00	2.37	8.28	23.04	51.24	85.43
2009	100.16	108.59	139.26	43.22	0.12	0.00	10.11	0.00	7.09	27.01	86.91	90.01
2010	336.56	132.21	95.39	21.65	1.75	0.00	0.00	2.00	8.89	25.40	15.60	180.49
2011	439.37	340.78	116.52	75.87	4.95	0.00	8.42	2.68	23.82	23.82	75.01	75.22

NUMEROS ALEATORIOS GENERADOS CON DISTRIBUCION NORMAL												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1995	-0.17	-0.22	0.16	0.93	-0.62	-0.70	-0.57	-0.23	-0.52	-0.96	2.03	0.01
1996	1.01	0.69	0.31	0.70	-0.78	-0.50	-0.31	-0.50	0.01	-0.93	-1.15	-0.61
1997	0.18	-0.66	-2.01	-1.12	0.51	-0.70	-0.41	2.64	0.39	-1.62	-0.08	-0.04
1998	0.19	0.31	-0.26	-1.31	-0.66	1.99	-0.64	-0.81	-1.25	0.13	-0.47	-0.82
1999	-0.78	1.64	0.24	1.26	-0.52	-0.35	-0.10	-0.92	1.55	-0.29	-0.65	-0.73
2000	-0.98	-1.39	0.04	-0.74	1.56	2.35	-0.33	0.80	-1.40	3.29	-1.22	-0.39
2001	0.66	-1.08	2.54	-0.35	3.08	0.77	0.40	-0.31	-0.74	0.10	-0.07	-1.49
2002	-0.29	0.31	-0.07	-1.00	0.24	-0.30	3.46	0.12	2.36	-0.39	2.05	2.71
2003	0.07	-0.14	0.02	0.39	0.15	-0.70	-0.64	0.49	0.43	0.13	-0.24	0.61
2004	-1.39	0.59	-0.16	-0.83	-0.50	1.28	0.32	-0.28	0.42	0.34	0.22	0.30
2005	-1.03	-1.35	-0.47	-0.27	-0.77	-0.70	-0.28	1.71	0.78	0.28	-0.95	0.27
2006	-0.31	-0.28	1.08	-0.14	-0.57	-0.03	-0.64	0.82	0.19	-0.06	-0.15	-1.15
2007	-1.07	-0.97	1.02	1.00	0.24	-0.60	-0.23	-0.74	0.17	0.48	-0.21	0.46
2008	0.59	0.68	-1.35	-0.80	-0.11	0.27	-0.64	-0.62	-0.88	-0.25	0.11	-0.11
2009	-0.58	-0.39	0.17	0.65	-0.76	-0.70	0.75	-0.92	-0.98	0.03	1.10	-0.04
2010	1.60	-0.05	-0.89	-0.61	-0.49	-0.70	-0.64	-0.67	-0.83	-0.09	-1.12	1.28
2011	2.31	2.29	-0.36	2.24	0.00	-0.70	0.53	-0.58	0.28	-0.20	0.79	-0.29
Media	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Desv Estad	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.971

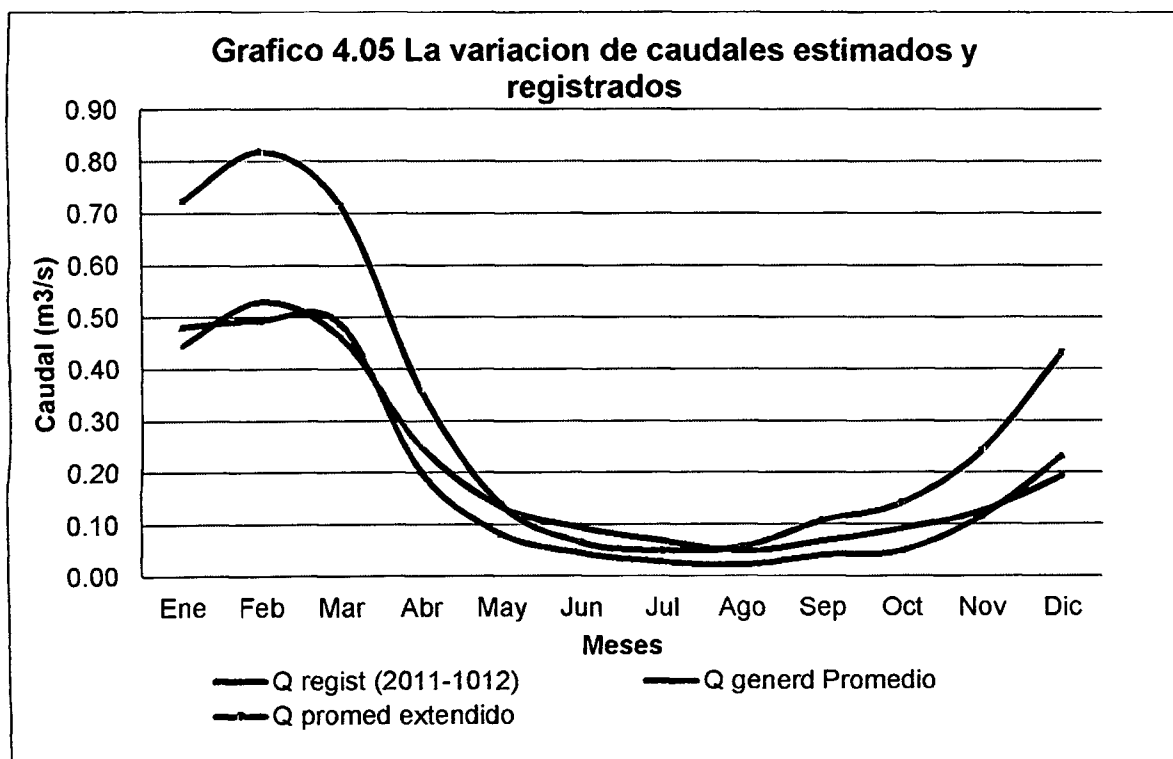
Descargas medias mensual generadas mm
Coefficientes de regresion multiple

Bo	2.40	B2	0.62	S	1.21
B1	0.31	R^2	1.00	Qo	78.15

DESCARGAS MEDIAS GENERADAS (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1995	110.29	110.67	122.40	70.13	24.51	9.89	5.70	7.63	12.68	14.64	85.03	86.09	659.68
1996	190.39	177.57	147.08	75.06	25.43	10.55	7.05	6.62	16.78	16.17	16.50	43.61	732.81
1997	120.77	96.17	66.30	31.29	17.25	7.66	5.70	25.21	25.98	13.79	34.50	68.47	513.09
1998	128.59	140.28	120.05	46.11	16.98	12.94	6.34	4.86	6.21	21.97	29.67	41.29	575.28
1999	67.40	192.63	149.81	82.61	28.73	11.84	8.38	4.92	31.19	25.93	27.64	43.35	674.45
2000	58.97	51.55	100.79	45.48	26.32	16.57	8.79	14.30	8.03	56.61	27.79	54.23	469.43
2001	155.19	91.49	192.13	77.42	43.72	18.66	12.76	9.38	11.46	23.27	37.64	25.82	698.93
2002	87.42	127.54	121.35	49.37	21.66	9.76	26.42	15.86	43.45	28.82	89.77	219.52	840.95
2003	167.86	131.59	124.89	64.67	25.94	10.33	5.54	11.53	22.13	26.87	35.38	94.52	721.22
2004	57.77	132.13	120.36	50.68	18.99	12.09	10.35	8.78	21.13	28.47	45.07	84.76	590.58
2005	69.28	55.97	88.76	46.42	16.66	7.48	6.22	19.10	27.76	29.93	23.80	77.14	468.52
2006	102.56	105.83	147.88	65.96	23.42	10.83	5.69	13.48	20.57	24.68	36.49	34.09	591.48
2007	52.30	63.75	133.14	74.35	29.33	11.56	7.71	5.62	17.96	28.80	36.47	88.74	549.73
2008	161.31	168.43	102.38	45.38	18.97	10.05	5.45	5.50	9.16	19.45	40.08	67.56	653.74
2009	85.09	95.71	117.98	65.44	22.54	9.29	11.55	5.89	8.54	21.73	62.91	77.42	584.07
2010	234.49	156.26	109.39	49.38	18.63	8.08	4.84	5.08	9.41	21.00	18.44	119.80	754.80
2011	311.16	308.99	169.44	101.55	36.67	13.63	11.82	7.65	19.50	23.12	55.95	66.11	1125.60

Cuadro N° 4.20														
TEST ESTADÍSTICO DEL PERIODO MICROCUENCA PALLCCA														
DESCARGAS MEDIAS MENSUALES GENERADAS														
Unidades		m3/s			Estación		Ficticia generada			Área colectora		15.26	Km2	
		Microcuenca Pallcca								Altitud Media		4020.33	msnm	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Qd ANUAL	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
1995	0.63	0.70	0.70	0.41	0.14	0.06	0.03	0.04	0.07	0.08	0.50	0.49	0.32	
1996	1.08	1.12	0.84	0.44	0.14	0.06	0.04	0.04	0.10	0.09	0.10	0.25	0.36	
1997	0.69	0.61	0.38	0.18	0.10	0.05	0.03	0.14	0.15	0.08	0.20	0.39	0.25	
1998	0.73	0.88	0.68	0.27	0.10	0.08	0.04	0.03	0.04	0.13	0.17	0.24	0.28	
1999	0.38	1.22	0.85	0.49	0.16	0.07	0.05	0.03	0.18	0.15	0.16	0.25	0.33	
2000	0.34	0.33	0.57	0.27	0.15	0.10	0.05	0.08	0.05	0.32	0.16	0.31	0.23	
2001	0.88	0.58	1.09	0.46	0.25	0.11	0.07	0.05	0.07	0.13	0.22	0.15	0.34	
2002	0.50	0.80	0.69	0.29	0.12	0.06	0.15	0.09	0.26	0.16	0.53	1.25	0.41	
2003	0.96	0.83	0.71	0.38	0.15	0.06	0.03	0.07	0.13	0.15	0.21	0.54	0.35	
2004	0.33	0.83	0.69	0.30	0.11	0.07	0.06	0.05	0.12	0.16	0.27	0.48	0.29	
2005	0.39	0.35	0.51	0.27	0.09	0.04	0.04	0.11	0.16	0.17	0.14	0.44	0.23	
2006	0.58	0.67	0.84	0.39	0.13	0.06	0.03	0.08	0.12	0.14	0.21	0.19	0.29	
2007	0.30	0.40	0.76	0.44	0.17	0.07	0.04	0.03	0.11	0.16	0.21	0.51	0.27	
2008	0.92	1.06	0.58	0.27	0.11	0.06	0.03	0.03	0.05	0.11	0.24	0.38	0.32	
2009	0.48	0.60	0.67	0.39	0.13	0.05	0.07	0.03	0.05	0.12	0.37	0.44	0.28	
2010	1.34	0.99	0.62	0.29	0.11	0.05	0.03	0.03	0.06	0.12	0.11	0.68	0.37	
2011	1.77	1.95	0.97	0.60	0.21	0.08	0.07	0.04	0.11	0.13	0.33	0.38	0.55	
Media	0.724	0.819	0.715	0.361	0.139	0.066	0.050	0.057	0.108	0.143	0.244	0.433	0.32	
Desv Stand	0.401	0.390	0.171	0.105	0.041	0.017	0.029	0.033	0.058	0.054	0.124	0.253	0.14	

Cuadro N° 4.21 Test estadístico												
CAUDALES MEDIOS MENSUALES REGISTRADOS DE UN AÑO CALENDARIO RIO NUÑUNHUAYCCO - MICROCUEMCA PALLCCA												
MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q reg	1.104	1.365	0.969	0.460	0.247	0.174	0.127	0.092	0.125	0.169	0.296	0.488
											Media	0.468
											Desv Stand	0.436
Prueba de medias		Prueba de Varianza				Resultados						
Grados de libertad	11											
t Calculado	1.06	^F Calculado		0.10		Prb media			VERDADERO			
t tabla	2.18	F tabla		2.82		Prb Varianza			VERDADERO			



## DISCUSIONES

- Los criterios para la generación de los caudales se mencionan en el Ítem 3.2.3.1 y en 3.2.3.2.
- Debido a que las estaciones Tambillo, Sachabamba y Putacca, sólo registran parcialmente el área de la microcuenca, se excluyeron dichas estaciones y se tomó como estación base a Pampa Cangallo.
- Los caudales generados para el periodo lluvioso se encuentran dentro del rango estadístico permisible, es decir, son aceptables para todos los casos.
- Los caudales generados para el período seco, no siempre se encuentran estadísticamente dentro del rango permisible.
- En forma general, los caudales generados para un periodo extendido si bien no tiene una total correspondencia con los registrados según las pruebas estadísticas de la media y la variancia, estos pueden ser empleado únicamente para el caso de estudios hidrológicos.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo matemático **precipitación descarga** del experto Lutz Scholtz, es una herramienta que nos ayuda de manera práctica y con información básica de la zona, caracterizar desde un punto de vista hidrológico el régimen de escorrentía en una determinada cuenca o microcuenca de la sierra del Perú. En la presente Tesis se ha podido comprobar dichas bondades al desarrollar de manera secuencial los modelos determinísticos para la generación de caudales del año promedio y el modelo estocástico para la generación de las series extendidas.

### 5.1 CONCLUSIONES

- 1.- Se extendió las curvas de precipitación efectiva” para coeficientes de escorrentía de 0.30 y 0.45
- 2.- Se ha utilizado las fórmulas de L. Turc y la Misión Alemana para el cálculo del coeficiente de escorrentía media para la zona de estudio.
- 3.- Para el cálculo de la ETP, se empleó el método de “Penman para condiciones del Perú”.
- 4.- La generación de caudales para el año promedio, tiene un coeficiente de correlación respecto a los registrados de 95%.

5.- Se calibró los caudales para el año promedio con los caudales registrados por el tesista, mediante el coeficiente de agotamiento y la retención total de la microcuenca.

6.- Los caudales generados para un periodo de 15 años tienen buena correlación (0.95), con respecto a los registrados.

7.- Con respecto a la prueba estadística para la Media y la Variancia, que si bien es cierto no hay una total correspondencia, en términos generales son aceptables, es decir que se encuentran en promedio dentro de la tolerancia de error permitida para un estudio hidrológico, por lo tanto puede ser empleado.

8.- El modelo matemático precipitación-escorrentía del Ing. Lutz Scholz puede ser empleado para la generación de caudales en la zona en estudio, tomando en cuenta que el régimen de aporte y almacenamiento que se produce dentro de la microcuenca tienen un comportamiento particular debido a la presencia de los acuíferos en las partes altas.

## **5.2 RECOMEDACIONES**

1.- La SENAMHI, instituciones públicas y privadas, deben incrementar sus esfuerzos en la implementación y mantenimiento de estaciones hidrometeorológicas dentro del ámbito de nuestra región, de tal forma se tenga un mejor manejo de los recursos hídricos en la Región de Ayacucho y no estar realizando traslación de una estación a otra.

2.- Que, para generar descargas medias mensuales para cualquier cuenca de la Región, utilizar el modelo matemático propuesto por el experto Lutz Scholz, por ser un modelo hidrológico y estocástico que ofrece una metodología para la calibración de los parámetros hidrológicos, estimando caudales medios para el aprovechamiento hídrico y de esta manera optimizar, conservar y evitar el deterioro del recurso hídrico.

## VI. RESUMEN

La microcuenca Pallcca se encuentra ubicada en las alturas del Distrito de María Parado de Bellido, Provincia de Cangallo en la Región Ayacucho – Perú, y la zona de estudio comprende el afluente del río Ñuñunhuaycco como cauce principal, el mismo que tiene como componente los acuíferos.

Para comprender el comportamiento hidrológico de esta microcuenca, con influencia de acuíferos, se estudió los caudales medios mensuales de un año calendario para el río Ñuñunhuaycco y con esto poder desarrollar el método matemático “**Precipitación-Escorrentía**” del experto Lutz Scholz para la generación de descargas medias mensuales.

La secuencia de cálculos empleados por el método es el siguiente: (1) Se caracterizó la zona en estudio mediante el cálculo de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la microcuenca Pallcca, así mismo se regionalizó la información pluviométrica recopilada. (02) Se aplicaron un conjunto de modelos determinísticos para el cálculo de las variables y se elaboraron expresiones empíricas regionalizadas siguiendo los mismos principios planteados por el método (3) Con la información pluviométrica regionalizada y con los modelos parciales se calculó los caudales mensuales para el año promedio. (04) En base a lo anterior, se generaron los caudales para un periodo extendido en el punto de captación establecido mediante la combinación de la precipitación efectiva con la descarga del mes anterior por un proceso Markoviano y, (05) Finalmente se realizaron las pruebas estadísticas para validar o desestimar los registros de caudales generados.

En términos generales, el Modelo matemático “**Precipitación-Escorrentía**” del experto Lutz Scholz, con los parámetros regionalizados para el afluente del río Ñuñunhuaycco dan resultados muy cercanos a los registrados, pudiéndose emplear para extender o completar una serie hidrométrica de dicha zona.



## VII. BIBLIOGRAFIA

- [01] Aliaga Araujo, Vito. Hidrología Estadística. McGrawill. Lima – Perú. 1985. 330 pág. (8)
- [02] Aliaga Araujo, Vito. Hidrología–Tratamiento de Datos. MacGrawill. Lima–Perú, 1985. 330 pág.
- [03] Aguirre N., M. 1992 "Análisis y Aplicación de Modelos Matemáticos para la Generación.
- [04] Chow Ven Te. Hidrología Aplicada. Nomas S.A. Colombia. 2000. 584 pág.
- [05] Chereque Morán Wendor. Hidrología. Lugo. Lima – Perú. 1991. 224 pág.
- [06] Casas Bautista, Luís. Evaluación Hidrológica de la Microcuenca Muylo – arma. FIA-UNALM. Lima – Perú. 2002. 300 Pag.
- [07] FONIPREL, Estudio definitivo, sistema de riego Maria Parado de Bellido, "aprovechamiento hídrico" Volumen III, Ayacucho – Peru 2010.
- [08] Guevara Pérez Edilberto. Hidrología "Una Introducción a la Ciencia" EGN Comunicaciones. Valencia Venezuela. 1991. 357 pág.
- [09] Ibarra Imata, Gregorio Imata, Procesos de Transformación de Precipitación en Descargas Evaluación de un Modelo Matemático, Tesis FIA – UNALM, Lima–Perú, 1990. 270 pág.
- [10] Lutz Schulz. Generación de Caudales Mensuales en al Sierra del Perú. Plan Meris II. Cuzco–Perú. 1980. 50 pág.
- [11] Mejía M. Abel. Hidrología Aplicada Volumen I, II, Centro de Impresiones y Publicaciones FIA. Lima–Perú. 2001. 394 pág. y 186 pág.
- [12] Reyes Carrasco, Luís, Hidrología Básica. CONCYTEC. Lima–Perú. 1992. 220 pág.

- [13] Sovero Sovero, Felix. Modelo Matemático de Transformación "Precipitación Descarga" con Aplicación a la Cuenca del Río Huancané, Tesis–FIA-UNALM. Lima–Perú. 1991. 146 pág.
- [14] U.N.A.L.M, Meteorología General, 1994. 74 pág.
- [15] Villón Máximo Bejar. Hidrología. Villón. Lima – Perú. 2002. 436 pág.
- [16] Villón Máximo Bejar. Hidrología Estadística. Lima–Perú. 2002. 380 pág.

## VIII. ANEXOS

La información anexa se presenta de la siguiente manera:

		PAG.
A.I	Panel fotográfico	174
A.II	Tablas	176

## ANEXO I PANEL FOTOGRAFICO

Aforo de caudal en meses húmedos (Noviembre – Marzo)



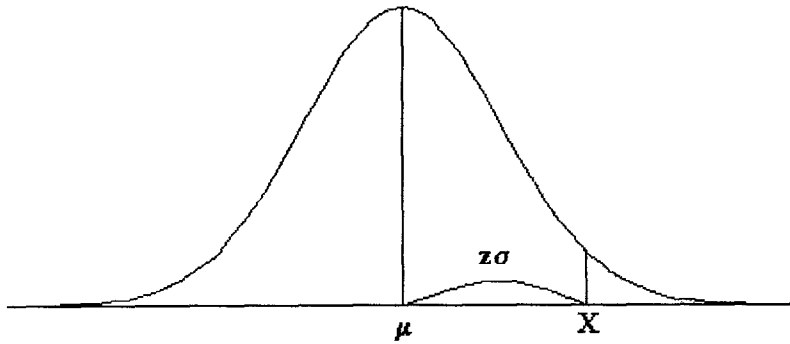
Aforo de caudal en meses secos (Abril – Octubre)



## **ANEXO II TABLAS ESTADISTICAS**

# TABLA 1: DISTRIBUCIÓN NORMAL

## Áreas bajo la curva normal



Ejemplo:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

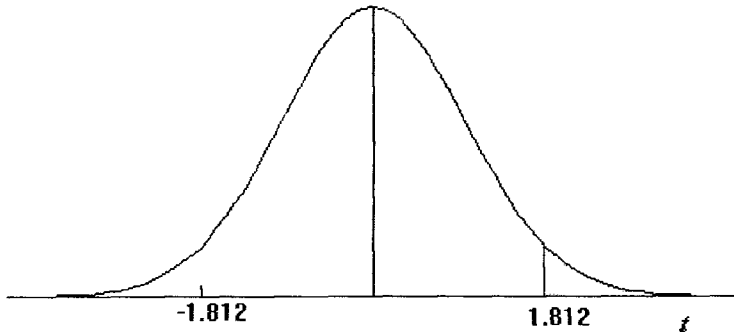
$$P[Z > 1] = 0.1587$$

$$P[Z > 1.96] = 0.0250$$

Desv. normal x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010

## TABLA 2: DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT

### Puntos de porcentaje de la distribución t



#### Ejemplo

Para  $\phi = 10$  grados de libertad:

$$P[t > 1.812] = 0.05$$

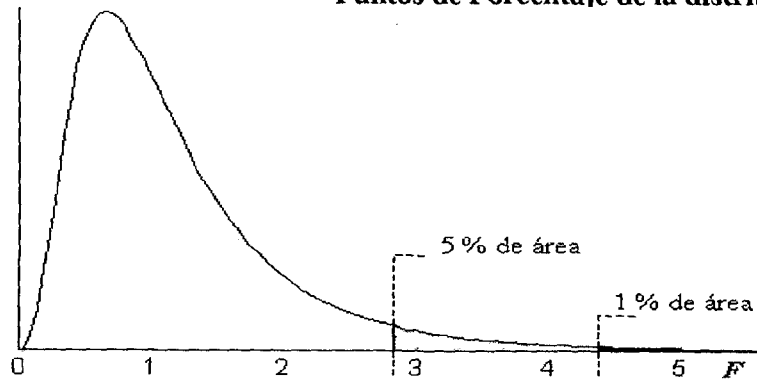
$$P[t < -1.812] = 0.05$$

$\alpha$ $\gamma$	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
$\infty$	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290



## TABLA 4: DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

### Puntos de Porcentaje de la distribución F



Ejemplo:

Para  $n_1 = 9, n_2 = 12$  grados de libertad:

$P[F > 2.80] = 0.05$

$P[F > 4.39] = 0.01$

$n_2$	5 % (normal) y 1 % (negritas) puntos para la distribución de F																									$n_2$
	$n_1$ grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	$\infty$		
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254	254	1
2	<b>4052</b>	<b>4999</b>	<b>5404</b>	<b>5624</b>	<b>5764</b>	<b>5859</b>	<b>5928</b>	<b>5981</b>	<b>6022</b>	<b>6056</b>	<b>6083</b>	<b>6107</b>	<b>6143</b>	<b>6170</b>	<b>6209</b>	<b>6234</b>	<b>6260</b>	<b>6286</b>	<b>6302</b>	<b>6324</b>	<b>6334</b>	<b>6350</b>	<b>6360</b>	<b>6366</b>	2	
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.48	19.49	19.49	19.49	19.50	3	
4	<b>98.50</b>	<b>99.00</b>	<b>99.16</b>	<b>99.25</b>	<b>99.30</b>	<b>99.33</b>	<b>99.36</b>	<b>99.38</b>	<b>99.39</b>	<b>99.40</b>	<b>99.41</b>	<b>99.42</b>	<b>99.43</b>	<b>99.44</b>	<b>99.45</b>	<b>99.46</b>	<b>99.47</b>	<b>99.48</b>	<b>99.48</b>	<b>99.48</b>	<b>99.49</b>	<b>99.49</b>	<b>99.50</b>	<b>99.50</b>	4	
5	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	5	
6	<b>34.12</b>	<b>30.82</b>	<b>29.46</b>	<b>28.71</b>	<b>28.24</b>	<b>27.91</b>	<b>27.67</b>	<b>27.49</b>	<b>27.34</b>	<b>27.23</b>	<b>27.13</b>	<b>27.05</b>	<b>26.92</b>	<b>26.83</b>	<b>26.69</b>	<b>26.60</b>	<b>26.50</b>	<b>26.41</b>	<b>26.35</b>	<b>26.28</b>	<b>26.24</b>	<b>26.18</b>	<b>26.15</b>	<b>26.13</b>	6	
7	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.65	5.64	5.63	7	
8	<b>21.20</b>	<b>18.00</b>	<b>16.69</b>	<b>15.98</b>	<b>15.52</b>	<b>15.21</b>	<b>14.98</b>	<b>14.80</b>	<b>14.66</b>	<b>14.55</b>	<b>14.45</b>	<b>14.37</b>	<b>14.25</b>	<b>14.15</b>	<b>14.02</b>	<b>13.93</b>	<b>13.84</b>	<b>13.75</b>	<b>13.69</b>	<b>13.61</b>	<b>13.58</b>	<b>13.52</b>	<b>13.49</b>	<b>13.46</b>	8	
9	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37	9	
10	<b>16.26</b>	<b>13.27</b>	<b>12.06</b>	<b>11.39</b>	<b>10.97</b>	<b>10.67</b>	<b>10.46</b>	<b>10.29</b>	<b>10.16</b>	<b>10.05</b>	<b>9.96</b>	<b>9.89</b>	<b>9.77</b>	<b>9.68</b>	<b>9.55</b>	<b>9.47</b>	<b>9.38</b>	<b>9.29</b>	<b>9.24</b>	<b>9.17</b>	<b>9.13</b>	<b>9.08</b>	<b>9.04</b>	<b>9.02</b>	10	
11	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.69	3.68	3.67	11	
12	<b>13.75</b>	<b>10.92</b>	<b>9.78</b>	<b>9.15</b>	<b>8.75</b>	<b>8.47</b>	<b>8.26</b>	<b>8.10</b>	<b>7.98</b>	<b>7.87</b>	<b>7.79</b>	<b>7.72</b>	<b>7.60</b>	<b>7.52</b>	<b>7.40</b>	<b>7.31</b>	<b>7.23</b>	<b>7.14</b>	<b>7.09</b>	<b>7.02</b>	<b>6.99</b>	<b>6.93</b>	<b>6.90</b>	<b>6.88</b>	12	
13	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53	3.49	3.44	3.41	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	13	
14	<b>12.25</b>	<b>9.55</b>	<b>8.45</b>	<b>7.85</b>	<b>7.46</b>	<b>7.19</b>	<b>6.99</b>	<b>6.84</b>	<b>6.72</b>	<b>6.62</b>	<b>6.54</b>	<b>6.47</b>	<b>6.36</b>	<b>6.28</b>	<b>6.16</b>	<b>6.07</b>	<b>5.99</b>	<b>5.91</b>	<b>5.86</b>	<b>5.79</b>	<b>5.75</b>	<b>5.70</b>	<b>5.67</b>	<b>5.65</b>	14	
15	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.24	3.20	3.15	3.12	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	15	
16	<b>11.26</b>	<b>8.65</b>	<b>7.59</b>	<b>7.01</b>	<b>6.63</b>	<b>6.37</b>	<b>6.18</b>	<b>6.03</b>	<b>5.91</b>	<b>5.81</b>	<b>5.73</b>	<b>5.67</b>	<b>5.56</b>	<b>5.48</b>	<b>5.36</b>	<b>5.28</b>	<b>5.20</b>	<b>5.12</b>	<b>5.07</b>	<b>5.00</b>	<b>4.96</b>	<b>4.91</b>	<b>4.88</b>	<b>4.86</b>	16	
17	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.03	2.99	2.94	2.90	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71	17	
18	<b>10.56</b>	<b>8.02</b>	<b>6.99</b>	<b>6.42</b>	<b>6.06</b>	<b>5.80</b>	<b>5.61</b>	<b>5.47</b>	<b>5.35</b>	<b>5.26</b>	<b>5.18</b>	<b>5.11</b>	<b>5.01</b>	<b>4.92</b>	<b>4.81</b>	<b>4.73</b>	<b>4.65</b>	<b>4.57</b>	<b>4.52</b>	<b>4.45</b>	<b>4.41</b>	<b>4.36</b>	<b>4.33</b>	<b>4.31</b>	18	
19	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.86	2.83	2.77	2.74	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	19	
20	<b>10.04</b>	<b>7.56</b>	<b>6.55</b>	<b>5.99</b>	<b>5.64</b>	<b>5.39</b>	<b>5.20</b>	<b>5.06</b>	<b>4.94</b>	<b>4.85</b>	<b>4.77</b>	<b>4.71</b>	<b>4.60</b>	<b>4.52</b>	<b>4.41</b>	<b>4.33</b>	<b>4.25</b>	<b>4.17</b>	<b>4.12</b>	<b>4.05</b>	<b>4.01</b>	<b>3.96</b>	<b>3.93</b>	<b>3.91</b>	20	

n <sub>2</sub>	5 % (normal) y 1 % (negritas) puntos para la distribución de F																				n <sub>2</sub>				
	n <sub>1</sub> grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75		100	200	500	∞
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.74	2.70	2.65	2.61	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.43	2.42	2.40	11
	<b>9.65</b>	<b>7.21</b>	<b>6.22</b>	<b>5.67</b>	<b>5.32</b>	<b>5.07</b>	<b>4.89</b>	<b>4.74</b>	<b>4.63</b>	<b>4.54</b>	<b>4.46</b>	<b>4.40</b>	<b>4.29</b>	<b>4.21</b>	<b>4.10</b>	<b>4.02</b>	<b>3.94</b>	<b>3.86</b>	<b>3.81</b>	<b>3.74</b>	<b>3.71</b>	<b>3.66</b>	<b>3.62</b>	<b>3.60</b>	12
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.64	2.60	2.54	2.51	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.32	2.31	2.30	12
	<b>9.33</b>	<b>6.93</b>	<b>5.95</b>	<b>5.41</b>	<b>5.06</b>	<b>4.82</b>	<b>4.64</b>	<b>4.50</b>	<b>4.39</b>	<b>4.30</b>	<b>4.22</b>	<b>4.16</b>	<b>4.05</b>	<b>3.97</b>	<b>3.86</b>	<b>3.78</b>	<b>3.70</b>	<b>3.62</b>	<b>3.57</b>	<b>3.50</b>	<b>3.47</b>	<b>3.41</b>	<b>3.38</b>	<b>3.36</b>	13
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.55	2.51	2.46	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.22	2.21	13
	<b>9.07</b>	<b>6.70</b>	<b>5.74</b>	<b>5.21</b>	<b>4.86</b>	<b>4.62</b>	<b>4.44</b>	<b>4.30</b>	<b>4.19</b>	<b>4.10</b>	<b>4.02</b>	<b>3.96</b>	<b>3.86</b>	<b>3.78</b>	<b>3.66</b>	<b>3.59</b>	<b>3.51</b>	<b>3.43</b>	<b>3.38</b>	<b>3.31</b>	<b>3.27</b>	<b>3.22</b>	<b>3.19</b>	<b>3.17</b>	14
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.48	2.44	2.39	2.35	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.14	2.13	14
	<b>8.86</b>	<b>6.51</b>	<b>5.56</b>	<b>5.04</b>	<b>4.69</b>	<b>4.46</b>	<b>4.28</b>	<b>4.14</b>	<b>4.03</b>	<b>3.94</b>	<b>3.86</b>	<b>3.80</b>	<b>3.70</b>	<b>3.62</b>	<b>3.51</b>	<b>3.43</b>	<b>3.35</b>	<b>3.27</b>	<b>3.22</b>	<b>3.15</b>	<b>3.11</b>	<b>3.06</b>	<b>3.03</b>	<b>3.00</b>	15
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.42	2.38	2.33	2.29	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	15
	<b>8.68</b>	<b>6.36</b>	<b>5.42</b>	<b>4.89</b>	<b>4.56</b>	<b>4.32</b>	<b>4.14</b>	<b>4.00</b>	<b>3.89</b>	<b>3.80</b>	<b>3.73</b>	<b>3.67</b>	<b>3.56</b>	<b>3.49</b>	<b>3.37</b>	<b>3.29</b>	<b>3.21</b>	<b>3.13</b>	<b>3.08</b>	<b>3.01</b>	<b>2.98</b>	<b>2.92</b>	<b>2.89</b>	<b>2.87</b>	16
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.37	2.33	2.28	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.04	2.02	2.01	16
	<b>8.53</b>	<b>6.23</b>	<b>5.29</b>	<b>4.77</b>	<b>4.44</b>	<b>4.20</b>	<b>4.03</b>	<b>3.89</b>	<b>3.78</b>	<b>3.69</b>	<b>3.62</b>	<b>3.55</b>	<b>3.45</b>	<b>3.37</b>	<b>3.26</b>	<b>3.18</b>	<b>3.10</b>	<b>3.02</b>	<b>2.97</b>	<b>2.90</b>	<b>2.86</b>	<b>2.81</b>	<b>2.78</b>	<b>2.75</b>	17
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.33	2.29	2.23	2.19	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.99	1.97	1.96	17
	<b>8.40</b>	<b>6.11</b>	<b>5.19</b>	<b>4.67</b>	<b>4.34</b>	<b>4.10</b>	<b>3.93</b>	<b>3.79</b>	<b>3.68</b>	<b>3.59</b>	<b>3.52</b>	<b>3.46</b>	<b>3.35</b>	<b>3.27</b>	<b>3.16</b>	<b>3.08</b>	<b>3.00</b>	<b>2.92</b>	<b>2.87</b>	<b>2.80</b>	<b>2.76</b>	<b>2.71</b>	<b>2.68</b>	<b>2.65</b>	18
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.25	2.19	2.15	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92	18
	<b>8.29</b>	<b>6.01</b>	<b>5.09</b>	<b>4.58</b>	<b>4.25</b>	<b>4.01</b>	<b>3.84</b>	<b>3.71</b>	<b>3.60</b>	<b>3.51</b>	<b>3.43</b>	<b>3.37</b>	<b>3.27</b>	<b>3.19</b>	<b>3.08</b>	<b>3.00</b>	<b>2.92</b>	<b>2.84</b>	<b>2.78</b>	<b>2.71</b>	<b>2.68</b>	<b>2.62</b>	<b>2.59</b>	<b>2.57</b>	19
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88	19
	<b>8.18</b>	<b>5.93</b>	<b>5.01</b>	<b>4.50</b>	<b>4.17</b>	<b>3.94</b>	<b>3.77</b>	<b>3.63</b>	<b>3.52</b>	<b>3.43</b>	<b>3.36</b>	<b>3.30</b>	<b>3.19</b>	<b>3.12</b>	<b>3.00</b>	<b>2.92</b>	<b>2.84</b>	<b>2.76</b>	<b>2.71</b>	<b>2.64</b>	<b>2.60</b>	<b>2.55</b>	<b>2.51</b>	<b>2.49</b>	20
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.22	2.18	2.12	2.08	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.88	1.86	1.84	20
	<b>8.10</b>	<b>5.85</b>	<b>4.94</b>	<b>4.43</b>	<b>4.10</b>	<b>3.87</b>	<b>3.70</b>	<b>3.56</b>	<b>3.46</b>	<b>3.37</b>	<b>3.29</b>	<b>3.23</b>	<b>3.13</b>	<b>3.05</b>	<b>2.94</b>	<b>2.86</b>	<b>2.78</b>	<b>2.69</b>	<b>2.64</b>	<b>2.57</b>	<b>2.54</b>	<b>2.48</b>	<b>2.44</b>	<b>2.42</b>	21
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.16	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.84	1.83	1.81	21
	<b>8.02</b>	<b>5.78</b>	<b>4.87</b>	<b>4.37</b>	<b>4.04</b>	<b>3.81</b>	<b>3.64</b>	<b>3.51</b>	<b>3.40</b>	<b>3.31</b>	<b>3.24</b>	<b>3.17</b>	<b>3.07</b>	<b>2.99</b>	<b>2.88</b>	<b>2.80</b>	<b>2.72</b>	<b>2.64</b>	<b>2.58</b>	<b>2.51</b>	<b>2.48</b>	<b>2.42</b>	<b>2.38</b>	<b>2.36</b>	22
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.17	2.13	2.07	2.03	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.82	1.80	1.78	22
	<b>7.95</b>	<b>5.72</b>	<b>4.82</b>	<b>4.31</b>	<b>3.99</b>	<b>3.76</b>	<b>3.59</b>	<b>3.45</b>	<b>3.35</b>	<b>3.26</b>	<b>3.18</b>	<b>3.12</b>	<b>3.02</b>	<b>2.94</b>	<b>2.83</b>	<b>2.75</b>	<b>2.67</b>	<b>2.58</b>	<b>2.53</b>	<b>2.46</b>	<b>2.42</b>	<b>2.36</b>	<b>2.33</b>	<b>2.31</b>	23
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.15	2.11	2.05	2.01	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.76	23
	<b>7.88</b>	<b>5.66</b>	<b>4.76</b>	<b>4.26</b>	<b>3.94</b>	<b>3.71</b>	<b>3.54</b>	<b>3.41</b>	<b>3.30</b>	<b>3.21</b>	<b>3.14</b>	<b>3.07</b>	<b>2.97</b>	<b>2.89</b>	<b>2.78</b>	<b>2.70</b>	<b>2.62</b>	<b>2.54</b>	<b>2.48</b>	<b>2.41</b>	<b>2.37</b>	<b>2.32</b>	<b>2.28</b>	<b>2.26</b>	24
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.13	2.09	2.03	1.98	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77	1.75	1.73	24
	<b>7.82</b>	<b>5.61</b>	<b>4.72</b>	<b>4.22</b>	<b>3.90</b>	<b>3.67</b>	<b>3.50</b>	<b>3.36</b>	<b>3.26</b>	<b>3.17</b>	<b>3.09</b>	<b>3.03</b>	<b>2.93</b>	<b>2.85</b>	<b>2.74</b>	<b>2.66</b>	<b>2.58</b>	<b>2.49</b>	<b>2.44</b>	<b>2.37</b>	<b>2.33</b>	<b>2.27</b>	<b>2.24</b>	<b>2.21</b>	25
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.11	2.07	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75	1.73	1.71	25
	<b>7.77</b>	<b>5.57</b>	<b>4.68</b>	<b>4.18</b>	<b>3.85</b>	<b>3.63</b>	<b>3.46</b>	<b>3.32</b>	<b>3.22</b>	<b>3.13</b>	<b>3.06</b>	<b>2.99</b>	<b>2.89</b>	<b>2.81</b>	<b>2.70</b>	<b>2.62</b>	<b>2.54</b>	<b>2.45</b>	<b>2.40</b>	<b>2.33</b>	<b>2.29</b>	<b>2.23</b>	<b>2.19</b>	<b>2.17</b>	26
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.09	2.05	1.99	1.95	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73	1.71	1.69	26
	<b>7.72</b>	<b>5.53</b>	<b>4.64</b>	<b>4.14</b>	<b>3.82</b>	<b>3.59</b>	<b>3.42</b>	<b>3.29</b>	<b>3.18</b>	<b>3.09</b>	<b>3.02</b>	<b>2.96</b>	<b>2.86</b>	<b>2.78</b>	<b>2.66</b>	<b>2.58</b>	<b>2.50</b>	<b>2.42</b>	<b>2.36</b>	<b>2.29</b>	<b>2.25</b>	<b>2.19</b>	<b>2.16</b>	<b>2.13</b>	27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.08	2.04	1.97	1.93	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.71	1.69	1.67	27
	<b>7.68</b>	<b>5.49</b>	<b>4.60</b>	<b>4.11</b>	<b>3.78</b>	<b>3.56</b>	<b>3.39</b>	<b>3.26</b>	<b>3.15</b>	<b>3.06</b>	<b>2.99</b>	<b>2.93</b>	<b>2.82</b>	<b>2.75</b>	<b>2.63</b>	<b>2.55</b>	<b>2.47</b>	<b>2.38</b>	<b>2.33</b>	<b>2.26</b>	<b>2.22</b>	<b>2.16</b>	<b>2.12</b>	<b>2.10</b>	28
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.06	2.02	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.69	1.67	1.65	28
	<b>7.64</b>	<b>5.45</b>	<b>4.57</b>	<b>4.07</b>	<b>3.75</b>	<b>3.53</b>	<b>3.36</b>	<b>3.23</b>	<b>3.12</b>	<b>3.03</b>	<b>2.96</b>	<b>2.90</b>	<b>2.79</b>	<b>2.72</b>	<b>2.60</b>	<b>2.52</b>	<b>2.44</b>	<b>2.35</b>	<b>2.30</b>	<b>2.23</b>	<b>2.19</b>	<b>2.13</b>	<b>2.09</b>	<b>2.06</b>	29
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.05	2.01	1.94	1.90	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.67	1.65	1.64	29
	<b>7.60</b>	<b>5.42</b>	<b>4.54</b>	<b>4.04</b>	<b>3.73</b>	<b>3.50</b>	<b>3.33</b>	<b>3.20</b>	<b>3.09</b>	<b>3.00</b>	<b>2.93</b>	<b>2.87</b>	<b>2.77</b>	<b>2.69</b>	<b>2.57</b>	<b>2.49</b>	<b>2.41</b>	<b>2.33</b>	<b>2.27</b>	<b>2.20</b>	<b>2.16</b>	<b>2.10</b>	<b>2.06</b>	<b>2.03</b>	30
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.04	1.99	1.93	1.89	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.66	1.64	1.62	30
	<b>7.56</b>	<b>5.39</b>	<b>4.51</b>	<b>4.02</b>	<b>3.70</b>	<b>3.47</b>	<b>3.30</b>	<b>3.17</b>	<b>3.07</b>	<b>2.98</b>	<b>2.91</b>	<b>2.84</b>	<b>2.74</b>	<b>2.66</b>	<b>2.55</b>	<b>2.47</b>	<b>2.39</b>	<b>2.30</b>	<b>2.25</b>	<b>2.17</b>	<b>2.13</b>	<b>2.07</b>	<b>2.03</b>	<b>2.01</b>	32
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.01	1.97	1.91	1.86	1.82	1.77	1.74	1.69	1.67	1.63	1.61	1.59	32
	<b>7.50</b>	<b>5.34</b>	<b>4.46</b>	<b>3.97</b>	<b>3.65</b>	<b>3.43</b>	<b>3.26</b>	<b>3.13</b>	<b>3.02</b>	<b>2.93</b>	<b>2.86</b>	<b>2.80</b>	<b>2.70</b>	<b>2.62</b>	<b>2.50</b>	<b>2.42</b>	<b>2.34</b>	<b>2.25</b>	<b>2.20</b>	<b>2.12</b>	<b>2.08</b>	<b>2.02</b>	<b>1.98</b>	<b>1.96</b>	32

$n_2$	5% (normal) y 1% (negritas) puntos para la distribución de F																					$n_2$			
	n1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100		200	500	$\infty$
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	1.99	1.95	1.89	1.84	1.80	1.75	1.71	1.67	1.65	1.61	1.59	1.57	34
	<b>7.44</b>	<b>5.29</b>	<b>4.42</b>	<b>3.93</b>	<b>3.61</b>	<b>3.39</b>	<b>3.22</b>	<b>3.09</b>	<b>2.98</b>	<b>2.89</b>	<b>2.82</b>	<b>2.76</b>	<b>2.66</b>	<b>2.58</b>	<b>2.46</b>	<b>2.38</b>	<b>2.30</b>	<b>2.21</b>	<b>2.16</b>	<b>2.08</b>	<b>2.04</b>	<b>1.98</b>	<b>1.94</b>	<b>1.91</b>	36
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.87	1.82	1.78	1.73	1.69	1.65	1.62	1.59	1.56	1.55	36
	<b>7.40</b>	<b>5.25</b>	<b>4.38</b>	<b>3.89</b>	<b>3.57</b>	<b>3.35</b>	<b>3.18</b>	<b>3.05</b>	<b>2.95</b>	<b>2.86</b>	<b>2.79</b>	<b>2.72</b>	<b>2.62</b>	<b>2.54</b>	<b>2.43</b>	<b>2.35</b>	<b>2.26</b>	<b>2.18</b>	<b>2.12</b>	<b>2.04</b>	<b>2.00</b>	<b>1.94</b>	<b>1.90</b>	<b>1.87</b>	38
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.96	1.92	1.85	1.81	1.76	1.71	1.68	1.63	1.61	1.57	1.54	1.53	38
	<b>7.35</b>	<b>5.21</b>	<b>4.34</b>	<b>3.86</b>	<b>3.54</b>	<b>3.32</b>	<b>3.15</b>	<b>3.02</b>	<b>2.92</b>	<b>2.83</b>	<b>2.75</b>	<b>2.69</b>	<b>2.59</b>	<b>2.51</b>	<b>2.40</b>	<b>2.32</b>	<b>2.23</b>	<b>2.14</b>	<b>2.09</b>	<b>2.01</b>	<b>1.97</b>	<b>1.90</b>	<b>1.86</b>	<b>1.84</b>	40
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.95	1.90	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.55	1.53	1.51	40
	<b>7.31</b>	<b>5.18</b>	<b>4.31</b>	<b>3.83</b>	<b>3.51</b>	<b>3.29</b>	<b>3.12</b>	<b>2.99</b>	<b>2.89</b>	<b>2.80</b>	<b>2.73</b>	<b>2.66</b>	<b>2.56</b>	<b>2.48</b>	<b>2.37</b>	<b>2.29</b>	<b>2.20</b>	<b>2.11</b>	<b>2.06</b>	<b>1.98</b>	<b>1.94</b>	<b>1.87</b>	<b>1.83</b>	<b>1.81</b>	42
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.60	1.57	1.53	1.51	1.49	42
	<b>7.28</b>	<b>5.15</b>	<b>4.29</b>	<b>3.80</b>	<b>3.49</b>	<b>3.27</b>	<b>3.10</b>	<b>2.97</b>	<b>2.86</b>	<b>2.78</b>	<b>2.70</b>	<b>2.64</b>	<b>2.54</b>	<b>2.46</b>	<b>2.34</b>	<b>2.26</b>	<b>2.18</b>	<b>2.09</b>	<b>2.03</b>	<b>1.95</b>	<b>1.91</b>	<b>1.85</b>	<b>1.80</b>	<b>1.78</b>	44
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.92	1.88	1.81	1.77	1.72	1.67	1.63	1.59	1.56	1.52	1.49	1.48	44
	<b>7.25</b>	<b>5.12</b>	<b>4.26</b>	<b>3.78</b>	<b>3.47</b>	<b>3.24</b>	<b>3.08</b>	<b>2.95</b>	<b>2.84</b>	<b>2.75</b>	<b>2.68</b>	<b>2.62</b>	<b>2.52</b>	<b>2.44</b>	<b>2.32</b>	<b>2.24</b>	<b>2.15</b>	<b>2.07</b>	<b>2.01</b>	<b>1.93</b>	<b>1.89</b>	<b>1.82</b>	<b>1.78</b>	<b>1.75</b>	46
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.91	1.87	1.80	1.76	1.71	1.65	1.62	1.57	1.55	1.51	1.48	1.46	46
	<b>7.22</b>	<b>5.10</b>	<b>4.24</b>	<b>3.76</b>	<b>3.44</b>	<b>3.22</b>	<b>3.06</b>	<b>2.93</b>	<b>2.82</b>	<b>2.73</b>	<b>2.66</b>	<b>2.60</b>	<b>2.50</b>	<b>2.42</b>	<b>2.30</b>	<b>2.22</b>	<b>2.13</b>	<b>2.04</b>	<b>1.99</b>	<b>1.91</b>	<b>1.86</b>	<b>1.80</b>	<b>1.76</b>	<b>1.73</b>	48
48	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.90	1.86	1.79	1.75	1.70	1.64	1.61	1.56	1.54	1.49	1.47	1.45	48
	<b>7.19</b>	<b>5.08</b>	<b>4.22</b>	<b>3.74</b>	<b>3.43</b>	<b>3.20</b>	<b>3.04</b>	<b>2.91</b>	<b>2.80</b>	<b>2.71</b>	<b>2.64</b>	<b>2.58</b>	<b>2.48</b>	<b>2.40</b>	<b>2.28</b>	<b>2.20</b>	<b>2.12</b>	<b>2.02</b>	<b>1.97</b>	<b>1.89</b>	<b>1.84</b>	<b>1.78</b>	<b>1.73</b>	<b>1.70</b>	50
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.89	1.85	1.78	1.74	1.69	1.63	1.60	1.55	1.52	1.48	1.46	1.44	50
	<b>7.17</b>	<b>5.06</b>	<b>4.20</b>	<b>3.72</b>	<b>3.41</b>	<b>3.19</b>	<b>3.02</b>	<b>2.89</b>	<b>2.78</b>	<b>2.70</b>	<b>2.63</b>	<b>2.56</b>	<b>2.46</b>	<b>2.38</b>	<b>2.27</b>	<b>2.18</b>	<b>2.10</b>	<b>2.01</b>	<b>1.95</b>	<b>1.87</b>	<b>1.82</b>	<b>1.76</b>	<b>1.71</b>	<b>1.68</b>	55
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.88	1.83	1.76	1.72	1.67	1.61	1.58	1.53	1.50	1.46	1.43	1.41	55
	<b>7.12</b>	<b>5.01</b>	<b>4.16</b>	<b>3.68</b>	<b>3.37</b>	<b>3.15</b>	<b>2.98</b>	<b>2.85</b>	<b>2.75</b>	<b>2.66</b>	<b>2.59</b>	<b>2.53</b>	<b>2.42</b>	<b>2.34</b>	<b>2.23</b>	<b>2.15</b>	<b>2.06</b>	<b>1.97</b>	<b>1.91</b>	<b>1.83</b>	<b>1.78</b>	<b>1.71</b>	<b>1.67</b>	<b>1.64</b>	60
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.86	1.82	1.75	1.70	1.65	1.59	1.56	1.51	1.48	1.44	1.41	1.39	60
	<b>7.08</b>	<b>4.98</b>	<b>4.13</b>	<b>3.65</b>	<b>3.34</b>	<b>3.12</b>	<b>2.95</b>	<b>2.82</b>	<b>2.72</b>	<b>2.63</b>	<b>2.56</b>	<b>2.50</b>	<b>2.39</b>	<b>2.31</b>	<b>2.20</b>	<b>2.12</b>	<b>2.03</b>	<b>1.94</b>	<b>1.88</b>	<b>1.79</b>	<b>1.75</b>	<b>1.68</b>	<b>1.63</b>	<b>1.60</b>	65
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.85	1.80	1.73	1.69	1.63	1.58	1.54	1.49	1.46	1.42	1.39	1.37	65
	<b>7.04</b>	<b>4.95</b>	<b>4.10</b>	<b>3.62</b>	<b>3.31</b>	<b>3.09</b>	<b>2.93</b>	<b>2.80</b>	<b>2.69</b>	<b>2.61</b>	<b>2.53</b>	<b>2.47</b>	<b>2.37</b>	<b>2.29</b>	<b>2.17</b>	<b>2.09</b>	<b>2.00</b>	<b>1.91</b>	<b>1.85</b>	<b>1.77</b>	<b>1.72</b>	<b>1.65</b>	<b>1.60</b>	<b>1.57</b>	70
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.84	1.79	1.72	1.67	1.62	1.57	1.53	1.48	1.45	1.40	1.37	1.35	70
	<b>7.01</b>	<b>4.92</b>	<b>4.07</b>	<b>3.60</b>	<b>3.29</b>	<b>3.07</b>	<b>2.91</b>	<b>2.78</b>	<b>2.67</b>	<b>2.59</b>	<b>2.51</b>	<b>2.45</b>	<b>2.35</b>	<b>2.27</b>	<b>2.15</b>	<b>2.07</b>	<b>1.98</b>	<b>1.89</b>	<b>1.83</b>	<b>1.74</b>	<b>1.70</b>	<b>1.62</b>	<b>1.57</b>	<b>1.54</b>	80
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.82	1.77	1.70	1.65	1.60	1.54	1.51	1.45	1.43	1.38	1.35	1.33	80
	<b>6.96</b>	<b>4.88</b>	<b>4.04</b>	<b>3.56</b>	<b>3.26</b>	<b>3.04</b>	<b>2.87</b>	<b>2.74</b>	<b>2.64</b>	<b>2.55</b>	<b>2.48</b>	<b>2.42</b>	<b>2.31</b>	<b>2.23</b>	<b>2.12</b>	<b>2.03</b>	<b>1.94</b>	<b>1.85</b>	<b>1.79</b>	<b>1.70</b>	<b>1.65</b>	<b>1.58</b>	<b>1.53</b>	<b>1.50</b>	100
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.79	1.75	1.68	1.63	1.57	1.52	1.48	1.42	1.39	1.34	1.31	1.28	100
	<b>6.90</b>	<b>4.82</b>	<b>3.98</b>	<b>3.51</b>	<b>3.21</b>	<b>2.99</b>	<b>2.82</b>	<b>2.69</b>	<b>2.59</b>	<b>2.50</b>	<b>2.43</b>	<b>2.37</b>	<b>2.27</b>	<b>2.19</b>	<b>2.07</b>	<b>1.98</b>	<b>1.89</b>	<b>1.80</b>	<b>1.74</b>	<b>1.65</b>	<b>1.60</b>	<b>1.52</b>	<b>1.47</b>	<b>1.43</b>	125
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.77	1.73	1.66	1.60	1.55	1.49	1.45	1.40	1.36	1.31	1.27	1.25	125
	<b>6.84</b>	<b>4.78</b>	<b>3.94</b>	<b>3.47</b>	<b>3.17</b>	<b>2.95</b>	<b>2.79</b>	<b>2.66</b>	<b>2.55</b>	<b>2.47</b>	<b>2.39</b>	<b>2.33</b>	<b>2.23</b>	<b>2.15</b>	<b>2.03</b>	<b>1.94</b>	<b>1.85</b>	<b>1.76</b>	<b>1.69</b>	<b>1.60</b>	<b>1.55</b>	<b>1.47</b>	<b>1.41</b>	<b>1.37</b>	150
150	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.76	1.71	1.64	1.59	1.54	1.48	1.44	1.38	1.34	1.29	1.25	1.22	150
	<b>6.81</b>	<b>4.75</b>	<b>3.91</b>	<b>3.45</b>	<b>3.14</b>	<b>2.92</b>	<b>2.76</b>	<b>2.63</b>	<b>2.53</b>	<b>2.44</b>	<b>2.37</b>	<b>2.31</b>	<b>2.20</b>	<b>2.12</b>	<b>2.00</b>	<b>1.92</b>	<b>1.83</b>	<b>1.73</b>	<b>1.66</b>	<b>1.57</b>	<b>1.52</b>	<b>1.43</b>	<b>1.38</b>	<b>1.33</b>	200
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88	1.84	1.80	1.74	1.69	1.62	1.57	1.52	1.46	1.41	1.35	1.32	1.26	1.22	1.19	200
	<b>6.76</b>	<b>4.71</b>	<b>3.88</b>	<b>3.41</b>	<b>3.11</b>	<b>2.89</b>	<b>2.73</b>	<b>2.60</b>	<b>2.50</b>	<b>2.41</b>	<b>2.34</b>	<b>2.27</b>	<b>2.17</b>	<b>2.09</b>	<b>1.97</b>	<b>1.89</b>	<b>1.79</b>	<b>1.69</b>	<b>1.63</b>	<b>1.53</b>	<b>1.48</b>	<b>1.39</b>	<b>1.33</b>	<b>1.28</b>	400
400	3.86	3.02	2.63	2.39	2.24	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.78	1.72	1.67	1.60	1.54	1.49	1.42	1.38	1.32	1.28	1.22	1.17	1.13	400
	<b>6.70</b>	<b>4.66</b>	<b>3.83</b>	<b>3.37</b>	<b>3.06</b>	<b>2.85</b>	<b>2.68</b>	<b>2.56</b>	<b>2.45</b>	<b>2.37</b>	<b>2.29</b>	<b>2.23</b>	<b>2.13</b>	<b>2.05</b>	<b>1.92</b>	<b>1.84</b>	<b>1.75</b>	<b>1.64</b>	<b>1.58</b>	<b>1.48</b>	<b>1.42</b>	<b>1.32</b>	<b>1.25</b>	<b>1.19</b>	1000
1000	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.84	1.80	1.76	1.70	1.65	1.58	1.53	1.47	1.41	1.36	1.30	1.26	1.19	1.13	1.08	1000
	<b>6.66</b>	<b>4.63</b>	<b>3.80</b>	<b>3.34</b>	<b>3.04</b>	<b>2.82</b>	<b>2.66</b>	<b>2.53</b>	<b>2.43</b>	<b>2.34</b>	<b>2.27</b>	<b>2.20</b>	<b>2.10</b>	<b>2.02</b>	<b>1.90</b>	<b>1.81</b>	<b>1.72</b>	<b>1.61</b>	<b>1.54</b>	<b>1.44</b>	<b>1.38</b>	<b>1.28</b>	<b>1.19</b>	<b>1.12</b>	$\infty$
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.69	1.64	1.57	1.52	1.46	1.39	1.35	1.28	1.24	1.17	1.11	1.00	$\infty$
	<b>6.63</b>	<b>4.61</b>	<b>3.78</b>	<b>3.32</b>	<b>3.02</b>	<b>2.80</b>	<b>2.64</b>	<b>2.51</b>	<b>2.41</b>	<b>2.32</b>	<b>2.25</b>	<b>2.18</b>	<b>2.08</b>	<b>2.00</b>	<b>1.88</b>	<b>1.79</b>	<b>1.70</b>	<b>1.59</b>	<b>1.52</b>	<b>1.42</b>	<b>1.36</b>	<b>1.25</b>	<b>1.15</b>	<b>1.00</b>	$\infty$