



**MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES
INTENDENCIA DE RECURSOS HÍDRICOS**



**ADMINISTRACION TECNICA DEL DISTRITO DE RIEGO
OCOÑA-PAUSA**

“EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO OCOÑA”

ESTUDIO HIDROLOGICO

INFORME FINAL

Ocoña, Enero 2007

RESUMEN EJECUTIVO

I.	ASPECTOS GENERALES.....	8
1.1	INTRODUCCION	8
1.2	ANTECEDENTES	8
1.3	OBJETIVOS	8
1.3.1	General.....	8
1.3.2	Específico	8
1.4	JUSTIFICACION	9
1.5	CONCEPTOS GENERALES.....	9
1.6	INFORMACIÓN BÁSICA.....	14
1.6.1	Cartografía.....	14
1.6.2	Datos Meteorológicos e Hidrológicos	14
1.7	METODOLOGIA.....	18
1.7.1	Trabajos de campo.....	18
1.7.2	Trabajos de gabinete.....	18
II.	DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA.....	20
2.1	UBICACIÓN	20
2.2	UBICACIÓN ADMINISTRATIVA O JURISDICCIONAL.....	23
2.3	ACCESIBILIDAD Y VIAS DE COMUNICACIÓN	23
2.4	ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS	25
2.4.1	Demografía.....	25
2.4.2	Caracterización socio-económica.....	29
2.5	CLIMA	31
2.6	ECOLOGIA.....	33
2.6.1	Zonas de vida	33
2.7	GEOLOGIA	39
2.7.1	Precámbrico	39
2.7.2	Paleozoico.....	39
2.7.3	Mesozoico	40
2.7.4	Cenozoico.....	42
2.7.5	Rocas Ígneas.....	50
2.8	SUELOS.....	54
2.8.1	Grandes Grupos Edáficos y su aptitud de uso dominante	54
2.8.2	Asociaciones de grandes grupos	55
2.9	GEOMORFOLOGIA	57
2.9.1	Descripción de la cuenca	57
2.9.2	Tipificación de la cuenca	57
2.9.3	Parámetros geomorfológicos.....	60
2.9.4	Relación Área – Altitud	66
2.9.5	Altitudes Características.....	69
2.9.6	Sistema de drenaje.....	70
2.10	RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES	72
III.	PLUVIOMETRIA	74
3.1	RED DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS	74
3.2	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACION.....	77
3.2.1	El Método del Vector Regional (MVR).....	77
3.2.2	Análisis de la precipitación	78
3.3	RELACIÓN PRECIPITACIÓN – ALTITUD	85
3.4	PRECIPITACION MEDIA EN LA CUENCA	88
3.4.1	MÉTODOS DE ESTIMACION	88
3.4.2	Precipitación Anual.....	91
3.4.3	Precipitación Mensual	94

IV. TEMPERATURA Y EVAPOTRANSPIRACION.....	99
4.1 TEMPERATURA	99
4.1.1 Análisis de la Temperatura	99
4.1.2 Relación entre la Temperatura – Altitud	100
4.1.3 Temperatura media en la cuenca	102
4.1.4 Temperatura media anual y mensual	102
4.1.5 Variación estacional de la Temperatura	104
4.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL – ETP	106
4.2.1 Evapotranspiración Potencial Mensual y Anual	107
4.2.2 Evapotranspiración media en la cuenca.....	108
V. CAUDALES	110
5.1 Red hidrométrica	110
5.2 Registros de caudales y análisis de la información.....	111
VI. MODELIZACION PRECIPITACIÓN-ESCORRENTIA.....	115
6.1 MODELO PRECIPITACIÓN – ESCORRENTÍA (GR2M)	115
6.2 APLICACIÓN DEL MODELO GR2M.....	117
6.3 RESULTADOS DEL MODELO	118
VII. ANALISIS DE FRECUENCIAS	123
7.1 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS	123
7.1.1 Método de la envolvente de Creager	123
7.1.2 Curvas envolventes – Método Grádex	125
7.2 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE VALORES MEDIOS	130
7.2.1 Distribución de caudales medios mensuales	130
7.3 ANÁLISIS DE SEQUÍAS	132
7.3.1 Cuantificación y descripción de las sequías críticas	132
VIII. USO Y DEMANDA HIDRICA DEL AGUA	134
8.1 DEMANDA DE AGUA AGRÍCOLA EN VALLE DE OCOÑA	134
8.2 DEMANDA DE AGUA POBLACIONAL	135
8.3 DEMANDA TOTAL DE AGUA PARA EL VALLE DEL RÍO OCOÑA.....	136
IX. BALANCE HIDRICO	137
9.1 DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO OCOÑA.....	137
9.2 DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LAS SUBCUENCAS DEL RÍO OCOÑA...	140
9.3 BALANCE HÍDRICO POR SUBCUENCAS.....	142
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
10.1 CONCLUSIONES.....	146
10.2 RECOMENDACIONES	147
XI. BIBLIOGRAFIA	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación del Ciclo Hidrológico.....	9
Figura 1.2: Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma.....	10
Figura 1.3: Tipos de Precipitación según su origen.....	10
Figura 1.3: Componentes de la evapotranspiración.....	11
Figura 1.4: Cálculo de la ETr a partir de la ETP.....	11
Figura 1.4: Aforos en el río Ocoña.....	12
Figura 1.5: Principales componentes del agua que intervienen en los conceptos de detención, escorrentía superficial y subterránea.....	13
Figura 2.1: Organigrama de la gestión en la cuenca del río Ocoña.....	23
Figura 2.2: Distribución porcentual de la población por departamentos en la cuenca del río Ocoña.....	25
Figura 2.3: Mapa de Pobreza del Perú 2006.....	29
Figura 2.4: Perfil Longitudinal del Río Ocoña.....	62
Figura 2.5: Perfil Longitudinal del Río Marán.....	63
Figura 2.6: Perfil Longitudinal del Río Cotahuasi.....	63
Figura 2.7: Perfil Longitudinal del Río Chichas-Arma.....	64
Figura 2.8: Perfil Longitudinal del Río Ocoña (Subcuenca Ocoña).....	64
Figura 2.9: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias para la cuenca del río Ocoña.....	66
Figura 2.10: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias para la subcuenca Ocoña.....	67
Figura 2.11: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias para la subcuenca Chichas-Arma.....	67
Figura 2.12: Curva Hipsométrica y polígono de frecuencias para la subcuenca Cotahuasi.....	68
Figura 2.13: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de la subcuenca Marán.....	68
Figura 2.14: Curva Hipsométrica y polígono de frecuencias de la subcuenca Parinacochas.....	69
Figura 2.15: Porcentaje de fuentes de agua en la cuenca del río Ocoña, según tipo de fuentes.....	72
Figura 2.16: Esquema Hídrico de la cuenca del río Ocoña.....	73
Figura 3.1: Zonas homogéneas de pluviometría en la cuenca del río Ocoña.....	79
Figura 3.2: Índices anuales iniciales del vector y las estaciones para la Zona 2.....	80
Figura 3.3: Curva de dobles acumulados- estación Salamanca.....	80
Figura 3.4: Variabilidad de las desviaciones – estación Salamanca.....	81
Figura 3.5: Análisis de quiebres en dobles acumulados- estación Salamanca.....	81
Figura 3.6: Vector regional Zona 2 – Índices anuales y de las estaciones.....	82
Figura 3.7: Curva de dobles acumulados- Zona 2.....	82
Figura 3.8: Vector regional Zona 3 – Índices anuales y de las estaciones.....	83
Figura 3.9: Curva de dobles acumulados- Zona 3.....	84
Figura 3.10: Láminas de precipitación en milímetros para el año promedio por estaciones.....	86
Figura 3.11: Correlaciones altitud / precipitación de las estaciones de la cuenca del río Ocoña.....	87
Figura 3.12: Precipitación total anual para el periodo 1965 – 2005.....	92
Figura 3.13: Precipitación total mensual para las subcuencas del río Ocoña.....	95
Figura 4.1: Temperatura media mensual por estaciones.....	100

Figura 4.2: Relación Temperatura media anual – Altitud.....	101
Figura 4.3: Relación Temperatura media época de Avenidas – Altitud.....	101
Figura 4.4: Relación Temperatura media época de estiaje – Altitud	101
Figura 4.5: Temperaturas medias mensuales para la cuenca del río Ocoña	104
Figura 4.6: Temperatura media anual y estacional para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas.....	104
Figura 4.7: Evapotranspiración Potencial Mensual por estaciones	107
Figura 5.1: Ubicación de la cuenca del río Camaná Majes	111
Figura 5.2: Valores normalizados de precipitación media de la cuenca y caudales de las estaciones hidrológicas Puente Ocoña y Huatiapa.....	112
Figura 5.3: Correlación entre los caudales de las estaciones Puente Ocoña y Huatiapa	113
Figura 5.4: Valores normalizados de precipitación media de la cuenca del río Ocoña y los caudales medios mensuales corregidos de la estación Puente Ocoña.....	113
Figura 5.3: Caudales medios mensuales corregidos de la estación Puente Ocoña.....	114
Figura 6.1: Esquema de transformación de precipitación a caudal	115
Figura 6.2: Arquitectura del Modelo GR2M de Mouelhi (2003)	116
Figura 6.3: Hidrograma de caudales observados y simulados para la cuenca del río Ocoña.....	118
Figura 6.4: Correlación entre caudales observados y calculados	119
Figura 6.3: Caudal medio mensual calculado y observado para el año promedio	120
Figura 6.4: Serie de caudales medios mensuales contruidos para el periodo 1965-2005	120
Figura 6.5: Caudales medios mensuales para la cuenca del río Ocoña (1965-2005).....	122
Figura 7.1: Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú	124
Figura 7.2: Caudales diarios con período de retorno de 100 años calculados por el método Grádex Cuencas: Chicama a Caplina.....	126
Figura 7.3: Caudales diarios con período de retorno de 20 años calculados por el método Grádex Cuencas: Grande a Caplina.....	127
Figura 7.4: Caudales diarios con período de retorno de 10 años calculados por el método Grádex Cuencas: Grande a Caplina.....	128
Figura 7.5: Curva de duración de caudales medios anuales –Cuenca río Ocoña.....	130
Figura 7.6: Persistencia de caudales medios mensuales - Cuenca río Ocoña	131
Figura 7.7: Caudales medios mensuales normalizados (Runs) y determinación de sequías	133
Figura 9.2: Balance hídrico para la cuenca del río Ocoña – Cabecera de valle	139
Figura 9.3: Caudales medios mensuales de las subcuencas del río Ocoña	141
Figura 10.4: Déficit de escorrentía en la subcuenca Marán	143
Figura 10.5: Déficit de escorrentía en la subcuenca Cotahuasi	143
Figura 10.6: Déficit de escorrentía en la subcuenca Chichas-Arma	144

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1: Estaciones pluviométricas.....	14
Cuadro 1.2: Disponibilidad de datos pluviométricos	16
Cuadro 1.3: Estación Hidrológica	16
Cuadro 1.4: Disponibilidad de datos de caudales.....	16
Cuadro 1.5: Estaciones climatológicas	17
Cuadro 1.6: Disponibilidad de datos climatológicos	17
Cuadro 2.1 Demarcación política de la cuenca del río Ocoña.....	20
Cuadro 2.2: Población censada en la cuenca del río Ocoña.....	27
Cuadro 2.3 Población estimada para los años 1995-2000 y 2006*	28
Cuadro 2.4: Los grandes grupos de suelos y su aptitud de uso dominante	54
Cuadro 2.5: Delimitación Hidrográfica Cuenca del Río Ocoña.....	58
Cuadro 2.6: Principales parámetros geomorfológicos para la cuenca del río Ocoña	65
Cuadro 2.6: Altitudes características para la cuenca del río Ocoña y subcuencas	69
Cuadro 2.7: Clasificación ordinal de ríos por clase y por subcuencas	70
Cuadro 2.8: Distribución de Fuentes de agua por subcuenca.....	72
Cuadro 3.1: Red de estaciones pluviométricas	74
Cuadro 3.2: Disponibilidad de datos pluviométricos	75
Cuadro 3.3: Precipitaciones medias calculadas y principales parámetros del vector para la Zona 2	83
Cuadro 3.4: Precipitaciones medias calculadas y principales parámetros del vector para la Zona 3	84
Cuadro 3.5: Precipitación media total anual y mensual.....	86
Cuadro 3.6: Precipitación total anual para el periodo 1965 – 2005.....	91
Cuadro 3.7: Precipitación total mensual para el año promedio	95
Cuadro 3.8: Precipitación total mensual de la cuenca del río Ocoña periodo 1965-2005.....	96
Cuadro 4.1: Temperatura media mensual por estaciones.....	99
Cuadro 4.2: Temperatura media mensual y anual para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas.....	102
Cuadro 4.3: Evapotranspiración potencial mensual y anual por estaciones	107
Cuadro 4.4: Evapotranspiración Potencial mensual y anual por subcuencas	108
Cuadro 5.1: Ubicación de la estación hidrológica Puente Ocoña.....	110
Cuadro 5.2: Ubicación de la estación hidrológica Huatiapa	111
Cuadro 5.3: Caudales medios mensuales en m3/s corregidos de la estación Puente Ocoña	114
Cuadro 6.1: Valores óptimos para el modelo y criterios de calidad.....	118
Cuadro 6.2: Caudales medios mensuales calculados a partir del modelo GR2M para la estación Puente Ocoña ..	119
Cuadro 6.3: Caudales medios mensuales para la cuenca del río Ocoña (calc.+obs.)	121
Cuadro 7.1: Constantes regionales del Perú para el método de Creager	123
Cuadro 7.2: Caudales máximos instantáneos para la cuenca de Ocoña y subcuencas Método de la envolvente de Creager	125
Cuadro 7.3: Caudales máximos instantáneos para la cuenca de Ocoña y subcuencas Método de curvas envolventes Grádex	129

Cuadro 7.4: Caudales medios anuales para diferentes persistencias – Cuenca río Ocoña.....	130
Cuadro 7.5: Caudales medios mensuales para diferentes persistencias – Cuenca río Ocoña.....	131
Cuadro 8.6: Análisis de sequías críticas – Método del Run negativo	132
Cuadro 8.1: Demanda anual de agua agrícola del valle del río Ocoña	134
Cuadro 8.2: Demanda teórica poblacional para la cuenca del río Ocoña.	135
Cuadro 8.3 Demanda media mensual de agua en el valle de Ocoña	136
Cuadro 9.1: Volúmenes disponibles para la cuenca del río Ocoña (estación Pte. Ocoña)	137
Cuadro 9.2: Disponibilidad hídrica en cabecera de valle – Cuenca del río Ocoña.....	138
Cuadro 9.3: Porcentaje de demanda y superavit en la cuenca del río Ocoña.....	139
Cuadro 9.4: Caudal medio mensual por subcuencas del río Ocoña	140
Cuadro 9.5: Caudal específico medio mensual por subcuenca del río Ocoña	140
Cuadro 9.5: Caudal específico medio mensual por subcuenca del río Ocoña	141
Cuadro 9.6: Lámina de escorrentía media mensual para las subcuencas del río Ocoña	142
Cuadro 9.7: Déficit hídrico medio mensual para las subcuencas del río Ocoña	142

LISTA DE MAPAS

1. Mapa de ubicación política y geográfica
2. Mapa de base
3. Mapa demarcación política
4. Mapa de demarcación administrativa
5. Mapa Vial
6. Mapa Climático
7. Mapa Ecológico
8. Mapa Geológico
9. Mapa de grandes grupos de suelos y capacidad de uso
10. Mapa de cuenca y subcuencas
11. Mapa Hidrográfico y clasificación ordinal de ríos
12. Mapa de Estaciones hidrométricas y pluviométricas
13. Mapa de Isoyetas: Precipitación media anual
- 14.1 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes enero
- 14.2 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes febrero
- 14.3 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes marzo
- 14.4 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes abril
- 14.5 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes mayo
- 14.6 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes junio
- 14.7 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes julio
- 14.8 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes agosto
- 14.9 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes septiembre
- 14.10 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes octubre
- 14.11 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes noviembre
- 14.12 Mapa de isoyetas – Precipitación media mes diciembre
15. Mapa de Isotermas
- 16.1 Mapa de isotermas estacionales – Época de estiaje
- 16.2 Mapa de isotermas estacionales – Época de avenidas
17. Mapa de evapotranspiración potencial media anual
18. Mapa de disponibilidad hídrica
19. Mapa de estaciones hidrométricas propuestas

I. ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION

La cuenca del río Ocoña se encuentra ubicada al sur del Perú, entre los departamentos de Arequipa y Ayacucho, siendo las principales actividades económicas de la cuenca la agricultura, la minería y la pesca artesanal. El crecimiento de las diferentes actividades económicas en la cuenca así el incremento de la población ha contribuido al incremento de la demanda del agua y por ende es de vital importancia conocer en la actualidad la disponibilidad del agua en la cuenca.

La Administración Técnica del Distrito de Riego Ocoña-Pausa (ATDR Ocoña-Pausa), es la entidad encargada de administrar y promover la gestión integral del agua en la cuenca del río Ocoña. Surgida la necesidad de conocer actualmente cual es la disponibilidad del agua en esta cuenca la Intendencia de Recursos Hídricos (IRH) del INRENA, la ATDR Ocoña-Pausa han decidido en coordinación con las organizaciones de usuarios llevar a cabo el presente estudio “Evaluación de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Ocoña”, que se encuentra integrado por dos componentes: *“Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Ocoña”* e *“Inventario de fuentes de agua superficial”*

La información obtenida del presente estudio permitirá obtener información sobre el volumen de agua neta en la cuenca, el volumen de agua deficitaria o en excedente en cada mes, lo cual permitirá una adecuada planificación y gestión del agua en la cuenca.

1.2 ANTECEDENTES

En el Perú desde la década de los años 60, se han iniciado estudios hidrológicos para la evaluación y cuantificación de los recursos hídricos en cuencas de mayor y menor importancia para el desarrollo agropecuario de nuestro país.

En el año 1,975, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales-ONERN, conciente de la importancia que tiene el conocimiento de estado actual y potencial de los recursos naturales realizó el estudio: “Inventario y evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa, cuencas de los ríos Ático, Caravelí y Ocoña”; siendo este estudio el que constituye el principal antecedente para el estudio hidrológico de la cuenca de Ocoña.

Así mismo en el año 2004, el Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua – PROFODUA Valle Ocoña, realizó una evaluación preliminar de la disponibilidad del recurso hídrico en el valle de Ocoña.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Generar una herramienta técnica para la planificación y gestión integral del agua en la cuenca del río Ocoña

1.3.2 Específico

Estimar la disponibilidad neta mensual del recurso hídrico en la cuenca del río Ocoña a través del Balance Hídrico

1.4 JUSTIFICACION

En la actualidad la demanda del recurso hídrico en la cuenca del río Ocoña es cada vez mayor. La principal consecuencia de este incremento en la demanda, es la escasez del agua principalmente en las épocas de estiaje; la cual a su vez genera conflictos entre los usuarios de la cuenca y problemas en la eficiente distribución del recurso hídrico. He aquí que surge la necesidad de conocer y cuantificar los recursos hídricos en la cuenca del río Ocoña.

El presente estudio evaluará las condiciones hidrológicas y meteorológicas de la cuenca del río Ocoña, con el fin de conocer su comportamiento y caracterizar cada una de las variables del ciclo hidrológico. Una vez realizado este proceso, se determinará el Balance Hídrico de la cuenca, que nos permitirá conocer la disponibilidad del recurso hídrico durante todos los meses del año así como su uso y distribución en la cuenca.

Dicho balance, nos permitirá conocer y planificar un adecuado manejo a nivel espacial y temporal del agua superficial, así como en qué forma y medida es actualmente usada.

1.5 CONCEPTOS GENERALES

➤ Ciclo Hidrológico

Es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) en su forma (agua superficial, sub-superficial, subterránea, etc.) (Chereque, 1989).

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). [Ver figura 1.1](#)

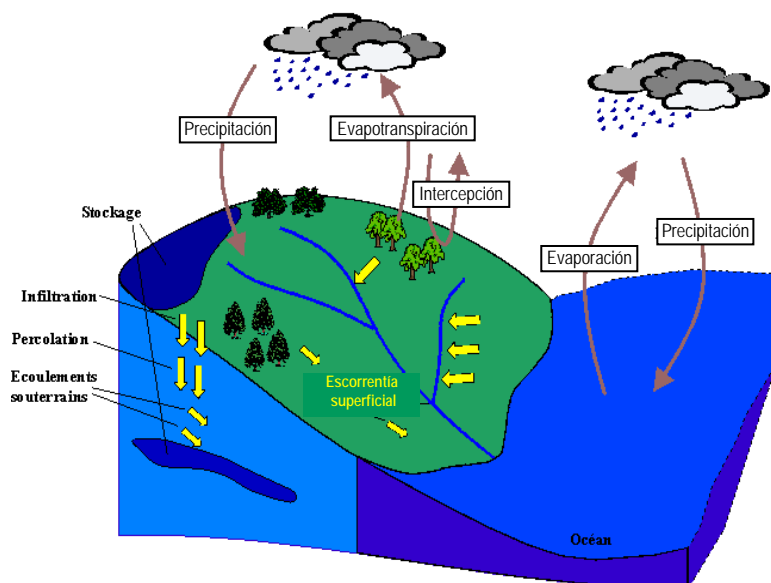


Figura 1.1 Representación del Ciclo Hidrológico

Fuente: Musy, André, 2001. Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement

➤ Año hidrológico

Período continuo de doce meses seleccionados de manera que los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo que la cantidad sobrante de un año al siguiente, se reduce al mínimo. En el Perú, el año hidrológico empieza en el mes de Setiembre y termina en el mes de Agosto del año siguiente. (SENAMHI, 2005)

➤ Hidrograma

Un hidrograma es la representación gráfica de la variación del caudal de un río en función del tiempo. Igualmente el hidrograma esta en función de las precipitaciones que puedan ocurrir en la cuenca y de las características físicas de ella, tal como se observa en la [Figura 1.2](#), donde dependiendo de la forma de la cuenca y la pendiente pueden generar diferentes tipos de hidrogramas los cuales nos indican el tiempo de respuesta de la cuenca.

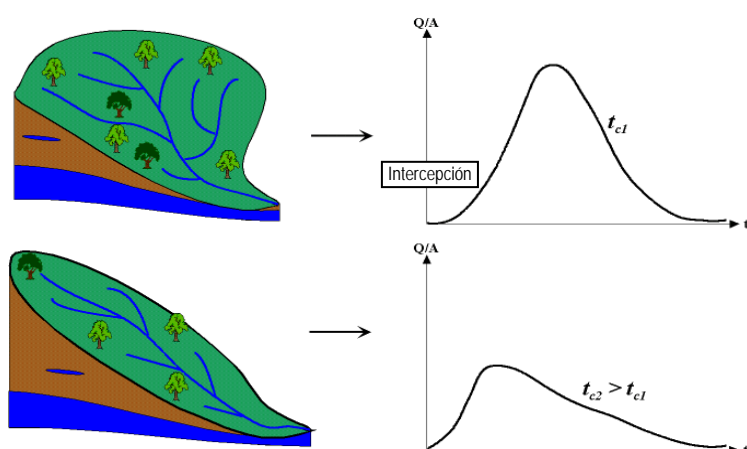


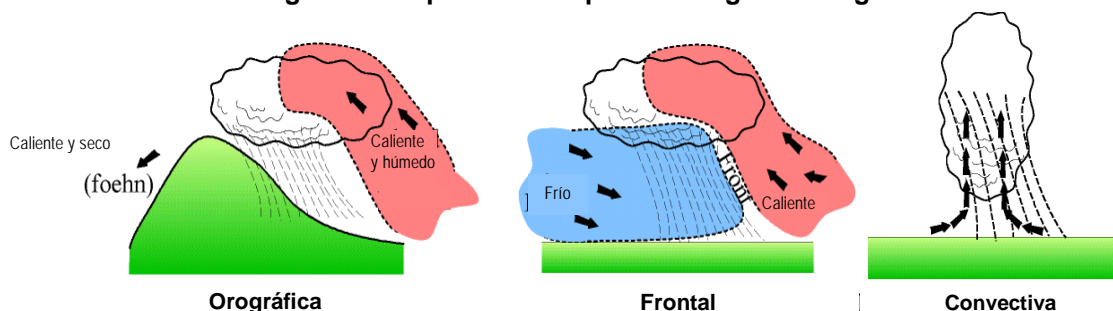
Figura 1.2: Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma.

Fuente: Musy, André, 2001. Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement

➤ Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc) y sólida (nieve, granizo, etc) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001). Estas las podemos clasificar según su origen como pueden ser: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales. [Figura 1.3](#).

Figura 1.3: Tipos de Precipitación según su origen



Fuente: Musy, André, 2001. Cours "Hydrologie générale"

➤ Evapotranspiración

Proceso mediante el cual el agua pasa de un estado líquido a un estado gaseoso a través de la transferencia de energía calorífica. Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas.

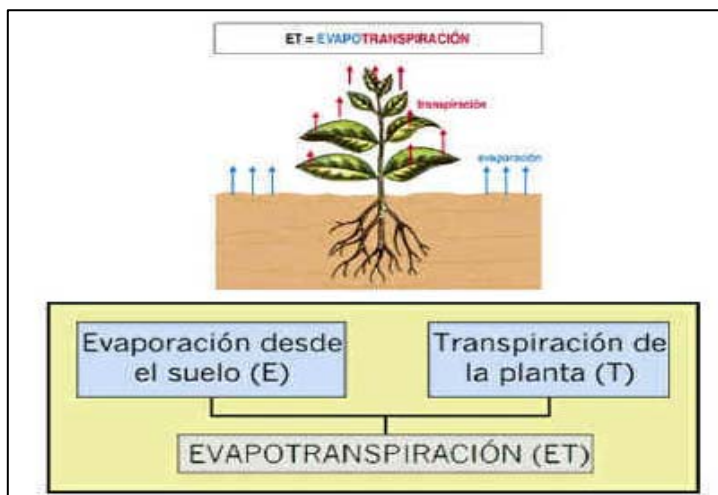


Figura 1.3: Componentes de la evapotranspiración

Fuente: Elriego.com. Cálculo de las necesidades diarias de agua, 2001

➤ Evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial es la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar, que corresponde a un cultivo libre de enfermedades, bien fertilizado, campos extensos en crecimiento, bajo condiciones óptima de agua en el suelo. El método de Penman – Monteith es usado para la estimación del cultivo de referencia standard y determinar el valor de la evapotranspiración potencial ETP. Experimentalmente se determinó la razón de evapotranspiración real (ETr) y ETP, llamado coeficiente de cultivo (Kc), que es usado para hallar la ETr, con la relación $ETr = Kc * ETP$. La FAO, recomienda el método de Penman – Monteith solamente para determinar la ETP.

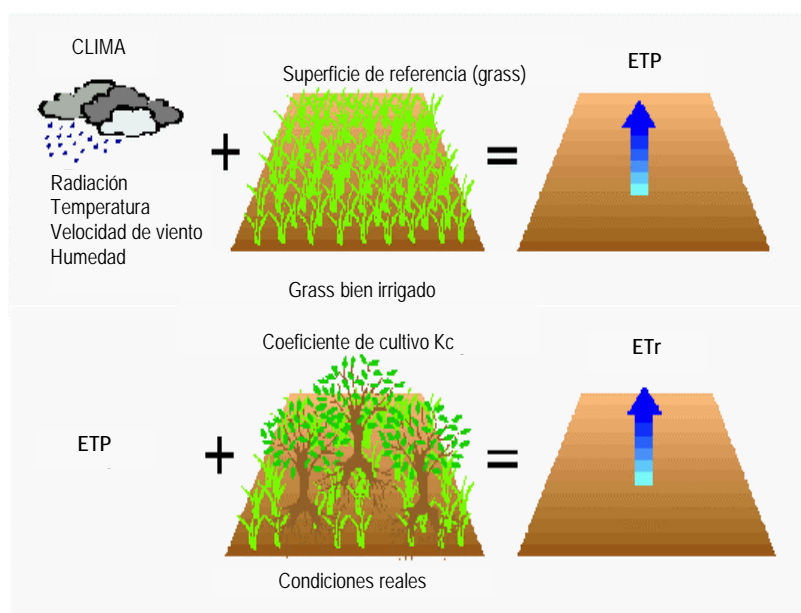


Figura 1.4: Cálculo de la ETr a partir de la ETP

Fuente: Musy, André, 2001. Cours "Hydrologie générale"

➤ **Aforo**

Operación por la cual se miden las velocidades, profundidades y anchuras de las corrientes para determinar el caudal, mediante la utilización de un instrumento denominado correntómetro.



Figura 1.4: Aforos en el río Ocoña.

➤ **Caudal**

Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo.

➤ **Escorrentía superficial**

Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. En realidad la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí, por tal motivo se debe tener cuidado en seleccionar el modelo adecuado para cada caso. (Ver [Figura 1.5](#)).

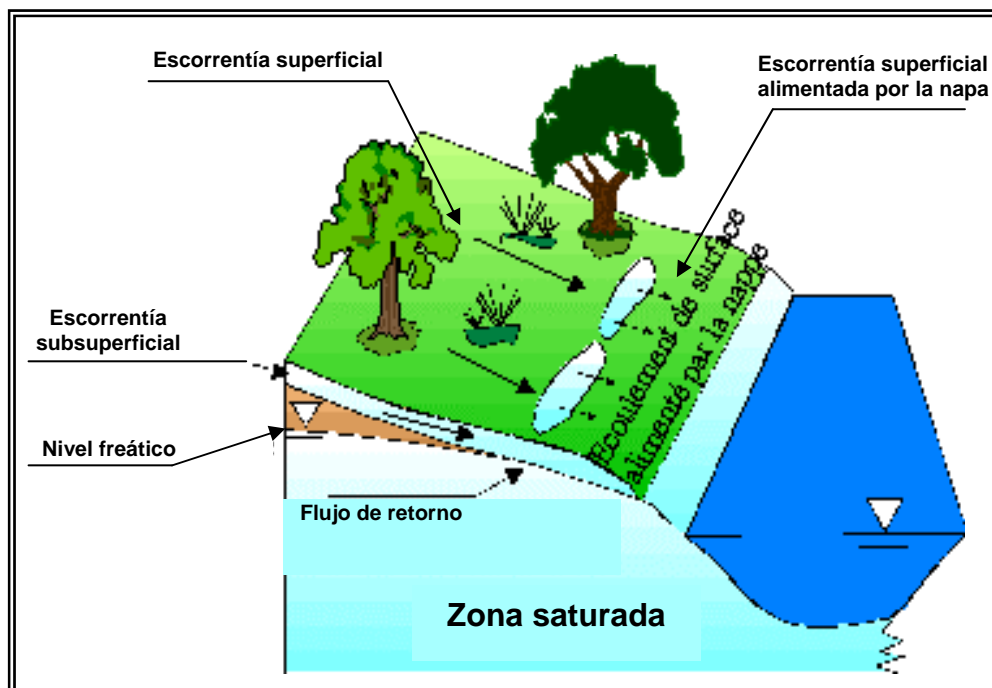
➤ **Escorrentía subsuperficial**

Es el agua que ha sido previamente infiltrada y no alcanza el almacenamiento subterráneo o acuífero, por lo tanto debe ser considerada.

➤ **Flujo base**

El flujo base, también llamado caudal base, es la porción de agua derivada del almacenamiento subterráneo ó de otras aguas que se han retrasado en el tiempo y finalmente alcanzan el cauce (Sing, 1989).

Figura 1.5: Principales componentes del agua que intervienen en los conceptos de detención, escorrentía superficial y subterránea



Fuente: Musy, André, 2001. Cours "Hydrologie générale"

➤ **Balance hídrico**

Balance de entrada y salidas de agua en una zona hidrológica bien definida, tal como un embalse, un lago, o una cuenca, teniendo en cuenta el déficit o superávit de agua acumulada.

Según Estrela, 1992; las entradas a la ecuación detallada del balance hídrico comprenden la precipitación total (P), como lluvia y nieve que alcanza el terreno, y las importaciones de agua exteriores al sistema, superficial (I_{ms}) y subterráneas (I_{ma}). Las salidas incluyen la evapotranspiración (ET_r) y los flujos superficiales (A) y subterráneos (F) que salen de los límites de la cuenca y el total de agua almacenada en el territorio (S). Pudiéndose expresar mediante la siguiente expresión:

$$P + I_{ms} + I_{ma} - ET - A - F - \Delta S = 0$$

➤ **Cuenca hidrográfica**

Unidad territorial en la cual el agua que precipita se reúne y escurre al mismo río, lago o mar.

➤ **Subcuenca**

Unidad de menor superficie que una cuenca y forma parte de esta, constituyendo un tributario de la misma, o sea una cuenca que sale o que drena a una cuenca más grande.

➤ **Curva Hipsométrica**

Representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de las áreas correspondientes

1.6 INFORMACIÓN BÁSICA

1.6.1 Cartografía

Para construir una base digital de la cuenca del río Ocoña se ha tenido como base las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional –IGN (Escala: 1/100000):30-o, 30-p, 30-q, 30-r, 31-o, 31-p, 31-q, 31-r, 32-p, 32-q, 33-p, 33-q. Así mismo información digital obtenida de Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA.

La información base de vías de comunicación se ha tomado del mapa vial de Arequipa elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

La principal fuente de información para la elaboración de los mapas base (ecológico, geológico, suelos) es el estudio de Evaluación de Recursos Naturales en la Región Arequipa (descripción textual e información cartográfica digital) realizado por la Oficina de Gestión Ambiental Transectorial, Evaluación e Información de Recursos Naturales del INRENA, y complementariamente el estudio “Inventario, Evaluación y Uso racional de los Recursos Naturales de la Costa, cuencas de los ríos Ático, Caravelí y Ocoña”, elaborado por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN - 1975).

1.6.2 Datos Meteorológicos e Hidrológicos

La información hidrometeorológica se ha obtenido de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Cabe resaltar que hemos encontrado una red de estaciones pluviométrica y climatológica muy débil en la cuenca y con periodos de tiempo muy intermitentes, y en cuanto a la información hidrológica solo se cuenta con el registro de caudales de una sola estación (estación Puente Ocoña).

➤ Precipitación

En el Cuadro 1.1 podemos observar las 16 estaciones pluviométricas donde hemos encontrado datos. Se muestra su ubicación, altitud, periodo de información disponible y el porcentaje de datos faltantes en el periodo.

Cuadro 1.1: Estaciones pluviométricas

Nombre	Cuenca	Río	Latitud Sur (°)	Longitud Oeste (°)	Altitud m.s.n.m	Fecha Inicio	Fecha Final	Datos faltantes %	GESTION
Ocoña	Ocoña	Ocoña	16.43	73.10	58	ene-65	dic-79	5.0	SENAMHI
Urasqui	Ocoña	Ocoña	16.03	73.17	330	ene-65	dic-75	0.0	SENAMHI
Pausa	Ocoña	Marán	15.28	73.25	2530	ene-65	dic-05	29.9	SENAMHI
Tomepampa	Ocoña	Cotahuasi	15.18	72.83	2650	ene-65	dic-89	3.7	SENAMHI
Cotahuasi	Ocoña	Cotahuasi	15.40	72.88	2883	ene-64	dic-05	18.9	SENAMHI
Lampa	Ocoña	Marán	15.18	73.35	2715	ene-65	dic-05	26.3	SENAMHI
Yanaquihua	Ocoña	Ocoña	15.28	73.25	2530	ene-66	dic-05	0.8	SENAMHI
Salamanca	Ocoña	Arma	15.50	72.83	3203	ene-65	dic-05	0.0	SENAMHI
Incuyo	Ocoña	Marán	15.25	73.57	3298	ene-65	dic-82	9.8	SENAMHI
Puvca	Ocoña	Cotahuasi	15.06	72.67	3362	ene-65	dic-87	21.8	SENAMHI
Chinchavllapa	Ocoña	Cotahuasi	14.92	72.73	4100	ene-65	dic-05	10.0	SENAMHI
Urayhuma	Ocoña	Cotahuasi	14.93	72.91	4101	ene-65	dic-79	3.4	SENAMHI
Lucanas	Acari	Acari	14.62	74.23	3400	ene-65	dic-02	6.8	SENAMHI
Carhuaniillas	Yauca	Yauca	15.13	73.73	3000	ene-68	dic-87	25.1	SENAMHI
Chaviña	Yauca	Yauca	14.98	73.83	3310	ene-64	dic-81	4.6	SENAMHI
Orcopampa	Camaná	Camaná	15.25	72.33	3779	ene-67	dic-05	4.4	SENAMHI



En el Cuadro 1.2 podemos ver detalladamente la disponibilidad de datos pluviométricos encontrados en la base de datos de SENAMHI, en color celeste son los años completos, en azul los datos incompletos y el número de datos faltantes en el periodo, y finalmente en color rojo los datos donde no hay datos.

Cuadro 1.2: Disponibilidad de datos pluviométricos

Nombre	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
OCONA								2						1	1	2																											
URASQUI																																											
PAUSA																					1				2			5	1	2	2		4	5			1			1			
TOMEPA																						1	2	3																			
COTAHUASI	3							3						3						3		1			3				3			2					1			1			
LAMPA																																											
YANAQUIHUA																																											
SALAMANCA																																											
INCUYO								2	4			4				4																											
PUICA																																											
CHINCHAYLLAPA			6				1																2			1									5		2				1		
URAYHUMA		1							1			2	1																														
LUCANAS*				4	2		2											1											2					1									
CARHUANILLAS*															1				1				6																				
CHAVIÑA*		1		2	1					1					1																												
ORCOPAMPA*				4		4																	1		2		2														1		

Datos completos

Datos incompletos

Sin datos

•

Estaciones en cuencas vecinas

➤ Caudales

La información de caudales en la cuenca es muy escasa, solamente existe una estación en la parte baja de la cuenca que posee un registro de caudales desde 1998. Los aforos de este río se realizaban desde el Puente Ocoña, A partir del mes de diciembre de 2005 se ha instalado un “carro-huaro” aguas abajo del puente, donde actualmente se realizan los aforos.

Cuadro 1.3: Estación Hidrológica

Nombre	Cuenca	Río	Latitud Sur (°)	Longitud Oeste (°)	Altitud m.s.n.m	Fecha Inicio	Fecha Final	Datos faltantes %	GESTION
Puente Ocoña	Ocoña	Ocoña	16.42	73.1	23	01/01/1998	01/12/2005	5.29	SENAMHI

En el cuadro 1.4, podemos observar que la información disponible en los 7 años de registros.

Cuadro 1.4: Disponibilidad de datos de caudales

Q(m ³ /s)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
OCOÑA						1	1	

Datos completos
 Datos incompletos
 Sin datos

➤ Clima

La información climática encontrada en la base de datos de SENAMHI para la cuenca del río Ocoña, es muy limitada, teniendo solo datos de temperatura y evaporación de tanque tipo A. Así mismo como la red de estaciones climáticas es muy débil hemos tomado en cuenta algunas estaciones climatológicas de cuencas vecinas.

Cuadro 1.5: Estaciones climatológicas

Nombre	Cuenca	Río	Latitud Sur (°)	Longitud Oeste (°)	Altitud m.s.n.m	Parámetros	GESTION
Pausa	Ocoña	Marán	15.3	73.3	2530	Temperatura Evaporación	SENAMHI
Yanaquihua	Ocoña	Ocoña	15.8	72.9	3130	Temperatura	SENAMHI
Salamanca	Ocoña	Arma	15.5	72.8	3203	Temperatura	SENAMHI
Machahuay	Camaná	Camaná	15.6	72.5	3150	Temperatura	SENAMHI
Cotahuasi	Ocoña	Cotahuasi	15.4	72.9	2883	Temperatura Evaporación	SENAMHI
Ocoña	Ocoña	Ocoña	16.4	73.1	58	Evaporación	SENAMHI
Caraveli	Caraveli	Caraveli	15.8	73.3	1779	Evaporación	SENAMHI

Cuadro 1.6: Disponibilidad de datos climatológicos

Temp		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	COTAHUASI														7			3					4							2					
2	OCOÑA						1	1	2																										
3	SALAMANCA																																		
4	YANAQUIHUA																											3		1				1	
5	MACHAHUAY																												3		1			1	
6	PAUSA			4							2			1			2					4		4						1	2				
Eto		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	COTAHUASI						3						10																						
2	OCOÑA						5	3																											
3	PAUSA			5														2			1	4	1	2		3					1				1
4	CARAVELI	1												1			1		1		2	6							3	2	1			2	1
			Datos completos				Datos incompletos				Sin datos																								



Datos completos



Datos incompletos



Sin datos

1.7 METODOLOGIA

1.7.1 Trabajos de campo

➤ Reconocimiento integral de la cuenca

Los trabajos de campo han consistido básicamente en el reconocimiento de la parte baja de la cuenca, la zona del valle de Ocoña, que es la zona con mayor demanda de agua en la cuenca

Lamentablemente la falta de tiempo y las difíciles condiciones de acceso, no han permitido realizar un reconocimiento mas amplia de la cuenca, sin embargo este problema se ha solucionado con la experiencia del personal de las Administración Técnica de Riego Ocoña-Pausa y las brigadas de campo que han realizado el inventario de fuentes de agua, que han brindado valiosa información de campo para la elaboración del presente estudio.

1.7.2 Trabajos de gabinete

➤ Recolección de datos

La fase de recolección de datos es la fase inicial y principal del estudio. La cantidad y la calidad de datos hidrometeorológicos a nivel diario, mensual y anual que podrían ser reunidos y tratados condicionan mucho el nivel de exactitud del estudio.

Las diferentes fuentes de información hidrometeorológica disponibles son: SENAMHI, e INRENA

Los criterios usados para la selección de las estaciones fueron: La longitud de la serie de datos, la representatividad de la estación y coherencia con su región (posición en la cuenca, altura, etc.) y estaciones utilizadas en otros estudios hidrometeorológicos anteriores. Debemos señalar que la selección de estaciones no se limita a las estaciones en funcionamiento, sino también a las estaciones paralizadas o clausuradas que disponen de un período largo de información.

Se revisaron y se constituyó una bibliografía con documentos de interés para el desarrollo del estudio. Los temas principales de las investigaciones bibliográficas lo constituyen básicamente los estudios hidrológicos de la cuenca del río Ocoña y de sus cuencas vecinas, así como de otros estudios relacionados con el recurso hídrico. Las informaciones contenidas en estos documentos fueron analizadas y sintetizadas, para extraer lo de interés para el estudio.

Los datos físicos y geomorfológicos de las cuencas fueron extraídos de la información cartográfica digital elaborado en el presente estudio y datos copilados que existen en el SIG de INRENA.

➤ Análisis del régimen hidrológico a nivel mensual y anual

Toda la información hidrometeorológica fue digitalizada, analizada y almacenada en una base de datos. Para ello se utilizó el software **Hydraccess** de distribución gratuita del IIRD (Institut du Recherche pour le Développement), desarrollado por Philippe VAUCHEL, ingeniero hidrólogo, en el marco de las unidades de investigación DIVAH (2000-2001) e HYBAM (2001 hasta la actualidad).

En la base, cada estación contiene un registro de características generales que reúne toda la información relativa a la estación y “n” registros de datos mensuales y/o diarios.

➤ **Análisis de Precipitación**

Para el análisis, homogenización y reconstitución de los datos de precipitación, hemos utilizado el Método del Vector Regional elaborado por G.Hiez y Brunet Moret.

Este es un método de crítica de datos (y accesoriamente de reconstitución de datos faltantes), elaborado en el ORSTOM-IRD en los años setenta, con el objeto de homogenizar los datos pluviométricos. Dentro del software Hydraces se encuentra un modulo para el calculo del Vector Regional.

Algunas publicaciones son disponibles en línea en el sitio Web en Francés del IRD (www.ird.fr) en la rúbrica Information Scientifique / Documentation / Documents / Horizons - Pleins_Textes, haciendo una búsqueda sobre los autores Brunet Moret o Hiez.

Luego de completar la información anual se ha procedido a estimar los valores mensuales para posteriormente estimar la precipitación media total mensual y precipitación media total anual.

Para determinar la distribución espacial de las precipitaciones hemos utilizado el método “precipitación/altitud” debido a que la red de estaciones es muy débil. Para ello hemos determinado usando la información cartográfica digital un valor promedio de lluvia para cada clase de altitud determinada. Luego para la representación gráfica hemos interpolado estas precipitaciones y elaborado los mapas de isoyetas.

➤ **Análisis de temperatura**

Se analizará las temperaturas a nivel anual y mensual, considerando los valores mínimos, máximos y medios. Así mismo se realizó el análisis regional y se determinó el gradiente térmico para la cuenca.

➤ **Estimación de la evapotranspiración (ETP)**

La estimación de esta variable se realizó mediante la aplicación de las fórmulas empíricas, que nos permitan hallar la ETP a partir de la temperatura o a partir de lecturas de evaporación de tanque tipo A.

➤ **Análisis del caudal y determinación de la esorrentía**

Debido a que solo disponemos de una estación con registros de caudales, hemos analizado de manera gráfica estos registros con las precipitaciones y se ha verificado si la información es consistente. Finalmente hemos completado esta información por correlación con los registros de caudales de una cuenca vecina.

Finalmente se ha utilizado un modelo lluvia-caudal de la familia GR (Génie Rural) desarrollados por la unidad de hidrología de Cemagref Anthony, (Centro de investigación Francés)

➤ **Balance hídrico**

Finalmente se ha determinado las demandas hídricas de la cuenca y finalmente se ha calculado el balance hídrico de la cuenca total y subcuencas del río Ocoña, a un paso de tiempo mensual.

II. DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA

2.1 UBICACIÓN

La cuenca del río Ocoña, pertenece a la vertiente del Pacífico (sus aguas drenan al océano Pacífico) y se encuentra ubicada en la zona sur del Perú.

Geográficamente se ubica entre los meridianos 72°20' y 74°00' de longitud Oeste, y entre los paralelos 14°15' y 16°30' de Latitud Sur.

Políticamente se encuentra ubicada dentro de los departamentos de Arequipa (provincias de La Unión, Caraveli, Condesuyos y Camaná), Ayacucho (provincias de Parinacochas y Paucar del Sara Sara) y Apurímac (provincias de Aymaraes). En el [Mapa 1](#) podemos observar la ubicación política y geográfica, y en el [Mapa 3](#) los límites políticos en la cuenca. En el [Cuadro 2.1](#) se describe la demarcación política de la cuenca.

Cuadro 2.1 Demarcación política de la cuenca del río Ocoña

Departamento	Provincia	Distrito	Área Km ²	Porcentaje (%)
Apurímac	Aimaraes	Cotaruse	425,0	2,66
Arequipa	Camaná	Mariano Nicolas Valcarcel	552,7	3,45
		Ocoña	315,1	1,97
	Caraveli	Cahuacho	312,2	1,95
	Condesuyos	Andaray	679,5	4,25
		Chichas	390,3	2,44
		Rio Grande	531,4	3,32
		Salamanca	1219,4	7,62
		Yanaquihua	1055,6	6,60
	La Unión	Cotahuasi	164,7	1,03
		Alca	191,3	1,20
		Charcana	163,1	1,02
		Huaynacotas	934,1	5,84
		Pampamarca	786,7	4,92
		Puyca	1377,7	8,61
		Quechualla	135,4	0,85
		Sayla	70,2	0,44
		Tauria	318,1	1,99
		Tomepampa	96,1	0,60
		Toro	525,6	3,29
Ayacucho	Parinacochas	Coracora	763,2	4,77
		Chumpi	167,4	1,05
		Coronel Castañeda	1078,2	6,74
		Pacapausa	146,9	0,92
		Pullo	123,1	0,77
		Puyusca	710,0	4,44
		San Francisco de Ravacayco	103,0	0,64
		Upahuacho	578,6	3,62
	Paucar del Sara Sara	Pausa	251,9	1,57
		Colta	247,9	1,55
		Corculla	101,3	0,63
		Lampa	282,6	1,77
		Marcabamba	120,9	0,76
		Oyolo	792,0	4,95
		Pararca	56,3	0,35
		San Javier de Alpabamba	116,6	0,73
		San Jose de Ushua	28,7	0,18
		Sara Sara	85,2	0,53





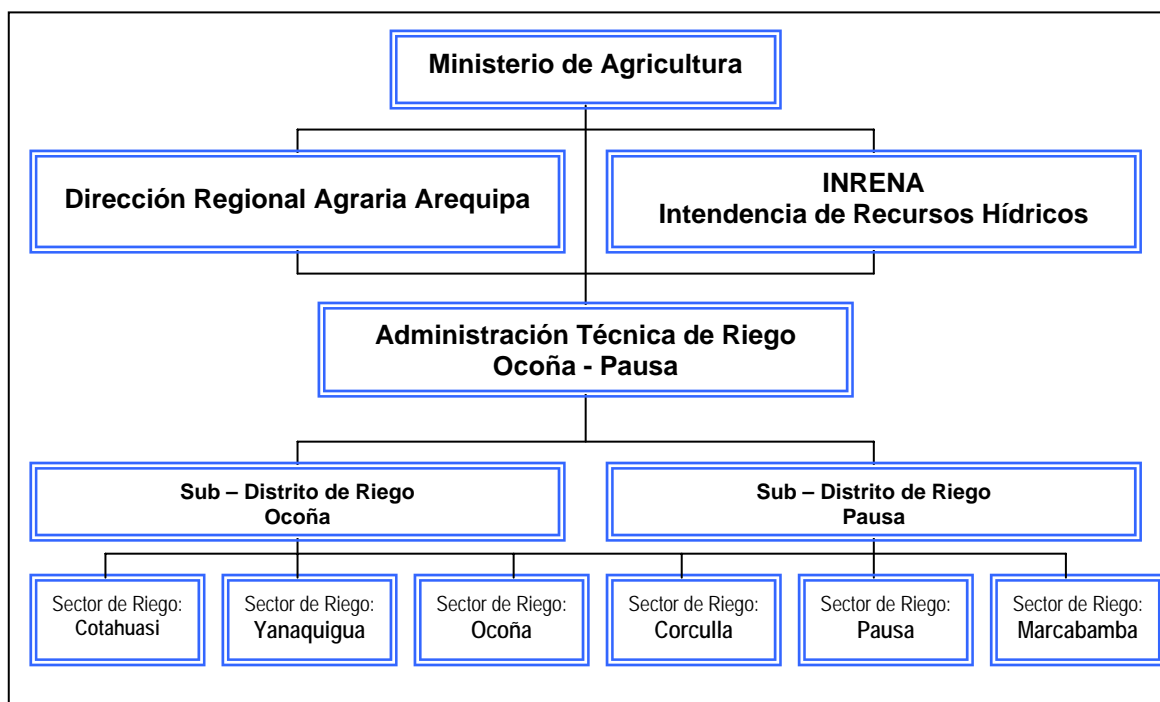
2.2 UBICACIÓN ADMINISTRATIVA O JURISDICCIONAL

La entidad administrativa que regula el uso de los recursos hídricos en la cuenca del Ocoña es la Administración Técnica del Distrito de Riego Ocoña-Pausa, dependiendo funcionalmente de la Intendencia de Recursos Hídricos del INRENA y administrativamente de la Dirección Regional Agraria de Arequipa.

El organigrama de las entidades que enmarcan la gestión en la cuenca del río Ocoña podemos observarlos en la [Figura 2.1](#).

En el [Mapa 4](#) muestra la delimitación jurisdiccional de la cuenca con fines administrativos en materia de uso agrícola del agua.

Figura 2.1: Organigrama de la gestión en la cuenca del río Ocoña



2.3 ACCESIBILIDAD Y VIAS DE COMUNICACIÓN

El acceso a la cuenca del río Ocoña en general es difícil, debido a la accidentada geografía que presenta en especial en altitudes por encima de los 2000 m.s.n.m., y la falta de vías de comunicación. La zona mas accesible es la parte baja denominada Valle de Ocoña, entre los 0 y 1000 m.s.n.m. El acceso hacia la zona del valle la encontramos a la altura del kilómetro 782 de la carretera Panamericana Sur (distrito de Ocoña), a partir de aquí se tiene acceso por medio de una trocha carrozable.

Para acceder a las partes altas de la cuenca es restringido, debido a que existen pocas vías de comunicación y el transporte publico es limitado. A continuación describimos como acceder a las ciudades más importantes de las subcuencas de los ríos Arma, Cotahuasi y Marán.

Partiendo del distrito de Ocoña (Ubicación de la ATDR Ocoña-Pausa), para acceder al poblado de Cotahuasi (Subcuenca Cotahuasi y Arma), debemos viajar hacia el sur e ingresar por la provincia de Camaná y viajar aproximadamente 15 horas en camioneta (378 Km. aproximadamente), la mayor parte sobre carreteras afirmadas y trochas carrozables. Este tiempo de viaje puede aumentar en transporte público, el cual a la vez es muy limitado.

Igualmente partiendo del distrito de Ocoña, para acceder al poblado de Pausa (Subcuenca Marán) debemos viajar hacia el Norte e ingresar por la provincia de Caraveli y viajar aproximadamente 10 horas en camioneta (245 Km. aproximadamente) la mayor sobre carreteras afirmadas y trocha carrozable). El transporte público a esta zona es aun más escaso debido a la frecuencia de buses y sus puntos de partida. Principalmente los buses que van hacia Pausa vienen de la ciudad de Lima con un promedio de 24 horas de viaje. Si partimos del distrito de Ocoña, debemos viajar primero hasta la ciudad de Nazca (326 Km. aproximadamente al norte de Ocoña) para luego poder encontrar buses con dirección a Pausa.

En el [Mapa 5](#) podemos observar las vías de comunicación que nos dan acceso a la cuenca del río Ocoña. Este mapa se ha elaborado tomando como fuente el mapa vial de Arequipa, publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones-MTC, actualizado a Diciembre del 2004 y disponible en su pagina web www.mtc.gob.pe. Adicionalmente se han actualizado algunas vías que según el plano del MTC se encuentran bajo la denominación “en proyecto” y que en la actualidad se encuentran en funcionamiento.

2.4 ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

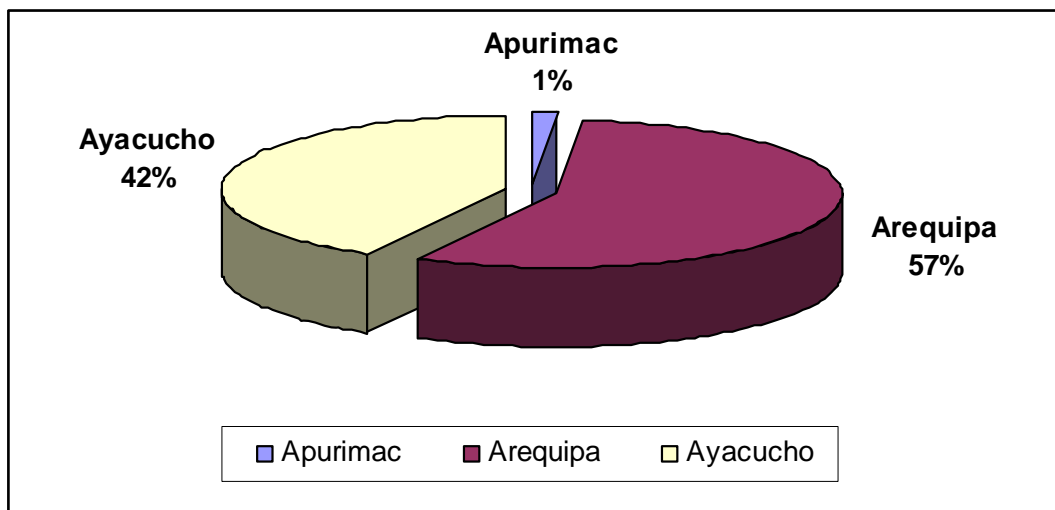
2.4.1 Demografía

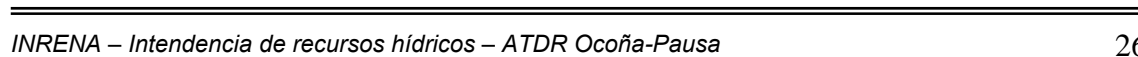
La población en la cuenca ha sido determinada teniendo en cuenta los datos de población distrital del censo nacional de 1993 publicado por el INEI y los porcentajes de superficie de cada distrito que se encuentran dentro de la cuenca del río Ocoña. En la [Figura 2.2](#) y [Cuadro 2.2](#) mostramos la distribución política de la población en la cuenca. La delimitación política de la cuenca se presenta en el [Mapa 3](#)

Según este censo la población en la cuenca es de 54 911 habitantes, donde el 42.6% es población urbana y 57.6% es población rural. La densidad poblacional calculada para la cuenca es de 3.43 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/Km²).

Debido a que aun no se publican los resultados del ultimo censo realizado por el INEI en el 2005; mostramos en el [Cuadro 2.3](#) las estimaciones publicadas por el INEI para los años 1995-2000 y adicionalmente hemos calculado en base a estas proyecciones la población estimada para el año 2006.

Figura 2.2: Distribución porcentual de la población por departamentos en la cuenca del río Ocoña.





Cuadro 2.2: Población censada en la cuenca del río Ocoña

Departamento	Provincia	Distrito	Población Total	Población Urbana	Población Rural	Porcentaje (%)
Apurímac	Aymaraes	Cotaruse	731	322	482	1,3
Arequipa	Camaná	Mariano Nicolás Valcarcel	1713	207	1506	3,1
		Ocoña	954	292	661	1,7
		Caraveli	187	54	133	0,3
	Condesuyos	Andaray	639	242	397	1,2
		Chichas	1148	193	955	2,1
		Río Grande	4785	3789	996	8,7
		Salamanca	1364	818	546	2,5
		Yanaquihua	3343	406	2937	6,1
	La Unión	Cotahuasi	3079	1467	1612	5,6
		Alca	2379	595	1784	4,3
		Charcana	822	453	369	1,5
		Huaynacotas	2797	1155	1642	5,1
		Pampamarca	1725	750	975	3,1
		Puyca	2664	556	2108	4,9
		Quechualla	361	55	306	0,7
		Sayla	412	77	335	0,8
		Tauria	372	210	162	0,7
		Tomepampa	986	393	593	1,8
		Toro	1443	396	1047	2,6
Ayacucho	Parinacochas	Coracora	6401	3874	2527	11,7
		Chumpi	1406	799	607	2,6
		Coronel Castañeda	576	70	506	1,0
		Pacapausa	448	58	390	0,8
		Pullo	252	27	224	0,5
		Puyusca	2521	713	1808	4,6
		San Francisco de Ravacayco	476	75	401	0,9
		Upahuacho	788	100	688	1,4
	Pauca del Sara Sara	Pausa	3035	1391	1644	5,5
		Colta	366	180	186	0,7
		Corculla	753	476	277	1,4
		Lampa	2103	1126	977	3,8
		Marcabamba	745	381	364	1,4
		Oyolo	1002	602	400	1,8
		Pararca	664	297	367	1,2
		San Javier de Alpabamba	446	65	381	0,8
		San José de Ushua	189	116	73	0,3
		Sara Sara	836	600	236	1,5
		TOTAL	54911	23381	31604	100

Fuente: Censo Nacional 1993 - INEI

Cuadro 2.3 Población estimada para los años 1995-2000 y 2006*

Departamento	Provincia	Distrito	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2006*
Apurímac	Aymaraes	Cotaruse	840	843	845	848	850	852	866
Arequipa	Camaná	Mariano Nicolas Valcarcel	2023	2169	2314	2458	2602	2748	3623
		Ocoña	988	992	995	997	999	1001	1017
	Caraveli	Cahuacho	180	175	170	165	161	158	130
	Condesuyos	Andaray	670	671	672	672	673	674	679
		Chichas	1186	1174	1164	1157	1150	1143	109
		Río Grande	5061	5205	5353	5490	5625	5760	6601
		Salamanca	1402	1390	1380	1371	1363	1355	1297
		Yanaquihua	3557	3600	3639	3680	3716	3754	3994
	La Union	Cotahuasi	3148	3103	3072	3044	3016	2990	2799
		Alca	2462	2408	2368	2328	2288	2263	2014
		Charcana	858	860	862	864	866	868	880
		Huaynacotas	2890	2877	2865	2847	2829	2804	2709
		Pampamarca	1789	1777	1764	1751	1738	1729	1653
		Puyca	2753	2755	2757	2759	2760	2762	2773
		Quechualla	359	346	334	324	316	308	245
		Sayla	414	405	396	388	381	375	327
		Tauria	374	367	360	353	347	341	301
		Tomepampa	1014	993	982	973	964	963	912
		Toro	1493	1470	1453	1435	1418	1415	1322
Ayacucho	Parinacochas	Coracora	5845	5854	5867	5880	5891	5900	5969
		Chumpi	1328	1275	1228	1182	1138	1096	818
		Coronel Castañeda	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1043
		Pacapausa	1160	1114	1076	1039	1004	970	740
		Pullo	257	258	258	259	259	259	262
		Puyusca	2964	2967	2970	2973	2976	2980	2999
		San Francisco de Ravacayco	502	503	504	505	506	507	513
		Upahuacho	1862	1865	1868	1871	1874	1876	1893
	Paucar del Sara Sara	Pausa	3273	3276	3279	3282	3285	3289	3307
		Colta	353	350	349	348	347	346	338
		Corculla	491	476	467	458	450	442	384
		Lampa	2216	2217	2218	2219	2221	2222	2229
		Marcabamba	591	580	575	570	566	562	528
		Oyolo	1223	1187	1160	1133	1111	1091	928
		Pararca	576	567	562	557	552	548	514
		San Javier de Alpabamba	494	476	462	450	441	432	356
		San Jose de Ushua	207	208	209	210	211	212	218
		Sara Sara	903	904	905	906	907	908	914
TOTAL			58739	58690	58738	58782	58838	58942	59187

Fuente: PERU: ESTIMACIONES DE POBLACION POR DEPARTAMENTOS, PROVINCIAS, DISTRITOS 1995 – 2000; INEI

* Estimación calculada por el proyecto

2.4.2 Caracterización socio-económica

1) Aspectos Sociales

El principal aspecto social en la cuenca que cabe resaltar es el nivel de pobreza en la cuenca. Para ello hemos utilizado como indicador el Mapa de Pobreza del Perú 2006 elaborado por el Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social - FONCODES. (Ver Figura 2.3). La metodología empleada por el FONCODES no persigue la medición directa de riqueza económica. Esta trata de identificar las regiones del Perú que presentan mayor vulnerabilidad a la pobreza, por ejemplo un hogar sin agua, sin desagüe ni electricidad es pobre no solamente porque los ingresos económicos han de ser magros para vivir en tales condiciones, sino también porque las necesidades básicas para el desarrollo humano no están siendo cubiertas. Por ello esta metodología se basa en seis indicadores: Por un lado, se cuenta el acceso al agua, al desagüe y a la electricidad. Por otro lado, se considera la tasa de analfabetismo entre mujeres, el porcentaje de niños entre cero y 12 años de edad y finalmente la tasa de desnutrición crónica entre niños cuya edad oscila entre seis y nueve años de edad. En base a estos seis indicadores, el mapa de la pobreza divide a los 1832 distritos del Perú en cinco partes (llamados “quintiles”) según el grado de carencias, desde menos pobres hasta más pobres. Los datos empleados por el FONCODES se basan en el Censo Nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2005. Para el nuestro caso, la cuenca del río Ocoña se encuentra políticamente dentro de los departamentos de Arequipa (61.4%), Ayacucho (36%) y Apurímac (2.6%). Observado el Mapa de Pobreza del Perú 2006, podemos deducir que la parte de la cuenca perteneciente al departamento de Arequipa se encuentra dentro del quintil 4 es decir “menos pobres”, sin embargo la zona que se ubica dentro de los departamentos de Ayacucho y Apurímac se encuentran dentro del quintil 1, es decir “más pobres”.

Figura 2.3: Mapa de Pobreza del Perú 2006¹



¹ Fuente: Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social - FONCODES

2) Aspectos Económicos

Sector Agropecuario

La mayor actividad agrícola en la cuenca ocurre principalmente en el valle de Ocoña, donde los cultivos principales son el arroz, frijol, maíz grano, alfalfa y frutales.

Según el ministerio de Agricultura durante diciembre del 2005, la actividad productiva del sector agropecuario fue mayor en 11,6% con relación al nivel alcanzado en similar mes del 2004, este resultado se sustenta por el crecimiento del subsector agrícola (5,5 %) y del subsector pecuario (20,5%).

El comportamiento positivo del subsector agrícola fue determinado por el clima favorable que influyó en mayores niveles de producción de: maíz choclo, ajo, zanahoria, tomate, arveja grano verde y papa. Sin embargo, fue desfavorable la cosecha de maíz amiláceo, zapallo, col, haba grano verde, caña de azúcar, camote y lechuga.

El crecimiento del subsector pecuario fue determinado por la mayor producción de animales en pie: ovino, caprino, ave, porcino y vacuno; mientras que la producción de carne de alpaca y llama bajó. El volumen de leche fresca aumentó en 0,02% por el mayor aporte de la cuenca lechera de la región. La producción de huevos incrementó, debido al mayor número de gallinas ponedoras.

Sector Pesca

La actividad pesquera en la Cuenca es netamente artesanal. Una de las principales actividades en este sector es la extracción de camarones de río, principalmente durante los meses de Marzo a Diciembre.

Las principales especies de pescado fresco para consumo humano son cachema, lorna, pejerrey, dorado, cabrilla, jurel, machete. Asimismo, la captura de mariscos como lapa, pulpo, choro y pota.

Sector Minería

El sector minero en la cuenca se encuentra principalmente constituido por la mediana minería (Compañía Minera Erika SAC) y la minería artesanal o pequeña minería dedicadas principalmente a la extracción polimetálica.

Según los registros encontrados en la base del INEI, la actividad minero metálica registró un comportamiento negativo debido a la disminución en el nivel de extracción de plomo, cobre y plata; con excepción de zinc, y oro; durante enero-diciembre del 2005.

2.5 CLIMA

En términos generales, el clima varía desde semicálido (desértico o árido), en el litoral costero, hasta el clima de nieve (gélido), en las áreas de los nevados y glaciares y sus temperaturas medias anuales varían desde los 19°C, hasta niveles inferiores a los 0°C, respectivamente. La precipitación media anual varía desde los 0 mm en la zona de costa hasta los 800mm aproximadamente sobre los 4000msnm.

En base, al mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI (1988) desarrollado según el método de Thornthwaite. La cuenca del río Ocoña presenta las siguientes características climáticas: ([Ver Mapa 6](#)).

Clima árido semicálido [E(d) B'₁ H₃]

Abarca toda la región costera hasta los 2000 m.s.n.m., aproximadamente caracterizándose por la deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y humedad relativa calificada como húmeda.

Clima semiárido templado D(o,i,p) B'₂ H₃

Zona semiárida templada, se encuentra ubicada entre los 2000 y 3000 m.s.n.m., aproximadamente, caracterizándose por la deficiencia de lluvias en el otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda.

Clima semiseco frío C (o,i,p) C' H₂

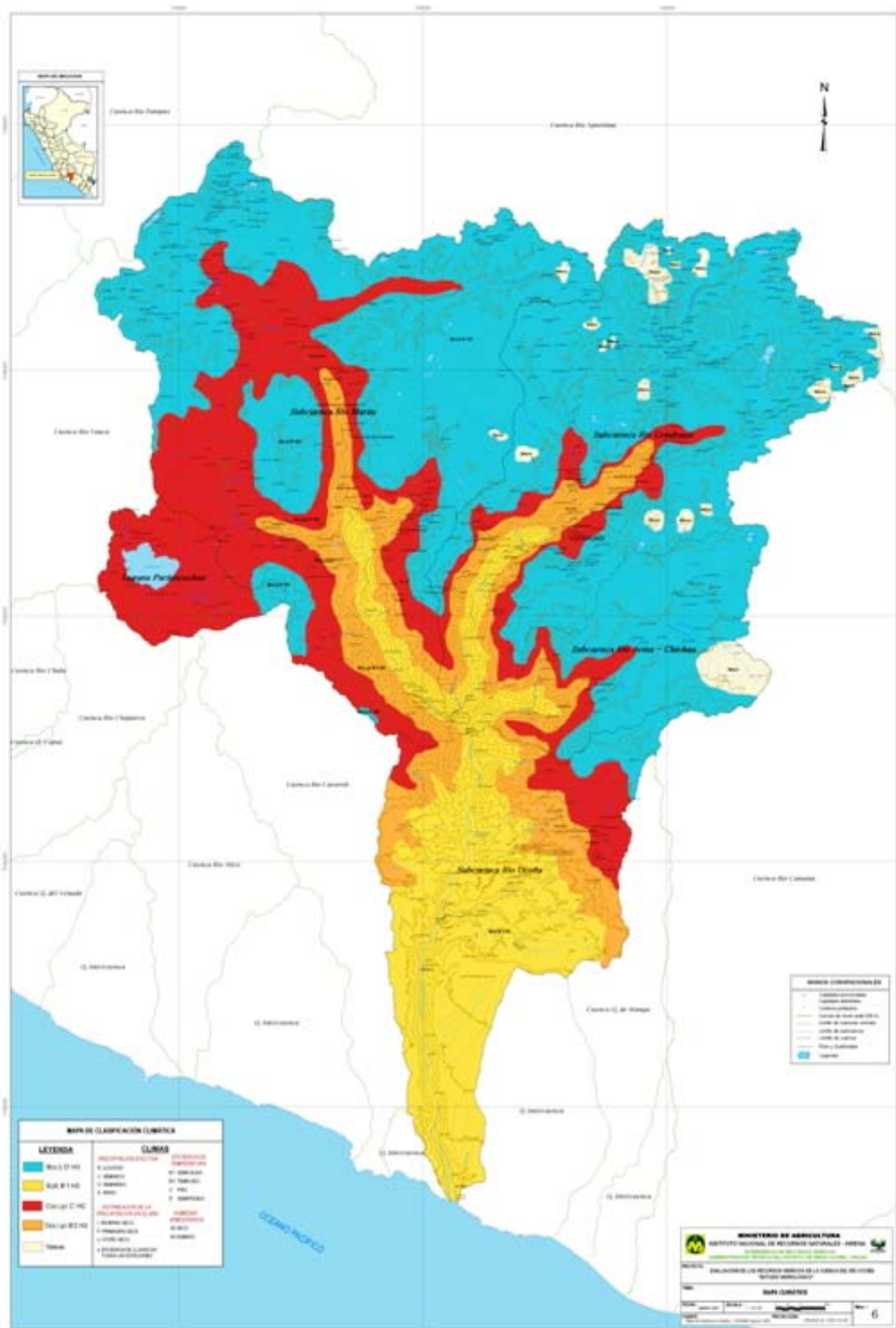
Zona semiseca fría comprendida entre los 3000 y 4000 m.s.n.m., aproximadamente, se caracteriza por deficiencias de lluvias en el otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda

Clima lluvioso semifrío B (o,i) D' H₃

Zona comprendida entre los 4 000 a 5 000 m.s.n.m., se caracteriza por deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

Clima de Nieve

Este clima corresponde al de nieve perpetua de muy alta montaña, con temperaturas medias durante todos los meses del año por debajo del punto de congelación (0°C). Se distribuye en los sectores altitudinales que sobrepasan los 5000 m.s.n.m. y que están representados mayormente por las grandes masas de nieve y hielo de las altas cumbres de los andes peruanos.



2.6 ECOLOGIA

En esta sección presentamos una visión amplia de la ecología de la cuenca del río Ocoña. Para determinar la clasificación de zonas de vida se ha utilizado el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida propuesto por el Dr. Leslie R. Holdridge, que se fundamenta en criterios bioclimáticos, con parámetros que definen la composición florística de cada zona de vida. Los parámetros considerados son: la biotemperatura promedio mensual y anual (TOC); la precipitación; la humedad ambiental, que viene a ser la relación de la evapotranspiración potencial entre la precipitación (Evp/p); los pisos altitudinales (23 pisos en el Subtropical, 04 pisos en el Templado Cálido) y las regiones latitudinales (Subtropical y Templado cálido).

En la cuenca del río Ocoña se han identificado y cartografiado veintisiete (22) zonas de vida ([Ver Mapa 7](#)), comprendidas dentro de la región latitudinal subtropical y templada cálida, que a continuación se describe.

2.6.1 Zonas de vida

1) *Desierto desecado - Subtropical (dd-S)*

Se distribuye en el litoral de la región de la Costa, sobre una extensión superficial de 1176 Km², equivalente al 7,4% del área de la cuenca. Posee un clima desecado desértico-Semicálido, con temperatura media anual entre 18°C y 19°C; y precipitación pluvial total promedio anual, entre 15 y 30 milímetros. La cubierta vegetal es nula o muy escasa, predominando el paisaje de planicie cubiertos por mantos de arena y algunos afloramientos de colinas y lomadas con afloramientos líticos. La actividad agrícola en las tierras de esta zona de vida, sólo es posible donde existe agua para regadío.

2) *Desierto desecado - Montano Bajo Subtropical (dd-MBS)*

Se distribuye a lo largo de la Costa, colindando con el desierto desecado-Subtropical, sobre una extensión superficial de 251 Km², equivalente al 1,6% del área de la cuenca. Posee un clima desecado desértico - Templado Cálido, con temperatura media anual entre 12°C y 17°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 15 y 35 milímetros. La cubierta vegetal es muy escasa y entre los cuales destacan matas de arbustos xerofíticos. Las tierras de esta zona de vida, no tiene ningún uso.

3) *Desierto superárido - Subtropical (ds-S)*

Se distribuye sobre una extensión de 158 km²; equivalente al 1,0% del área de la cuenca. Posee un clima superárido desértico-Semicálido, con temperatura media anual entre 19° C y 20° C; y precipitación pluvial total; promedio anual, entre 30 y 60 milímetros. La cubierta vegetal es bien dispersa y del tipo arbustivo xerofítico y hierbas estacionales que emergen en invierno con la humedad de las neblinas. La actividad agrícola se lleva a cabo solo en los valles de los ríos que atraviesan esta zona de vida.

4) *Desierto superárido - Templado Cálido (ds- Tc)*

Se distribuye en la región de costa, sobre una extensión superficial de 67 Km², equivalente al 0,4% del área de la cuenca. Posee un clima superárido-Templado Cálido, con temperatura media anual entre 15°C y 16°C; Y precipitación pluvial total, promedio anual entre 30 y 60 mm.

La cubierta vegetal es muy escasa, cubriéndose con un tapiz graminal sólo durante las lluvias veraniegas. En las tierras de esta zona de vida con riego, es posible llevar a cabo cultivos.

5) Desierto superárido - Montano Bajo Subtropical (ds-MBS)

Se distribuye entre los 2000 Y 2500 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 241 Km², equivalente al 1,5% del área de la cuenca. Posee un clima superárido-Templado Cálido, con temperatura media anual entre 15°C y 17°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 30 y 55 milímetros. La cubierta vegetal es muy escasa, cubriéndose con un tapiz graminal de vida efímera durante las lluvias veraniegas. En esta zona de vida es posible la agricultura donde exista agua de regadío.

6) Desierto perárido - Subtropical (dp-S)

Se distribuye en la costa, sobre una extensión superficial de 397 Km², equivalente al 2,5% del área de la cuenca. Posee un clima perárido desértico - Semicálido, con temperatura media anual entre 20° C y 21° C; y precipitación pluvial total promedio anual, entre 60 y 125 milímetros. La cubierta vegetal es relativamente más abundante que en las dos Zonas de Vida anteriores, existen asociaciones de gramíneas estacionales y cactáceas. En las tierras de esta zona de vida, sólo se cultiva donde hay agua disponible para riego permanente.

7) Desierto perárido - Templado Cálido (dp- Tc)

Se distribuye entre los 300 y 650 m.s.n.m., en las laderas de la Cordillera Occidental de la costa cercanas al litoral, sobre una extensión superficial de 50 Km², equivalente al 0,3% del área departamental. Presenta un clima perárido-Templado Cálido, con temperatura media anual entre 15°C y 18°C; y precipitación pluvial total, promedio anual entre 10 y 60 milímetros. La cubierta vegetal prácticamente no existe, pero con lluvias o humedad excepcional pueden emerger hierbas efímeras. En las tierras de esta zona de vida, existe una agricultura sobre la base de cultivos propios de costa.

8) Desierto perárido - Montano Bajo Subtropical (dp-MBS)

Se distribuye entre los 2 000 Y 2 500 m.s.n.m., en las laderas de las estribaciones de la Cordillera de los Andes cercanas al litoral, sobre una extensión superficial de 289,2 Km², equivalente al 1,8% del área de la cuenca. Posee un clima perárido-Templado Cálido, con temperatura media anual entre 13°C y 15°C; y precipitación pluvial total, promedio anual entre 60 y 120 milímetros. La cubierta vegetal es escasa, pero durante la época de lluvias veraniegas emergen hierbas efímeras que se asocian con la vegetación arbustiva y algunas cactáceas que si existen permanentemente. En las tierras de esta zona de vida, donde hay agua disponible para regar existe una agricultura de subsistencia, sobre la base de cultivos como maíz y otros propios de la región.

9) Desierto árido - Montano subtropical (da-Ms)

Se distribuye entre los 3 000 Y 3 500 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 220 Km², equivalente al 1,4% del área de la cuenca. Posee un clima árido-Templado Frío, con temperatura media anual entre 8°C y 12°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 90 y 125 milímetros.

La cubierta vegetal lo constituye predominantemente cactáceas y muy escasa vegetación herbácea y arbustiva. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional o temporal trashumante.

10) Matorral desértico - Sub tropical (md-S)

Se distribuye en los valles inter montañosos de la faja costera media del departamento que penetra al flanco Occidental de la Cordillera de los Andes, sobre una extensión superficial de 135 Km², equivalente al 0,8% del área de la cuenca. Presenta un clima árido-Semicálido, con temperatura media anual entre 19°C y 20°C; y precipitación pluvial total; promedio anual, entre 140 y 260 milímetros. La cubierta vegetal esta conformado por gramíneas estacionales, arbustos y cactáceas gigantes del género Neoraimondia que son indicadores de esta Zona de Vida. En esta zona de vida, en las pequeñas áreas agrícolas se cultivan frutales como duraznos, manzanas, tunas, entre otras, productos de pan llevar.

11) Matorral desértico - Templado Cálido (md- Tc)

Se distribuye en la región de costa cerca al litoral, sobre una extensión territorial de 44,1Km², equivalente al 0,3% del área de la cuenca. Posee un clima árido-Templado Cálido, con temperatura media anual entre 12°C y 16°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 125 y 250 mm. La cubierta vegetal prácticamente no existe, excepcionalmente puede emerger vegetación herbácea temporal con las lluvias de verano, asociada con algunas cactáceas que si existen en forma permanente. En esta zona de vida no existen tierras aparentes para la actividad agrícola, básicamente constituyen tierras de protección.

12) Matorral desértico - Montano Bajo Subtropical (md-MBS)

Se distribuye en la zona bajo andina, sobre una extensión de 494 Km² lo que equivale al 3,1% del área de la cuenca. Presenta un clima árido-Templado Cálido, con temperatura media anual entre 12°C y 17°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 125 y 250 mm. La cubierta vegetal lo constituye plantas herbáceas temporales que emergen con las lluvias de verano, asociada con arbustos, árboles medianos y cactáceos que existen en forma permanente. En las tierras de esta zona de vida, encontramos que su principal uso es para la agricultura de de subsistencia y el pastores en la época de verano.

13) Matorral desértico - Montano Sub tropical (md-MS)

Se distribuye generalmente entre los 3 000 y 4 000 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 878 Km², equivalente al 5,5% del área de la cuenca. Posee un clima semiárido-Templado Frío, con temperatura media anual entre 6°C y 12°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 125 y 250 mm. La cubierta vegetal lo conforma especies graminales alto andinos con una distribución muy dispersa, asociada con cactáceas. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional o temporal.

14) Matorral desértico - Suba/pino Subtropical (md-SaS)

Se distribuye, entre los 3 900 y 4 300 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 517 Km², equivalente al 3,2% del área de la cuenca. Posee un clima semiárido-Frío, con temperatura media anual entre 4°C y 6°C; y precipitación pluvial total, promedio anual,

entre 70 y 150 mm. La cubierta vegetal es escasa, observándose en forma muy esparcida matas de gramíneas altoandinas, tayas y algunas cactáceas. Las condiciones topográficas y ecológicas son factores que limitan toda actividad antrópica dentro de esta zona de vida.

15) *Estepa espinosa - Montano Bajo Subtropical (ee-MBS)*

Se distribuye en los valles interandinos y laderas de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, entre los 2 000 y 3 000 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 2048 Km², equivalente al 16,0% del área de la cuenca. Posee un clima semiárido-Templado Cálido, con temperatura media anual entre 12°C y 17°C; Y precipitación pluvial total, promedio anual entre 250 y 450 mm. La cubierta vegetal es abundante, conformada por una vegetación herbácea, asociada con arbustos como la "chamana" dodonea viscosa y árboles como el "molle" Schinus molle y cactáceas. Mayormente la agricultura en esta zona de vida es practicada en los lugares donde hay disponibilidad de agua para regar, cultivándose productos de pan llevar y frutales como manzanos y duraznos.

16) *Estepa - Montano Sub tropical (e-MS)*

Se distribuye sobre la estepa espinosa entre los 3 000 Y 4 000 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 403 Km², equivalente al 2,5% del área de la cuenca. Posee un clima subhúmedo - Templado Frío, con temperatura media anual entre 9°C y 12°C; y precipitación pluvial total, promedio anual entre 280 y 500 mm. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación graminal de pradera alto andina algo dispersa asociado con cactáceas del género Opuntia. En las tierras de esta zona de vida, se cultiva principalmente la cebada, que inclusive sirve para reconocer esta zona de vida.

17) *Páramo húmedo - Subalpino Subtropical (ph-SaS)*

Se distribuye entre los 3 900 y 4 200 m.s.n.m. sobre una extensión superficial de 2544 Km², equivalente al 16,0% del área de la cuenca. Posee un clima húmedo-Frío, con temperatura media anual entre 4°C y 6°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 450 y 550 milímetros. La cubierta vegetal lo conforma una vegetación típica de pradera altoandina constituida por pastos naturales principalmente de la familia Gramíneas mas o menos densos con presencia de algunas cactáceas postradas del género Opuntia así como arbustos y especies arbóreas del género Polylepis, comúnmente llamado "quinual". Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de ganado lanar y vacuno.

18) *Páramo muy húmedo - Subalpino Subtropical (pmh-SaS)*

Se distribuye entre los 4 200 hasta 4 500 m.s.n.m., sobre una extensión de 27 Km² equivalente al 0,2% del área de la cuenca. Posee un clima perhúmedo-Frío, con temperatura media anual variable entre 3°C y 6°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 600 y 800 milímetros. La cubierta vegetal esta constituida por una vegetación de pradera altoandina constituida por pastos naturales provenientes de diversas familias pero principalmente de la familia Gramíneas; en general esta zona tiene una composición florística compleja y es mas densamente poblada. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo de ganado lanar y vacuno, y en menor proporción para pastoreo de camélidos americanos.

19) Tundra húmeda - Alpino Subtropical (th-AS)

Se distribuye altitudinalmente entre los 4 500 y 5 000 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 392 Km², equivalente al 2,5% del área de la cuenca. Posee un clima húmedo-Muy Frío, con temperatura media anual entre 1,5°C y 3°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 150 y 250 mm. La cubierta vegetal es escasa, destacando las especies de los géneros Stipa, Calamagrostis, Festuca, etc, así como plantas arrosetadas, constituyendo comunidades muy abiertas y dispersas, dejando el suelo casi desnudo. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional trashumante.

20) Tundra muy húmeda - Alpino Subtropical (tmh-AS)

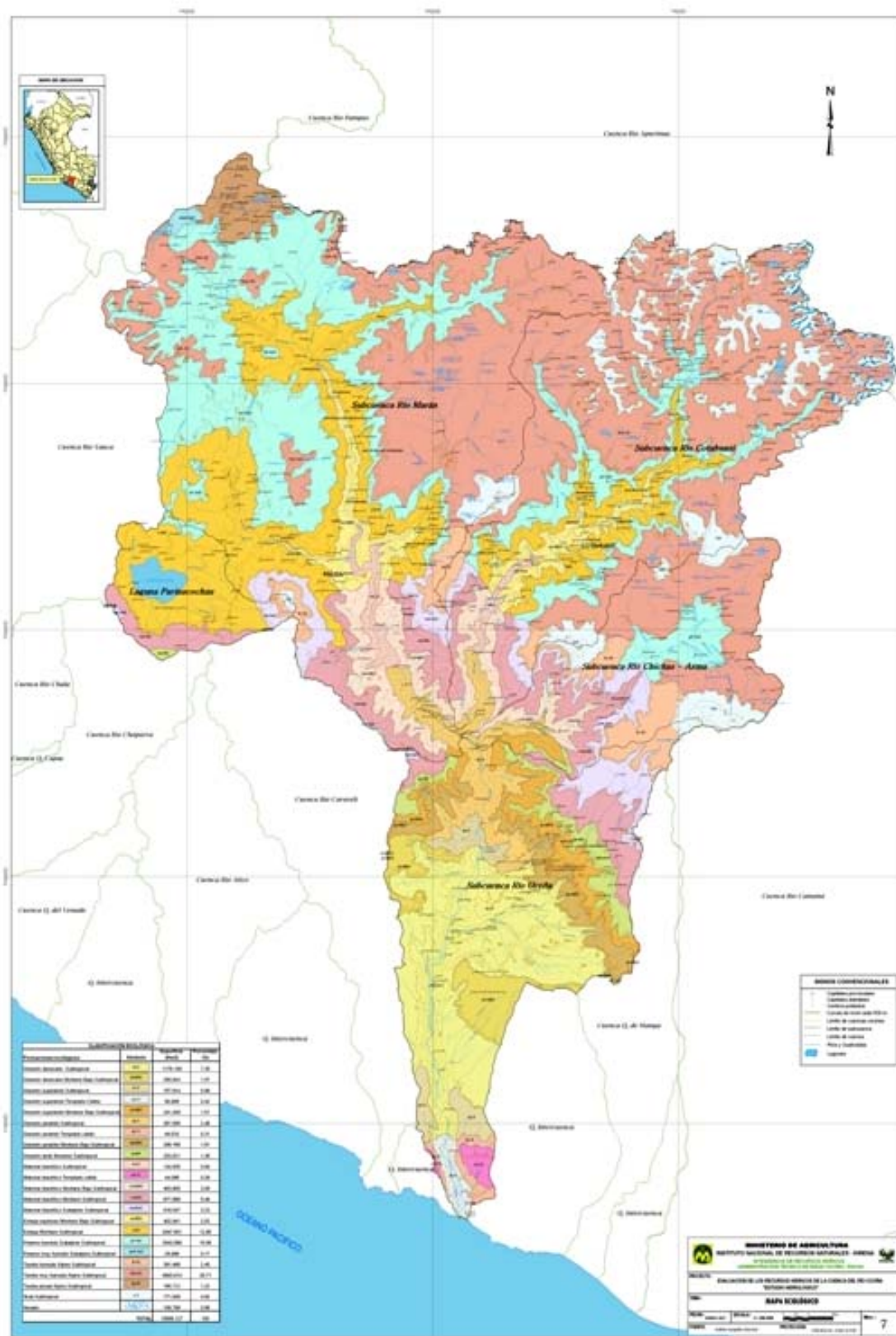
Se distribuye entre los 4 500 y 5 000 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 4594 Km², equivalente al 28,7% del área de la cuenca. Posee un clima perhúmedo-Muy Frío, con temperatura media anual entre 1,5°C y 3°C; Y precipitación pluvial total, promedio anual, entre 300 y 500 mm. La cubierta vegetal esta conformada por matas de pastos naturales alto andinos muy dispersos; asimismo, existen especies arrosetadas y almohadilladas muy distanciadas. La composición florística y la abundancia son algo mayor que en la tundra húmeda. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo estacional o temporal trashumante.

21) Tundra pluvial - Alpino Subtropical (tp-AS)

Se distribuye entre los 4 500 y 5 000 m.s.n.m., sobre una extensión superficial de 196% equivalente al 1,2% del área de la cuenca. Posee un clima superhúmedo-Muy Frío, con temperatura media anual entre 1,5°C y 3°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, variable desde 500 hasta 1 000 mm. La cubierta vegetal es más abundante y florísticamente diversificado con relación a las otras tundras tales como: tundra húmeda y la tundra muy húmeda. Además de las matas gramíneas, existen plantas arrosetadas y de porte almohadillados se observa la presencia de Destichia muscoides de forma almohadilladas convexas que crecen continuamente sus partes superiores mientras que sus partes inferiores y las raíces más profundas se van convirtiendo en lo que comúnmente se denomina turba. También es posible observar la existencia de líquenes y musgos en altitudes superiores hasta sobrepasar los 5 000 m.s.n.m.. Las tierras de esta zona de vida son utilizadas para el pastoreo trashumante.

22) Nival - Subtropical (n-S)

Se distribuye en las partes más altas o en las cúspides de la pirámide montañosa de la Cordillera Occidental y Central de los Andes sobre los 5 000 m.s.n.m.. Comprende una extensión superficial de 771 Km²; equivalente al 4,8 % del área de la cuenca. Posee un clima perhúmedo-Frígido, con temperatura media anual por debajo de 1,5°C; y precipitación pluvial total, promedio anual, variable entre los 500 y 700 milímetros. En los niveles bajos de esta zona de vida, inmediatamente a continuación de la tundra, entre los 5 000 y 5 500 m.s.n.m., puede observarse algunas formas vegetales criofílicas, en los "oasis de calor" constituido por rocas y pedregales que se calientan con el sol durante el día y van desprendiendo calor durante la noche favoreciendo la vida vegetal, no solo en forma directa, sino también indirectamente porque derrite la nieve cercana mucho más rápido. Las tierras de esta zona de vida son improductivas porque no pueden ser utilizados siguiendo los métodos corrientes o naturales de uso de la tierra.



2.7 GEOLOGIA

A continuación describiremos la información geológica básica sobre los recursos existentes en la cuenca del río Ocoña. Las características geológicas están relacionadas genéticamente con los principales eventos geológicos ocurridos en la región, destacando entre ellos movimientos tectónicos de tensión y compresión que han originado un intenso fallamiento y erosión siguiendo la orientación de la cordillera de los Andes.

En la cuenca del río Ocoña afloran rocas de diferente composición, cuyas edades van desde el Precámbrico al Cuaternario reciente, estando compuestas mayormente por rocas sedimentarias y metamórficas cubiertas por depósitos de rocas volcánicas y depósitos inconsolidados modernos ([Ver Mapa 8](#))

2.7.1 Precámbrico

1) Complejo basal de la costa (Pe-gn)

Complejo de rocas metamórficas que afloran en diferentes sectores a lo largo de la costa, esta compuesto principalmente por gneises bandeados de color rosado hasta gris verdoso cuya composición es variada, pudiendo gradar en algunos casos a migmatitas, hacia el sur se complementan en menor proporción con esquistos anfibolitas y calcosilicatos. Los esquistos son mayormente cuarzo-feldespáticos y micáceos, existiendo toda una transición entre estos esquistos y los gneises expuestos más al norte. El bandeamiento se hace mas fino y contorcionado, pasando de una foliación a una esquistocidad, asimismo la ortoclasa disminuye notablemente, incrementándose el contenido micáceo; esto origina que hacia el norte los afloramientos se hagan más oscuros, perdiendo las coloraciones claras de las exposiciones netamente gnéisicas.

Los gneises bandeados, esquistos y calcosilicatos del Complejo Basal de la Costa, expuestos a lo largo de la costa de Arequipa, son el resultado de un metamorfismo regional de alto grado, sufrido por una secuencia sedimentaria de variada composición, en la que predominaron lutitas, areniscas y pocas calizas, complementadas con algunas rocas volcánicas. Esta secuencia estuvo atravesada por pequeños stocks de composición intermedia a básica y de grano medio, que originaron los escasos afloramientos de anfibolitas.

Esta unidad se distribuye en toda la faja costera del departamento, en forma paralela a la línea de costa con afloramientos discontinuos que son característicos por su predominancia topográfica.

2.7.2 Paleozoico

1) Grupo San José (Pi-Sj)

Secuencia pelítica oscura conteniendo graptolites con pizarras, limolitas y esquistos. Su extensión morfológica es relativamente suave a moderada, formando terrenos de alta a mediana pendiente. Por lo general no presenta farallones conspicuos salvo en el caso de que las rocas se presenten muy metamorfizadas. .

Las pizarras son por lo general de fraccionamiento limoarcillítica, por lo general se presenta en capas tabulares con una laminación interna muy característica, las cuales se intercalan también con capas de pizarras limolíticas cuarzosas de mayor consistencia. Estas rocas pueden aparecer acompañadas por láminas de cuarzo lechoso. Otro de los rasgos saltantes de esta unidad es la notable facilidad con que las rocas se fracturan en amplias lajas, producto de la intensa deformación sufrida.

Esta unidad aflora aisladamente al noroeste del departamento cerca de Punta Lomas. La edad de la unidad basada en su posición estratigráfica y contenido de fósiles, es asignada desde el Arenigiano al Llandeilano (Paleozoico inferior).

2) Grupo Ambo (Ps-a)

Litológicamente el grupo está conformado por conglomerados de clastos de rocas metamórficas, cuarzo y rocas intrusivas, areniscas con intercalaciones de limolitas; los estratos pueden sobrepasar el centenar de metros. Generalmente sus lechos arenosos muestran estratificaciones oblicuas y huellas de "Slumping" (hundimientos y deslizamientos sucesivos algo abruptos), mientras que las intercalaciones calcáreas presentan fósiles de crinoideos y coniatites.

Afloramientos aislados de este grupo se han identificado en los alrededores de Ocoña. De acuerdo a la evidencia paleontológica encontrada, en este grupo, se considera que aconteció en el Paleozoico Superior, en el sistema carbonífero Inferior.

2.7.3 Mesozoico

1) Formación Ferrobamba (Km-Fe)

Con este nombre se describe una gruesa secuencia calcárea de 600 a 700 m. frecuentemente fosilífera. La Litología de esta formación esta dada por una alternancia de calizas gris oscuras a negras, areniscas calcáreas de color beige y lutitas negras y verde oscuro. Las calizas por intemperismo adoptan un color pardo amarillento a veces rojizo.

La secuencia muestra una clara estratificación en capas, bancos de hasta 2.0m de grosor en los niveles calizos, los mismos aue presentan abundantes nódulos de chert de color marrón y venillas de calcita.

Extensivos afloramientos de esta unidad sobresalen en las cercanías de Vilscashuaman y en base a su contenido fosilífero, se le asigna una edad Aptiano Superior-Turoniano (Cretáceo medio).

2) Formación Murco (Ki-mu)

La formación Murco se caracteriza por su matiz rojizo y se destaca fácilmente por estar limitada entre las cuarcitas blancas de la formación Hualhuani y las calizas grises de la formación Arcurquina. Su grosor máximo es de 300 m y al sur del cerro terenico se destaca formando núcleos de anticlinales, debajo de la formación Arcurquina.

Está compuesta por areniscas gris verdosa de grano grueso, con estratificación gradada y laminación cruzada, cuya polaridad indica que los estratos están en posición normal y que las corrientes que los originaron venían del NO. Este tipo de estratos forma el tope de la formación en la quebrada Jelloyacu. En la mina Aguas verdes se tienen areniscas feldepáticas de color marrón violáceo, con textura despastos, con cemento calcáreo. Debajo se encuentran areniscas gris-violaceas, de grano medio, que gradan en parte a areniscas conglomeradas, con rodados poco transportados, consistentes en gneis de 2 a 5 cm de diámetro, luego se presentan areniscas marrón oscuras, de grano fino, ferruginosas e intercaladas con areniscas conglomerádicas.

La estratificación entrecruzada indica que la formación se ha depositado en una zona de aguas agitadas, mientras que la estratificación gradada y laminaciones señalan que la sedimentación se llevó a cabo en aguas más tranquilas, evidenciando que ha existido un ambiente marino oscilante.

Esta formación aflora en la parte baja del río Colca, orientándose en forma paralela a la cordillera. No se ha encontrado fósiles y como descansa sobre la formación Hualhuani del Neocomiano Superior e infrayace a la formación Arcurquina del Albiano, se le asigna una edad Neocomiano Superior-Aptiano.

3) Formación Arcurquina (Ks-ar)

Con ésta denominación estratigráfica Jenks (1 948) ha descrito una secuencia de calizas de grano fino entre capas de 1 a 3 m de grosor, una de las cuales se encuentra bioturbada mientras que otras son de laminación fina. Hay también capas nodulares y conglomerados intraformacionales, así como brechas con clastos hasta de 4 cm en matriz de grano fino, nódulos de chert y agregados de calcedonia-calcita.

Esta unidad aflora en forma paralela a la anterior pero con mayor amplitud hacia el norte. De acuerdo a los fósiles encontrados, se ha determinado que esta formación pertenece al Aptiano.

4) Depósitos Eluviales reciente (Qr-el)

Constituidos por depósitos superficiales de poco espesor, formados mayormente insitu debido al intenso meteorismo sobre rocas fracturadas, se encuentran formando laderas de baja pendiente con variada cobertura vegetal, tienen textura heterogénea, con matriz de arena fina y arcillas.

5) Grupo Yura (JK-yu)

Este grupo, de amplio desarrollo en el Sur del país, aflora ampliamente en el departamento de Arequipa, conociéndosele también como grupo Santiago (Salazar 1 970). Se distribuye desde la cordillera de la costa hasta las vertientes montañosas del flanco occidental andino, Consiste de una secuencia de cuarcitas blanquecinas de grano medio o fino, con estratificación cruzada e intercalaciones delgadas de lutitas negruzcas y areniscas pardas, con algo de pizarras. En los contactos con las rocas intrusivas, se encuentran anfibolitas y horfels grisáceos.

Sus afloramientos pueden observarse normalmente infrayaciendo concordantemente al grupo Ticrapo. Está datado como del Jurásico Superior-Cretáceo Inferior (Jenks 1 946), conformando una unidad muy bien reconocida.

6) Volcánico Chocolate (Ji-vch)

Con ésta denominación estratigráfica Jenks (1948) ha descrito una secuencia de derrames andesíticos y dacíticos, aglomerados y brechas de colores que varían entre el marrón, verde con matices chocolate, rosado y algunas veces hasta negro. Aflora ampliamente a lo largo de la costa, al sureste y noroeste del departamento, cerca de Chala y Moliendo. Se ha determinado que esta formación pertenece al Caloviano.

7) Formación Socosani (Ji-so)

La localidad típica de esta formación queda ubicada en el balneario del mismo nombre, cerca de Arequipa. Fue descrita por primera vez por Jenks (1948).

Litológicamente consiste de una secuencia calcárea cuyos niveles inferiores están recristalizados a mármol de grano fino y color grisáceo; en la parte media se exponen calizas pizarrosas de color gris oscuro que pasan a calizas gris verdosas con venas de dolomita hacia el tope. Las calizas Socosani sobreyacen al Volcánico Chocolate y

están afectadas por los intrusivos del batolito de la costa. El afloramiento se extiende en forma interrumpida hacia el cuadrángulo de Arequipa, donde Jenks, cerca de la estación de Tiabaya, ha medido 426 m de grosor, destacando un afloramiento más extenso al este de Aplao.

La fauna encontrada en la localidad típica (margen derecha del río Yura) incluye las siguientes especies: *Myophoria* sp, *Vola alata*, *Rhynchonella subtetraeda*, *Rhynchonella* sp, equinoideos y lamelibranchios indeterminables, que corresponden al Liásico Superior y el Bajociano Inferior a medio.

2.7.4 Cenozoico

1) Grupo Barroso (TQ-ba)

Este grupo se distribuye ampliamente en el sector oriental del departamento de Arequipa constituyendo un complejo volcánico, conformado por antiguos conos erosionados que actualmente forman una cordillera alta con rumbo aproximado N-S. Los volcánicos también se extienden hacia el SE, donde constituyen el Nevado Huancune y luego pasan al territorio chileno, donde forman los volcanes de Chipiquiña y Tacora. Los volcanes efectivamente forman el límite Suroccidental del Altiplano, que alcanzan una extensión enorme en la parte adyacente de Bolivia.

Las relaciones estratigráficas de esta unidad no son muy definidas. En la Cordillera del barroso los volcánicos sobreyacen a la formación Huilacollo, mientras que en la zona del paso la unidad es post-Huaylilla, aunque el cono de Condorpico, que se ha incluido dentro de la formación Barroso, es más joven todavía, y sobreyace a la formación Maure.

El grupo Barroso alcanza un grosor máximo de aproximadamente 1 500 m, que es la altura de los conos sobre el nivel del Altiplano. Las rocas están dispuestas en distintos conos en los cuales se nota un cambio de buzamiento desde un máximo de 45° en el contorno del cráter a menos de 10° en la zona periférica. La topografía antigua ha tenido un efecto sobre la distribución de los fluidos, que naturalmente han corrido más lejos en la quebrada. El mejor ejemplo se encuentra en el valle de Estique que contiene una lengua volcánica de más de 8 km de largo.

Este grupo consiste en bancos bien definidos de tufos y lavas de composición traquítica, con cantidades menores de andesita. Típicamente la roca es una traquita grisácea con fenocristales de sanidina y cristales microscópicos de biotita. Los tufos predominan sobre las lavas, y localmente contienen mucho material elástico que da a la roca una textura terrosa.

El grupo Barroso, ha sufrido una glaciación intensa y está cubierta por depósitos fluvio glaciares, indicando que los volcanes son del prePleistoceno. Sobreyace a la formación Huaylilla, que es del Plioceno Inferior o Medio. Así las relaciones estratigráficas y el grado de erosión de los conos indican que el Barroso es del Plioceno Medio o Superior.

2) Volcánico Sencca (Ts-vse)

Nombre designado por Mendivil a una secuencia de rocas volcánicas de facies piroclásticas, con tobas porfiríticas y microconglomeráticas débilmente consolidadas con feldespatos, epidotizados y caolinizados, clastos volcánicos subangulosos a subredondeados y cuarzo. Tienen poco peso y son generalmente de colores claro amarillentos; su composición varía entre riolítica y riodacítica y algunas tobas brechoides y aglomerados grises.

El grosor de la formación sencca se estima en 300 m y morfológicamente los afloramientos por la poca inclinación de los estratos constituyen mesetas suavemente onduladas, deformadas por valles de fondo plano y flancos de paredes escarpadas, con algunas superficies ruiformes en forma excepcional debido a la erosión.

Esta unidad se distribuye ampliamente en todo el departamento estando sus mejores afloramientos en los alrededores de la ciudad de Arequipa, Caravelí y al norte de Cotahuasi No se han encontrado fósiles en esta formación y solo por correlación estratigráfica se le asigna una edad como Plioceno medio.

3) Formación Saycata (Tms-sa)

Se denomina formación Saycata a un conjunto lávico que consta de andesitas gris a gris oscuras, algo porfiríticas, con fenos de feldespatos y máficos con textura fluidal. De acuerdo a su posición estratigráfica se ha determinado que esta formación se ha desarrollado entre el mioceno y el plioceno inferior (Terciario medio-superior).

4) Formación Aniso (Tm-an)

Se denomina formación Aniso a una secuencia de rocas volcánico-sedimentaria, con localidad tipo en el sector alto del poblado Aniso.

Mitológicamente, consiste de intercalaciones de areniscas con tobas redepositadas y subordinadamente, estratos de areniscas conglomeraditas de tendencia lenticular. Las areniscas son de grano medio y color gris, con tonalidades verde claro; las capas tobaceas ostentan colores claros: blanco crema a amarillentas y las areniscas conglomerádicas se caracterizan por la existencia de clastos subredondeados de lavas. Las características observadas confieren a la formación un ambiente de depositación lagunar.

5) Grupo Tacaza (Tm-ta)

Nombre sugerido por W. JENKS y empleado por NEWELL (1945). Las rocas que conforman esta unidad tienen una amplia distribución en el sur del Perú; estratigráficamente reposan encima del grupo Puno y debajo de la formación Maure con discordancia angular.

Litológicamente constituye una unidad volcánica-clástica continental, donde se puede establecer tres miembros bien diferenciados: el miembro inferior conformado por sedimentos clásticos continentales con areniscas y conglomerados en una matriz areno tufacea, las areniscas son de grano grueso, color gris pardo amarillento y verdoso en capas delgadas, los conglomerados con clastos mayormente volcánicos de tamaño variable. El miembro medio (tufo Carumas) está representado por tufos de naturaleza riolítica y dacítica con diferencias en el color, textura y mineralogía, son de color blanco, livianos y se meteorizan muy fácilmente. El miembro superior consiste de derrames y piroclásticos con brechas de flujo y aglomerados, la composición varía de andesítica a basáltica, se exponen en bancos gruesos débilmente plegados.

La intercalación con sedimentos continentales indican que existieron periodos de quietud en la actividad volcánica con rápida denudación y acumulación.

Afloramientos de esta unidad se distribuyen ampliamente en la parte oriental del departamento, sobre las estribaciones del flanco occidental andino. Como no se han encontrado fósiles en las rocas del grupo Tacaza, su edad es solamente inferida sobre la base de su posición estratigráfica, pues descansa sobre el grupo Puno de edad aproximada Cretáceo Superior-Terciario Inferior, e infrayace a la formación Maure del Mioplioceno. Por esta relación se le asigna al grupo Tacaza una edad terciario medio.

6) Formación Para (Ti-pa)

En la hoja de Coracora se expone una secuencia de rocas sedimentarias intercaladas con piroclásticos y que afloran en la localidad de Para, luego en los cerros Quispicahua, Auquihuato y Oschapilla, de igual forma en los valles de Sangarara, Chuspin y Vado.

La base de esta secuencia no se observa, porque el contacto con las formaciones cretáceas está fallado. La unidad suprayacente más antigua es el Volcánico Tacaza, en contacto discordante. También, sobreyacen con discordancia angular a las formaciones Sencca y Barroso. La parte expuesta tiene un grosor aproximado de 1000 m.

Litológicamente, está constituida por una intercalación de areniscas tobáceas de grano fino, blancas y verdes, con areniscas conglomerádicas con abundante cuarzo y elementos que llegan hasta 3 m de diámetro; También lutitas grises, limolitas amarillas, aglomerados en capas de 10 a 50 cm, andesita microbrechosa marrón, tobas lapillis blancos y cenizas.

Las rocas sedimentarias de esta unidad son de origen lacustre, el material ha sido acarreado por corrientes rápidas e influenciadas por un periodo de actividad volcánica explosiva.

Pequeñas unidades de esta formación afloran en la parte oriental del departamento, prolongándose hacia Puno y Cuzco. Los restos de tallos encontrados dentro de la formación, que infrayace con discordancia angular al Volcánico Tacaza del Mioceno y asumiendo que es más joven que la formación Huanca, tentativa mente se le considera una edad Oligocena.

7) Formación Huaylillas (Ts-vhu)

Casi toda el cuadrángulo de Huaylillas está cubierta por una formación gruesa de tufo dacítica que, por razón de su gran extensión en esta área se ha nombrado Formación Huaylillas. La formación también tiene una amplia distribución en el Sur del cuadrángulo de Paica y en varios sectores del cuadrángulo del Pachía. En la parte central del departamento. se distribuye en la cuenca alta del río Sihuas.

Litológicamente la formación consiste en tufas ácidas de composición dacítica riolítica con cierta diferencia de calar, textura y mineralogía, y con un grosor total que varía entre 500 y 600 m dentro de la región mapeada.

En cuanto a las relaciones estratigráficas, esta unidad es suprayacente a las formaciones Moquegua y Huilacollo con una pequeña discordancia paralela, pero tiene relaciones de discordancia angular con otras formaciones más antiguas. La formación infrayace al volcánica Barroso y unidades más jóvenes con discordancia paralela.

En términos generales la formación se divide en tres miembros: el primero con tufo riolítico de calar entre blanca y crema friable, de grana fina, no. estratificada, el segundo con tufo. dacítico rosada a roja, de grana mediana a gruesa, y aspecto masivo y el tercero con tufo. riolítico, blanca y rosada, friable de grana grande a fina, no estratificado.

La roca es casi equigranular con cristales del tamaño casi de 1 mm, aún cuando en ciertos horizontes hay tufas de grana más fina a más gruesa. La formación Huaylillas se ubica entre la formación Moquegua del Mioceno y la formación Barrosa del Plioceno. Estas datas no. bastan para dar una edad precisa, pero por las relaciones estratigráficas generales se cree que la formación Huaylillas puede tener una edad entre el Plioceno Inferior y Medio.

8) Grupo Castrovirreyna (Tm-cv)

Consiste en un paquete volcánico sedimentario que se extiende en forma discordante sobre el grupo Sacsaquero, esta constituido principalmente por tobas brechoides, areno tobáceas intercaladas con limolitas y ocasionalmente calizas.

Sus plegamientos son bien conspicuos con estructuras apretadas, mostrando una tectónica muy activa. Los plegamientos están constituidos por sinclinales y anticlinales regionales de rumbo N-NO a S-SE, que han sido afectados por fallamientos posteriores.

Litológicamente están constituidos por sedimentos lacustres y en mayor proporción por tobas de tipo ignimbrítico, tobas redepositadas y brechas tobáceas y en menor proporción derrames. Las tobas redepositadas, tobas soldadas y cenizas volcánicas marcan el tope del Grupo Castrovirreyna y sobre ellas se ha depositado el volcánico Caudalosa. Sus principales afloramientos sobresalen en la cuenca media del río Ocoña y solo por correlación estratigráfica se le ubica en el terciario medio.

9) Volcánicos Astobamba (Ts-va)

En esta asociación ocurre la mayor cantidad de formaciones y por ende nombres, que cubren el área en los sectores de la divisoria continental, y occidental, siendo casi todos de tipo volcánico. Como volcánico Astobamba, se considera principalmente a los volcánicos miocénicos del sector occidental, cuya equivalencia en la parte de la divisoria fue denominada como grupo Santa Bárbara.

En cuanto a los volcánicos Astobamba-Herú, estos ocurren en el sector de la divisoria, encima de los anteriores y consisten de derrames y conglomerados basálticos y andesíticos, con domos endógenos (hipabisales) de cuyas bases se desprenden coladas de andesitas y dacitas mineralizadas de poca extensión. En la porción más occidental y superficial toma el nombre de volcánico Betania donde contiene, además, arcillas verde-rojizas. Afloran en la parte central del departamento en las cercanías de Cabanaconde y por la posición estratigráfica se le ubica en el terciario superior.

10) Formación Millo (Ts-ml)

Cubriendo la Peneplanicie Pliocénica y en discordancia angular con el Batolito de la Costa infrayacente y series mesozoicas, se tiene una secuencia sedimentaria de origen continental, considerada como perteneciente a la formación Millo (VARGAS, 1970), asimismo se encuentra aflorando en los cerros Carangas y Chaunja Arenal en la margen oriental del área estudiada, Esta unidad se encuentra cubierta por tufos Sencca en magnitud no mapeable en la escala de trabajo. Dichos materiales comprenden conglomerados medianamente consolidados con matriz areno-tufácea y cenizas retrabajadas, alternando con areniscas grises.

Sobre la porción más occidental de la planicie de abrasión, estos depósitos muestran evidencias de sedimentación en ambiente litoral, como puede notarse sobre el cerro Callejón de Piedra. En el Angulo noroeste del cuadrángulo de Acarí, dichas superficies se hunden por falla dando lugar a la Depresión Preandina. Además se observa una cubierta compuesta por conglomerados coquiníferos y areniscas bioclásticas bien cementadas por material calcáreo, margas y cenizas duras que terminan hacia arriba cubiertas por tufos pliocenos. Entre las coquinas se ha identificado *Cochliolepis* sp. Género reconocido desde el Mioceno hasta el Reciente, lo cual indica la transición de la formación Pisco a la formación Millo o sea de facies marina a facies continental.

El género *Cochliolepis*, se relaciona con el *Cochliolepis* *schoonerensis* del Mioceno de Oregón, aunque con reserva, por lo cual la edad de la formación Millo no es posible precisarla, y basándose en sus relaciones estratigráficas se halla cubriendo a la

superficie de abrasión y está cubierta por el volcánico Sencca considerado como Plioceno medio a Superior, tentativamente se asigna a la formación Millo al Mioceno Superior o Plioceno Inferior. Sus mejores afloramientos se encuentran entre el río Ocoña y el río Chaparra, distribuidos en forma paralela al complejo basal de la costa.

11) Formación Paracas (Ts-par)

Esta formación comprende un conjunto de rocas sedimentarias de gran extensión, cubriendo a la peniplanice formada en el Complejo basal y rocas del Paleozoico Superior. Las mejores exposiciones de estas rocas se encuentran en las quebradas de Pescadores, Ocoña y Tinajones. Sobre la Meseta, las capas superiores de esta Formación afloran en los cerros Los castillos, en las pampas de la Paciencia, en las Conejeras y Sal Si Puedes; además, existen un afloramiento aislado en el lado Oeste de las cabeceras de la quebrada Oscuyo.

La secuencia litológica de esta formación se puede dividir en tres miembros, desde la base hacia arriba, a saber: conglomerádico, arenisco/tufáceo y arriba los bancos calcáreos coquiníferos. El miembro Inferior conglomerádico, tiene en promedio un grosor entre 70 y 80 metros, aumentando hacia el Norte donde está constituido por elementos redondeados y sub-redondeados de granito, granodiorita, cuarcitas y en mayor proporción areniscas, que a veces alcanzan los 40 centímetros de diámetro, pero en promedio oscilan entre los 5 y 20 centímetros. Estos conglomerados son pobremente consolidados y presentan una superficie de erosión muy característica.

Los depósitos del miembro medio, tal como se observa sobre la margen derecha del río Ocoña, tienen abundantes inclusiones de lapilli, pomez y lavas. Además, estos horizontes tufáceos tienen un contenido de varias sales tales como nitratos, sulfatos, cloruros, entre otros, y geodas tapizadas por cristales de calcitas; también hay lentes de cenizas y sílice coloidal, todos alternan además con areniscas de grano fino a grueso, areniscas tufáceas y conglomerados. La mejor exposición de este miembro se encuentra en la quebrada Cejas.

En los cerros los castillos, la litología observada consiste en areniscas arcillosas, areniscas tufáceas con horizontes fosilíferos y lentes de sílice coloidal; en la parte Superior aparecen bancos gruesos de coquinas bien precristalizadas. El miembro calcáceo con coquinas aflora principalmente en la pampa Sal si Puedes y en las cabeceras de las quebradas Oscuyo. Este miembro está constituido por una alternancia de areniscas de grano fino de color gris verdoso, banco de coquinas y areniscas tufáceas, todas ellas bien compactas, apareciendo en algunos sitios de la superficie cubiertas por una costra de mayor dureza, debido posiblemente al intemperismo.

De modo general se puede establecer que estos sedimentos a partir de la Quebrada Cejas, hacia el extremo Suroeste contienen horizontes fosilíferos, hacia el Oeste; se hacen cada vez más coquiníferos y hacia el este se vuelven más tufáceos.

Se ha recolectado una buena cantidad de fósiles de origen marino, en el miembro medio, muchos de los cuales se encuentran muy bien conservados, gracias a los que ha sido posible hacer una comparación con los fósiles estudiados en 1975 por la Doctora Rosalvina Rivera, en la Formación Paracas (Península de Paracas), dándole una edad correspondiente al terciario superior.

12) Formación Camaná (Ts-cm)

Al sureste del pueblo de Ocoña, en los cerros La Cruz de Madero y La Yesera, existen unos depósitos que en conjunto presentan un color blanco amarillento, reposando

sobre una superficie irregular del Complejo Basal en unos sitios y sobre el grupo Ambo en otros, con grosores que varían entre 50 y 260 m.

El afloramiento más occidental se encuentra en la parte baja del Cerro de Arena, yaciendo directamente sobre el Complejo basal, donde forma pequeños acantilados. La litología observada en esta Formación consiste de areniscas friables de color gris y de grano medio, intercalados con algunas capas de conglomerados y en mayor proporción de arcillas, lutitas y lodolitas de estratificación delgada.

A menudo se observa lentecillos y yeso, incrustaciones y eflorecencias salinas y en algunos sitios afloran pequeñas manchas ferruginosas.

La orientación de las capas es variable, pero de un modo general los buzamientos son de 8° a 10° con dirección Norte. A lo largo de la carretera Panamericana entre Ocoña y Camaná se advierte suaves flexuras así como varias fallas de poco desplazamiento intraformacional.

De acuerdo a los fósiles encontrados y teniendo en cuenta sus relaciones estratigráficas, se les correlaciona a estos sedimentos con los de dichas formaciones y se les asigna una edad desde el Oligoceno medio a Mioceno Superior.

13) Formación Alfabamba (Tm-al)

Guevara, C. y Dávila, D. (1983), describen con esta denominación a una gruesa secuencia de tobas brechoides, expuestas en las cercanías del poblado de San Miguel de Alfabamba. Litológicamente la formación está representada por tobas brechoides, riolíticas y dacíticas de color blanco amarillento, con tonalidades rosadas y marrón violácea.

Aflora en forma bien definida en la parte nororiental del departamento junto a los grandes cuerpos intrusivos. Las dacitas son porfiroblásticas, de tonos marrón violáceo y alternan con tobas riolíticas de aspecto brechoso, y riolitas, igualmente brechoides de tonalidades rosadas y con textura fluida. Pertenecen al terciario medio.

14) Formación Orcopampa (Tm-or)

Esta formación fue inicialmente descrita por Caldas, J. (1994) en el cuadrángulo de Orcopampa. Dentro del área de trabajo tiene una amplia distribución y es la unidad volcánica más abundante del grupo Tacaza. Se le encuentra al Sur de Velille; donde está compuesta, en forma general, por estratos aglomerádicos de composición dacítica, de colores variables que gradan de gris violáceo a verdoso; excepto en las capas inferiores donde son mayores, tienen formas subangulosas a subredondeadas y están distribuidos en una matriz piroclásticas. Hacia arriba los bancos son masivos y se intercalan con piroclastos tobáceos y compactos en capas centimétricas. La composición dacítica de los clastos es muy común, tienen textura porfírica y están compuestos esencialmente por hornblenda, piroxeno y biotita. El grosor de la secuencia aglomerádica se estima en 1 000 m.

Una muestra tomada de este cuerpo indica que se trata de una toba traquítica de color gris claro a blanquecino en fractura fresca, que meteoriza a marrón sucio con manchas amarillentas. La roca exclusivamente está constituida por vidrio y feldespatos potásico, como accesorios tiene zircón y moldes de ortopiroxenos, feldespato Ca-Na, clorita, cuarzo y biotita. La alteración típica es silicificación, biotización moderada y cloritización débil a moderada. En general las cavidades y venillas están rellenas de cuarzo, la clorita escasa rellena cavidades y está rodeada por cuarzo, también rodea a feldespatos y las arcillas reemplazan a feldespatos y piroxenos.

Aflora mayormente en los alrededores de Orcopampa extendiéndose hacia las partes altas de la cordillera. En esta formación no se ha encontrado fauna ni flora fosilífera, pero las dataciones, efectuadas en las inmediaciones de la mina Orcopampa y en el cuadrángulo de Caylloma por Noble, D, et al (1974), las determinaciones geocronológicas hechas por el método K/Ar dieron edades que corresponden al Mioceno Inferior.

15) Formación Moquegua (Ts-mq)

Se sigue usando este nombre, desde Steinman en 1930 Y corresponde a una formación de litología muy variable que cubre con débil discordancia a las rocas eocénicas y oligocénicas y con fuerte discordancia angular a los depósitos del Mitu, Ambo y Complejo basal a lo largo de la faja costera de Arequipa.

Uno de sus mejores afloramientos es el que se extiende desde la margen izquierda de la quebrada Ocoña hacia el Este, conformando una planicie de poco declive que cae al Sureste, tal como se le observa en Pampa Chica, Primera Pampa, Pampa Blanca, Pampa grande y Lomas Altas.

Esta formación está compuesta en su parte Superior por un conglomerado arenoso, inconsolidado que alcanza un espesor máximo de 80 metros, cuyos elementos se encuentran en una matriz arenosa y arenotufácea, constituidos por rodados de granito, granodiorita, areniscas y lavas. Dentro del conglomerado existen lentes de lapilli, cenizas y tufos retrabajados, que hacia la parte Superior cada vez se hacen menos persistentes. En las partes más altas se distinguen rodados erráticos redondeados y sub-redondeados de rocas mayormente volcánicas con el típico barniz del desierto. En el camino de Cuno-Cuno a Urasqui, se ha observado en la parte Superior; notándose además una selección en cuanto a la proporción de los elementos basálticos hacia el Este, sobre las partes mas superiores del depósito, como se puede observar en el sector Este de la quebrada Ocoña, tanto en los flancos como en las pampas.

Como el origen de esta Formación es Continental y carente de material fosilífero, sobre la edad de estos depósitos sólo es posible decir que son posteriores a los depósitos de la Formación Camaná. Desde el punto de vista de su posición estratigráfica así como por su litología corresponde por lo menos en parte a la denominada Formación Moquegua, cuya edad varía posiblemente desde el Mioceno al Plioceno y probablemente hasta el Pleistoceno, criterio al que se ha llegado teniendo en cuenta la actividad volcánica del Sur del Perú.

16) Volcánico Chachani (Qp-cha)

Cubriendo parcialmente las rocas terciarias y pre-terciarias descritas que afloran en las Mesetas ubicadas entre los ríos Chaparra y Ocoña, aflora una secuencia volcánica con notoria discordancia angular y de naturaleza principalmente tufácea.

Estos tufos son de composición riolítica y en menor proporción dacítica, siendo sus constituyentes de naturaleza vítrea, cristalinos y líticos, los minerales que se han determinado macroscópicamente son los siguientes; feldespato potásico, plagioclasas, cuarzo, vidrio volcánico, biotita y óxidos de hierros. Además de los mencionados, se tiene tufos de contenido salino. Así mismo, en otros lugares los tufos ofrecen una marcada disyunción columnar, lo que es característico en este tipo de rocas, formando bloques prismáticos con un diámetro muchas veces Superior a los 4 m; también, en algunos sectores, se puede advertir una disyunción en planos horizontales, perpendiculares a los anteriores, particularidad que ofrece una pseudo-estratificación.

En la quebrada de Ocoña, directamente sobre el Complejo basal y en solución de continuidad con los tufos de la Meseta, se encuentra unas lavas de color gris a negro,

de composición andesítica y basáltica. Dichas lavas se encuentran estratificadas en algunos sitios tal como se ve cerca de la localidad del Platanal, mientras que en otros lugares se hallan macizas, observándose afloramientos aún en el mismo lecho del río.

Los tufos en la Meseta tienen altitud promedio entre los 1 050 Y 2 400 m.s.n.m. con un grosor máximo de 80 metros, pero a lo largo de las quebradas la propagación de los tufos es a manera de lenguas que tienen un espesor entre 2 y 10m. En cambio, las lavas en el fondo del valle se encuentran desde los 150 m.s.n.m. hacia arriba y con potencias de 20 a 30 metros. En general los derrames de lavas decrecen en grosor como es natural desde las montañas hacia el mar.

A los volcánicos de Ocoña por la similitud litológica y posición estratigráfica tan parecidos al volcánico Chachani estudiado por Jenks (1948) en el área de Arequipa, se les correlaciona en parte y se les asigna una edad pleistocénica.

17) Depósitos Fluvioglaciares (Qp-fg)

Están referidos a materiales morrénicos poco consolidados y depositados en bancos irregulares, que han sido previamente transportados por las aguas a partir de depósitos glaciáricos más antiguos. Se distribuyen en la parte alta del departamento con mayor amplitud al norte de Chivay.

18) Depósitos Glaciares (Qp-g)

Estos depósitos están restringidos a los sectores más septentrionales de la cordillera Occidental. Están constituidos por brechas inconsolidadas en matriz microbrechosa o arenácea, se les ubica aisladamente en las partes altas de la cordillera occidental y flanco oriental andino, ocupando amplios sectores en la parte oriental del departamento.

19) Formación Sarasara (Qr-ss)

Se conoce con esta denominación a una serie volcánica-clástica que proviene del Volcán Sarasara y que se distribuye en el sector sur de Cotahuasi, encontrándose las mejores exposiciones en los cortes de las quebradas.

En la parte Inferior está compuesta por aglomerados volcánicos de matiz rosado con fragmentos angulosos y sub-angulosos de roca andesítica, dacítica y riolítica de 0,54 a 30 cm, dentro de una matriz de ceniza.

Encima de estos piroclásticos se hallan microconglomerados semiconsolidados, con rodados que llegan a alcanzar 0,5 cm de diámetro, intercalados también con areniscas de grano medio con biotita, zircon, esfena y minerales opacos. La arcilla es el mineral secundario y se presenta dentro de la matriz hialina ligeramente devitrificada. La textura es vitrofídica y la roca ha sido clasificada como un vitrófido andesítico.

Este depósito se ha formado en un ambiente lacustre con materiales provenientes de las últimas manifestaciones explosivas del volcán Sarasara. Por cubrir directamente al Grupo Barroso del PlioPleistoceno, se le asigna una edad correspondiente al Post-Pleistoceno.

20) Depósito Aluvial Reciente (Qr-al)

Estos depósitos están constituidos por materiales acarreados por los ríos emplazados en las depresiones de los valles formando terrazas y conos aluviales deyectivos, se puede observar a lo largo de los principales ríos formando extensas terrazas fluviales,

con presencia de arcillas y arenas finas con gravas arenosas bien clasificadas, y en la profundidad una mezcla de rodados y arenas.

Los depósitos aluviales se emplazan a lo largo de las quebradas de aguas estacionales, están constituidas por gravas mal clasificadas mezcladas con limas y arenas en forma caótica, en lugares de cursos amplios se han desarrollado capas de arcilla y arcilla gravosa que se utiliza para la agricultura. Se distribuyen ampliamente en todo el departamento ocupando las partes bajas de los valles.

2.7.5 Rocas Ígneas

1) Riolita (T-ri)

El material que constituyen estos intrusitos se presentan en el campo como una roca blanca o verdosa clara, dura y maciza, con escasos cristales de cuarzo y feldespato dentro de una matriz fina cuya composición no se aprecia aun al estudio micropetrográfico de láminas delgadas. Su edad ha sido estimada dentro del terciario inferior.

2) Diorita (T-di)

Las rocas muestran cambios frecuentes de textura, granularidad y proporción de sus minerales constituyentes. Las determinaciones microscópicas indican la presencia de dioritas cuarcíferas y piroxénicas, granodioritas y hasta granitos.

Según la posición que ocupan y sus relaciones con otros intrusitos se les ubica dentro del cretáceo superior, aunque también existen afloramientos más modernos, correspondientes al terciario.

En general las dioritas se presentan en las zonas marginales del macizo. Se distribuyen parcialmente al noroeste de Caravelí, prolongándose hacia Ayacucho.

3) Granodiorita, Dacita, Andesita, diorita, tonalita (T-gd/da/an/di/to)

Se trata de un cuerpo alargado de clara dirección N-S, se han emplazado cortando una secuencia volcánico sedimentaria, ya que en algunos lugares se observan remanentes de esta unidad a modo de techos colgantes, tienen composición muy variada.

Las granodioritas son cuerpos intrusivos de color gris leucócratas a mesócratas, de grano medio, holocristalinas, hipidiomórficas; sus componentes principales son: plagioclasa, cuarzo feldespato potásico y biotita. Las plagioclasas son a veces zonadas y con bordes corroídos. Las facies marginales de estos plutones corresponden a dioritas de extensión limitada. El mineral de alteración más frecuente es la sericita se considera que estos cuerpos plutónicos se emplazaron durante el terciario o cretáceo terminal.

Las dacitas presentan colores grises, conteniendo minerales de ortosa, cuarzo lechoso y biotita con porcentajes menores de plagioclasa y fracturas rellenas por cuarzo con presencia de minerales de hemática, limonita y azurita.

Las andesitas son rocas volcánicas del grupo Traquita - Andesita, cuya composición mineralógica está alterada y la masa félsica es turbida, por lo que se puede encontrar fenocristales rómbicos de albita que contienen abundante sericita, acompañado de fenocristales de micropertita bien alterados, mostrando desarrollo de clorita y de calcita. Los fenocristales máficos preservados son óxidos de hierro y apatita, los ferromagnesianos han sido reemplazados por carbonato:

Los cuerpos de tonalita son de Textura granular hipidiomórficas, siendo los minerales esenciales las plagioclasas con formas euhedrales a anhedrales, ocasionalmente como granoblastos; se tiene además hornblenda y cuarzo de forma anhedral. Entre los minerales accesorios se considera la sericita, epídota-zoicita, arcillas, feldespatos potásico piroxenos, cloritas, y opacos en trazas, así también carbonatos, albita, esfena, apatito y zircón.

Estas intrusiones se han emplazado durante el Paleógeno y regionalmente se encuentran cortando a unidades más jóvenes.

4) Granito, Granodiorita, Tonalita (Ks-gr/gd/to)

Podemos diferenciar dos grandes batolitos: El gran batolito conocido como “Villa azul”, conformado principalmente de granito y en menor proporción de granodiorita. El otro llamado “Batolito Andino Costanero”, a manera de una franja paralela a la cordillera andina aunque en gran parte se encuentra cubierta por derrames volcánicos. Está compuesta principalmente de granitos, granodioritas y tonalitas.

5) Gabrodiorita, Tonalita, Granito, Diorita, Microdiorita (Kti-gdi/to/gr/di/mdi)

El emplazamiento de este batolítico se ha desarrollado durante el Cretáceo Superior a lo largo de los lineamientos plutónicos principales, uno hacia el oeste relacionado con el levantamiento de la cordillera occidental y otro hacia el este relacionado con la cordillera central pero con bastante similitud petrográfica.

La roca es de textura granular porfirítica con ortosa, cuarzo y plagioclasa. Se intercala con un gran Plutón no diferenciado debido a la falta de acceso, litológicamente varían entre tonalita granito, diorita y microdiorita.

Los cuerpos de tonalita son de Textura granular hipidiomórficas, siendo los minerales esenciales las plagioclasas que en composición varía de andesina a oligoclasa y sus formas son euhedrales a anhedrales, ocasionalmente como granoblastos; se tiene además hornblenda y cuarzo de forma anhedral, y a veces ocurre como intersticios. Entre los minerales accesorios se considera a la sericita, epídota-zoicita, arcillas, feldespatos potásicos, piroxenos, cloritas, opacos en trazas, así también carbonatos, albita, esfena, apatito y zircón.

Los cuerpos de granito al microscopio son de color gris, algo rosado hasta rojizo, holocristalina, equigranular, grano grueso a medio. Entre sus componentes se distinguen plagioclasas de color gris a gris blanquesino, a veces teñido de rojizo por la limonita proveniente de la descomposición de los minerales de hierro; ortosa rosada; cuarzo en granos pequeños y en proporciones variables.

La diorita es gris verdosa a negra, de textura granular a algo gnéisica, grano grueso a fino en la que se destacan a simple vista a minerales como plagioclasas, hornblenda, biotita y cuarzo y la microdiorita se presenta a manera de pequeños afloramientos asociados espacialmente a las secuencias del grupo Mitu.

5) Complejo Bella Unión y Superunidad Santa Rosa (Ks-bu/sr)

Fase Intrusiva de grandes magnitudes, localmente denominadas volcánico Intrusivo Bella Unión. En el campo pueden distinguirse tres fases de emplazamiento, cada una con su respectivo tipo de roca, litológicamente similares. El primero y de mayor volumen, está constituido por brechas de intrusión en forma de grandes bloques angulares y sub-angulares, producidos por la acción mecánica de emplazamiento y que por erosión diferencial le da una estructura cavernosa.

El segundo, estructuralmente similar al primero constituido por brechas intrusivas, con fragmentos angulosos y de tamaños menores que en el caso anterior y volumétricamente menor que la fase principal de emplazamiento. El tercero consiste en diques porfíricos y dacíticos de variada naturaleza, íntimamente asociados a vetas e impregnaciones de minerales cupríferos.

Petrográficamente está constituido por andesitas y dacitas porfíricas marrones o violáceas, con tonos que varían a gris-verdes por alteración hidrotermal. El feldespato principal es la andesina, los accesorios son clinopiroxenos, presentándose raras veces hornblenda, tienen abundantes minerales opacos y los minerales secundarios son sericita, hematita, calcita y cuarzo.

Regionalmente las unidades mesozoicas más jóvenes, intruídas por estos hipabisales, son las albianas que están a su vez afectadas por el Batolito de la Costa, cuyo rango de emplazamiento está estimado entre el Cretáceo Superior y el Terciario medio (Aptiano-Albiano) por lo que el Volcánico Intrusivo Bella Unión debe haberse emplazado entre el Cretáceo medio a Superior.

Por otro lado el segmento de Lima del batolito está dominado por las rocas de la superunidad Santa Rosa. Se ha visto por conveniente dividir la superunidad Santa Rosa dentro de dos grupos, un pálido Santa Rosa claro que varía de tonalita a monzogranito y una Santa Rosa oscura, la cual varía de una tonalita a diorita. Esta división amplia ha sido mantenida para ser generalmente trabajable, pero en algunos lugares parece haber una transición entre los dos.

Los complejos más ácidos de Santa Rosa pálida pueden ocurrir como variaciones locales en los puntos o como simples pulsaciones en plutones definidos los cuales penetran como grandes plutones de Santa Rosa pálida.

Los afloramientos de Santa Rosa oscura tienden a estar en situaciones marginales del plutón Santa Rosa pálida. Una relación, la cual es común y ha sido bien establecida en otra parte del batolito de la costa. Los ejemplos están en la margen norte del plutón Pampa Maltino, la zona central del techo de plutón de Mata Caballo y también varios techos colgantes esparcidos en el Plutón de Piedra Labra. En el departamento de Arequipa afloran aisladamente en el sector noroeste con continuidad hacia Ayacucho



2.8 SUELOS

Según la clasificación de suelos elaborada por ONERN se ha representado los suelos mediante una unidad cartográfica amplia: La Asociación de Suelos, utilizando como unidades taxonómicas los Grandes Grupos de Suelos significativos. (Ver Mapa 9)

Las asociaciones se identifican en el Mapa de Grandes Grupos de Suelos mediante símbolos literales, complementariamente a la simbología edáfica, se ha añadido las Clases de Capacidad de Uso dominantes, expresados en números romanos, con el fin de señalar el potencial agropecuario de cada una de ellas. En algunos casos se ha recurrido al empleo de una fracción donde el numerador representa la clase dominante y el dominador la clase subdominante.

2.8.1 Grandes Grupos Edáficos y su aptitud de uso dominante

A continuación, en el Cuadro 2.4 mostramos la relación de Grupos Edáficos identificados dentro de la cuenca y su aptitud de uso dominante.

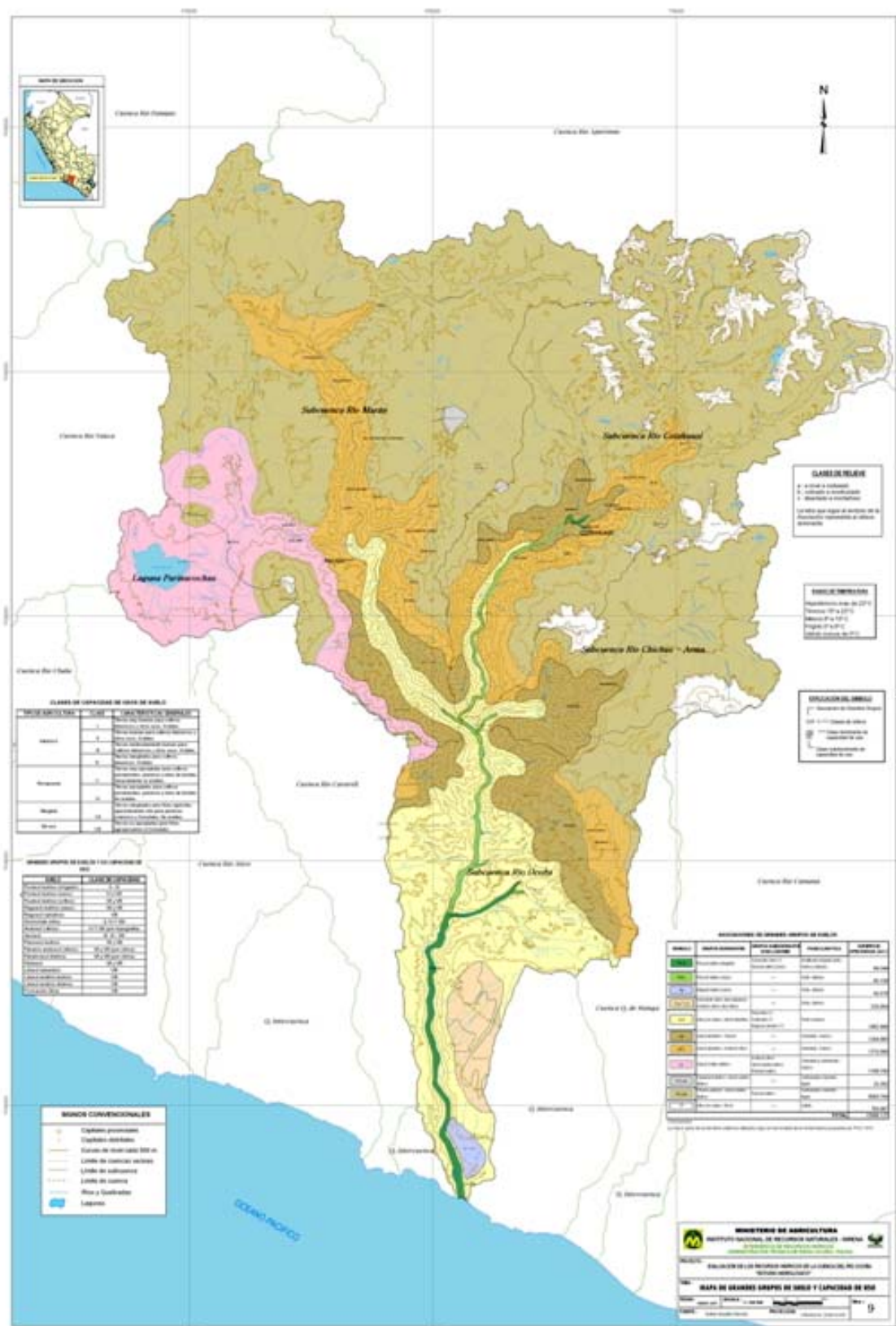
Cuadro 2.4: Los grandes grupos de suelos y su aptitud de uso dominante

GRAN GRUPO DE SUELOS	APTITUD AGRÍCOLA GENERAL
Fluviosol éútrico (irrigado)	Buena
Fluviosol éútrico (seco)	Regular aptitud para fines agrícolas si se proporciona riego. Mayormente sin ninguna potencialidad, principalmente por su ubicación y por riesgos de inundación
Fluviosol éútrico (crítico)	Sin potencialidad para fines agrícolas por clima principalmente
Regosol éútrico (seco)	Sin potencialidad para fines agrícolas por deficiencias de suelo y topografía principalmente
Regosol calcárico	Sin potencialidad para fines agrícolas por deficiencias de suelo principalmente.
Solonchak órtico	Buena a limitada potencialidad para fines agrícolas, por deficiencias de suelo, siempre que se elimine el exceso de sales y se les proporcione riego adecuado
Solonchak órtico, fase hardpánica	Limitada a ninguna potencialidad para fines agrícolas por deficiencia de suelos y topografía
Andasoles vítrico	Regular potencialidad para fines agrícolas por deficiencia de topografía principalmente
Andasoles vítrico, fase dúrica	Sin potencialidad para fines agrícolas, por severas limitaciones de suelo y en menor grado, topografía.
Xerosoles	Regular potencialidad para fines agrícolas, con deficiencias en topografía principalmente
Planosol éútrico	Sin potencialidad para fines agrícolas por clima. Mediana potencialidad para propósitos pecuarios de tipo lanar y vacuno
Páramo andasol	Sin potencialidad para fines agrícolas. Mediana potencialidad para propósitos pecuarios de tipo lanar principalmente
Parámoslo dístrico	Sin potencialidad para fines agrícolas por clima y topografía. Mediana potencialidad para propósitos pecuarios de tipo lanar principalmente
Litosol desértico	Sin potencial agrícola, por severas condiciones de suelo y topografía
Litosol andino éútrico	Sin potencialidad para fines agrícolas por clima y topografía. Mediana potencialidad para propósitos pecuarios
Litosol andino dístrico	Sin potencialidad para fines agrícolas por clima y topografía. Mediana potencialidad para propósitos pecuarios
Formación Lítica	Sin ningún valor para propósitos agropecuarios

2.8.2 Asociaciones de grandes grupos

En esta sección haremos una relación abreviada de las asociaciones reconocidas y delimitadas en la zona de estudio, las mismas que se muestran en el mapa de suelos [Mapa 9](#).

- 1) Asociación Fluviosol éutrico (irrigado) **Fe(i)**
- 2) Asociación Fluviosol éutrico (seco) **Fe(s)**
- 3) Asociación Regosol éutrico (seco) **Re**
- 4) Asociación Solonchak órtico **So**
- 5) Asociación Solonchak órtico, fase hardpánica **Som**
- 6) Asociación Solonchak órtico, fase hardpánica - Andasoles vítrico fase dúrica **Som Tvm**
- 7) Asociación Lítico – Litosol desértico **LLd**
- 8) Asociación Litosol desértico – Xerosoles **Ld X**
- 9) Asociación Litosol desértico – Andosol vítrico **Ld Tv**
- 10) Asociación Litosol andino districo **La**
- 11) Asociación Parámosol districo – Litosol andino districo **Pd Lad**
- 12) Asociación Parámo andasol – Litosol andino districo **Pa Lad**
- 13) Asociación Lítico – Nival **LN**



2.9 GEOMORFOLOGIA

2.9.1 Descripción de la cuenca

La cuenca del río Ocoña, se ubica en la zona sur del Perú, y pertenece a las cuencas de la vertiente del Pacífico. Tiene como límites al Nor Oeste las cuencas de Acarí y Yauca, y hacia el Sur Este la cuenca del río Camaná.

Esta posee un área total de 15 998,12 Km². Se caracteriza principalmente por poseer un relieve bastante variado, entre los 0 a 1000 m.s.n.m. posee un relieve bastante plano (zona del Valle de Ocoña), y por un relieve muy accidentado principalmente por encima de los 2500 m.s.n.m. En esta cuenca podemos encontrar el Cañón de Cotahuasi, que alcanza una profundidad de 3 354 metros, siendo uno de los más profundos del Perú.

La principal actividad agrícola de la cuenca se encuentra en la zona del Valle de Ocoña, abarcando un área de cultivo de 3 540 ha irrigadas con las aguas del río Ocoña.

2.9.2 Tipificación de la cuenca

La división de las sub-unidades geográficas de la cuenca se ha realizado utilizando el método tradicional del “divortium acuarium”, o las divisorias de aguas es decir obedeciendo únicamente a demarcaciones naturales. Se identificaron y delinearón las divisorias de aguas a partir de la visualización de las curvas de nivel y la red hidrográfica disponible, de esta manera las divisorias separan a las diferentes subcuencas junto con sus redes hidrográficas naturales y totalmente independientes de sus vecinas.

Hemos delimitado 5 sub-unidades o subcuencas en la cuenca del río Ocoña, la subcuenca Ocoña, subcuenca Chichas-Arma, subcuenca Cotahuasi; subcuenca Marán y la sub-cuenca Parinacochas; las cuales describimos a continuación y en el [Cuadro 2.5](#) podemos observar las áreas de las sub-unidades, y su delimitación geográfica podemos observarla en el mapa de unidades hidrográficas. Ver [Mapa 10](#)

1) Subcuenca Ocoña

Esta subcuenca tiene una superficie de 2747,6 Km², que equivale al 17,2% de la superficie de la cuenca. El relieve en esta subcuenca es muy variado, tenemos que altitudinalmente varía entre los 0 m.s.n.m. y los 6300 m.s.n.m. El cauce principal tiene una longitud de 119,5 Km., y varía entre los 0 y los 1000 m.s.n.m. presentando una pendiente media de 0.85%. En esta subcuenca la precipitación media anual varía entre los 0 mm en la zona del valle y los 300 mm en su parte más alta. La principal fuente de agua es el río Ocoña que recolecta las aguas que drenan las subcuenca Marán, Cotahuasi y Arma. En esta subcuenca se da la mayor actividad agrícola de la zona.

2) Sub-cuenca Chichas-Arma

Ubicada en la zona sud este de la cuenca, entre las subcuencas Cotahuasi y Ocoña. Abarca una superficie de 1822,3 Km² que equivale a un 11,4% de la cuenca total. Altitudinalmente varía entre los 1000 m.s.n.m. y los 6500 m.s.n.m. El cauce principal tiene una longitud de 85,2 Km. y una pendiente media de 4.8%. La precipitación media anual varía entre los 200 mm/año en su parte mas baja hasta los 500 mm/año en su parte mas alta.

Esta subcuenca se encuentra el nevado Coropuna, por lo tanto el régimen hídrico del río Chichas-Arma se encuentra influenciado por el aporte que producen los deshielos de este nevado.

3) Sub-cuenca Cotahuasi

Ubicada en la zona Nor-Este de la cuenca, abarca una superficie 4405,0 Km², que equivale al 27.5% de la superficie total de la cuenca. Presenta un relieve bastante accidentado, variando altitudinalmente entre los 1000 y los 6000 m.s.n.m. Su cauce principal tiene una longitud de 151,1 Km, con una pendiente media de 3%. Las precipitaciones medias anuales varían desde los 200 mm en la parte baja de la cuenca hasta los 700 mm en sus partes más altas, siendo la unidad hidrográfica con mayor producción de lluvias en la cuenca. En esta subcuenca se encuentra ubicado el cañón de Cotahuasi que alcanza los 3370 m. de profundidad, siendo uno de los cañones más profundos del mundo. Aquí encontramos los nevados Firura y Solimana, cuyos deshielos influyen el régimen hídrico de la cuenca.

4) Sub-cuenca Marán

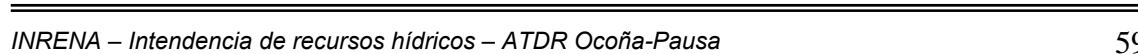
Ubicada en la zona Nor-Oeste de la cuenca, abarca una superficie de 6396,9 Km², que equivale al 40% de la superficie total de la cuenca, siendo la unidad hidrográfica con mayor superficie en la cuenca. Altitudinalmente varía entre los 1000 m.s.n.m. hasta los 5500 m.s.n.m. Su cauce principal tiene una longitud de 162,8 Km. y una pendiente media de 2,3%. Las precipitaciones medias anuales de esta subcuenca varían desde 100 mm en su parte baja hasta los 700mm en las partes más altas de la cuenca.

5) Sub-cuenca Parinacochas

Ubicada en la zona Nor-Oeste de la cuenca. Se trata de una cuenca endorreica (cerrada) donde sus aguas escurren hacia la laguna Parinacochas. Esta cuenca posee un área de 626,3 Km² y representa el 3.9% del área de la cuenca, donde el 67,4 Km² corresponde al espejo de agua de la laguna. Altitudinalmente varía entre los 3300 m.s.n.m. y los 5500 m.s.n.m. La precipitación media anual varía entre los 300 y 400 mm/año. La laguna Parinacochas posee un área de 67,4 km².

Cuadro 2.5: Delimitación Hidrográfica Cuenca del Río Ocoña

N°	SUBCUENCA	AREA (Km ²)	Porcentaje (%)
1	Ocoña	2 747,6	17,2
2	Chichas - Arma	1 822,3	11,4
3	Cotahuasi	4 405,0	27,5
4	Marán	6 396,9	40,0
5	Parinacochas	626,3	3,9
TOTAL		15 998,12	100



2.9.3 Parámetros geomorfológicos

Se ha determinado los principales parámetros geomorfológicos en base a la información cartográfica digital obtenida a partir de las cartas nacionales del IGN 1/1000. Para determinar los principales parámetros geomorfológicos se han tenido en cuenta los siguientes conceptos:

✚ **Área total de la cuenca (A):**

Se considera a toda área cuyas precipitaciones son evacuadas por un sistema común de cauces de agua estando comprendido desde el punto donde se inicia esta evacuación hasta la desembocadura u otro punto de interés. El área total de la cuenca del río Ocoña es de 15998,12 Km².

✚ **Rango de altitud**

Es la diferencia entre la cota máxima y la cota mínima de la cuenca. Entonces tenemos que la cuenca del río Ocoña es de 6300 metros, que va desde los 0 msnm y los 6300 msnm.

✚ **Perímetro de la cuenca**

El perímetro de la cuenca se define como la longitud del contorno del área de la cuenca. Hemos encontrado que para la cuenca del río Ocoña el perímetro es de 883,3 Km.

✚ **Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius (K_c)**

Es un parámetro de forma, que se define como la relación entre el perímetro y el área de la cuenca. Valores de K_c próximos a la unidad nos indica que en la cuenca habrá mayores posibilidades de crecidas debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serían iguales. Se determina con la siguiente relación:

$$K_c = 0,28 \left(\frac{P}{A^{1/2}} \right)$$

Donde

K_c: Índice de compacidad

P: Perímetro de la cuenca

A: Área de la cuenca

La cuenca del río Ocoña presenta un K_c de 1,96 lo cual nos da una idea de que las crecidas no serán muy rápidas. Sin embargo como podemos observar el Cuadro 2.6 y comparamos los diferentes K_c encontrados para las subcuencas, podemos observar que las crecidas serán mas rápidas (tiempo de concentración menor) en la cuenca del río Chichas-Arma (K_c = 1,46).

Factor de forma (F_f)

Se define como la relación entre el ancho medio de la cuenca (A_m) y la longitud del curso de agua más largo. Una cuenca con factor de forma bajo está sujeta a menos crecientes.

$$F_f = \frac{A_m}{L} = \left(\frac{A/L}{L} \right) = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

F_f : Factor de forma

A_m : Ancho medio

A : Área de la cuenca

L : Longitud del río Santa

Para la cuenca del río Ocoña hemos encontrado un factor de forma de 0,20.

Rectángulo equivalente

Se trata de una transformación geométrica donde el rectángulo obtenido tendrá la misma área de la cuenca, el mismo coeficiente de compacidad e idéntica repartición hipsométrica. Lado mayor (L) y lado menor (l). Los lados del rectángulo equivalente están dados por las fórmulas siguientes:

$$L = \frac{K_c}{1,12} \sqrt{A} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad l = \frac{K_c}{1,12} \sqrt{A} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Siendo

L : Lado mayor del rectángulo

l : Lado menor del rectángulo

K_c : Coeficiente de compacidad

La cuenca del río Ocoña presenta un rectángulo equivalente que presenta lados de longitud $L = 56.67$ Km. y $l = 401.9$ Km.

Pendiente media del cauce (S)

Se obtiene dividiendo la diferencia total de la altitud mayor del cauce y la altitud menor del cauce, entre la longitud horizontal del curso de agua entre esos dos puntos.

$$S(\%) = \frac{H_M - H_m}{1000 * L}$$

Donde

H_M : Altitud mayor en metros

H_m : Altitud menor en metros

L : Longitud del curso de agua en Km.

Para la cuenca del río Ocoña, basándonos en el perfil longitudinal de la cuenca hemos encontrado que la pendiente media de la cuenca es de 1,64 %.

A continuación presentamos los principales parámetros geomorfológicos para la cuenca del río Ocoña en el [Cuadro 2.6](#). Los perfiles longitudinales de los principales ríos de cada subcuenca podemos apreciarlos en las [Figuras 2.4 al 2.8](#).

Figura 2.4: Perfil Longitudinal del Río Ocoña

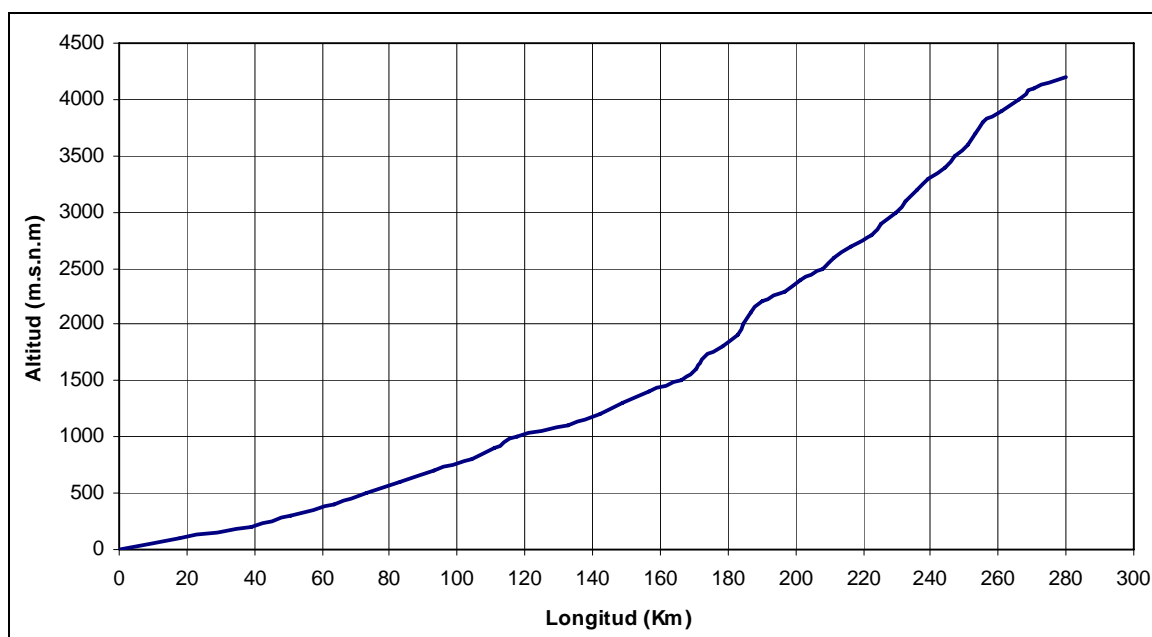


Figura 2.5: Perfil Longitudinal del Río Marán

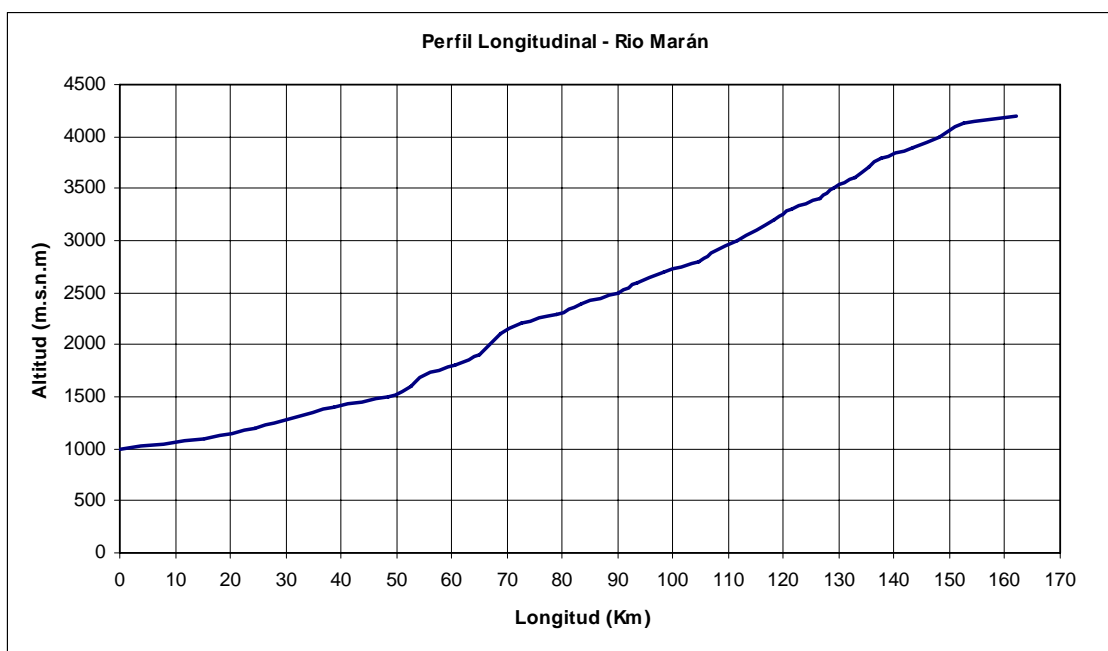


Figura 2.6: Perfil Longitudinal del Río Cotahuasi

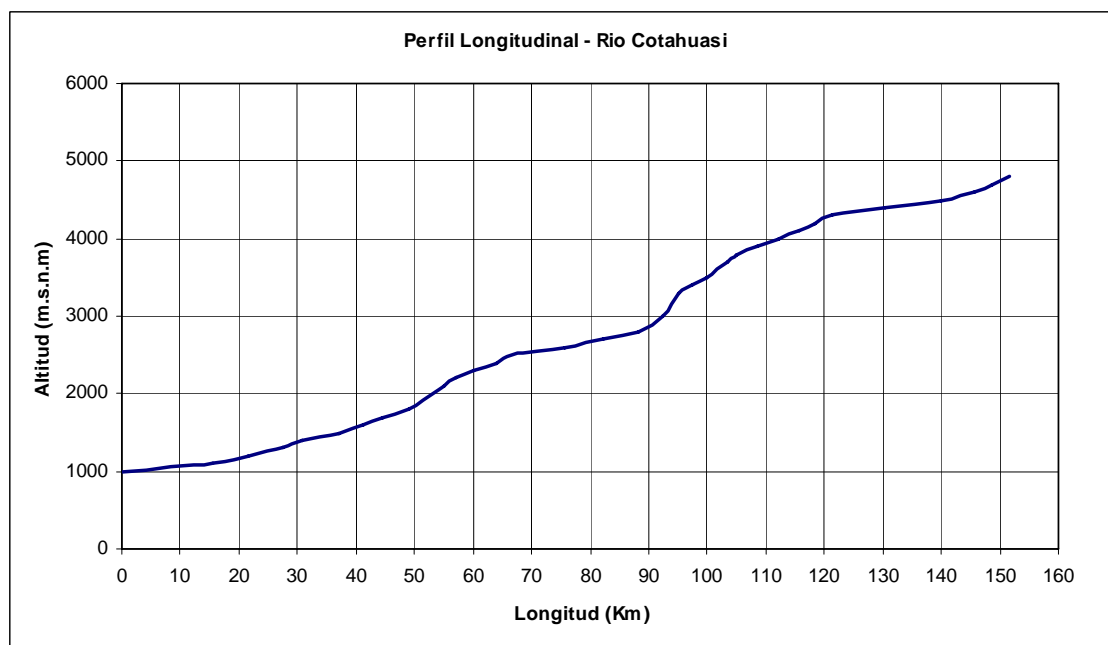


Figura 2.7: Perfil Longitudinal del Río Chichas-Arma

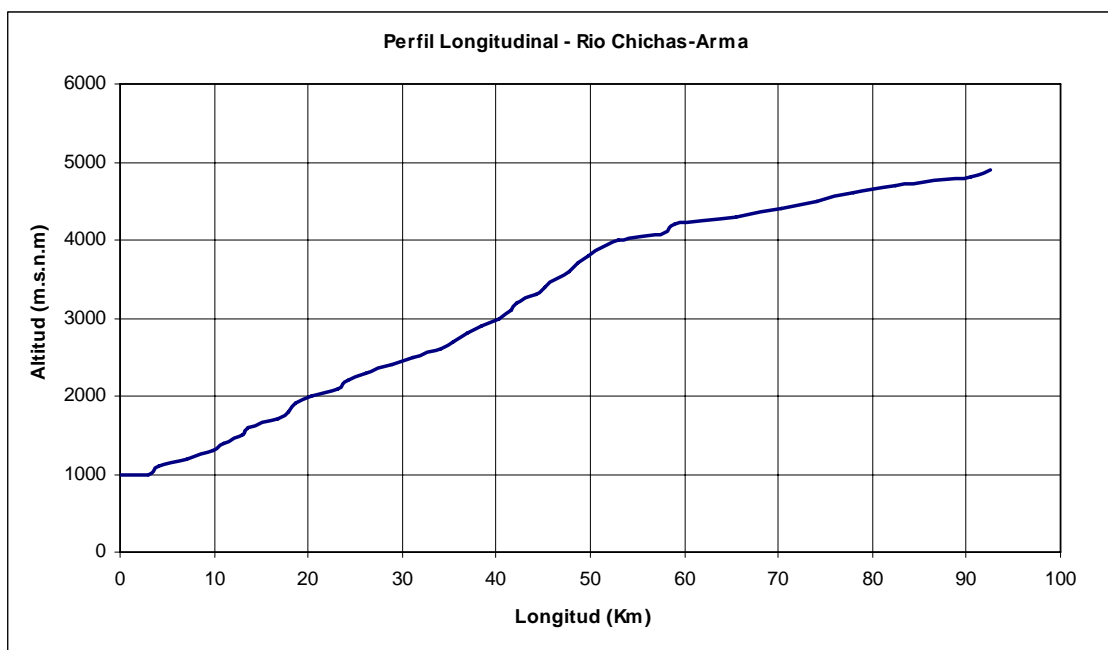
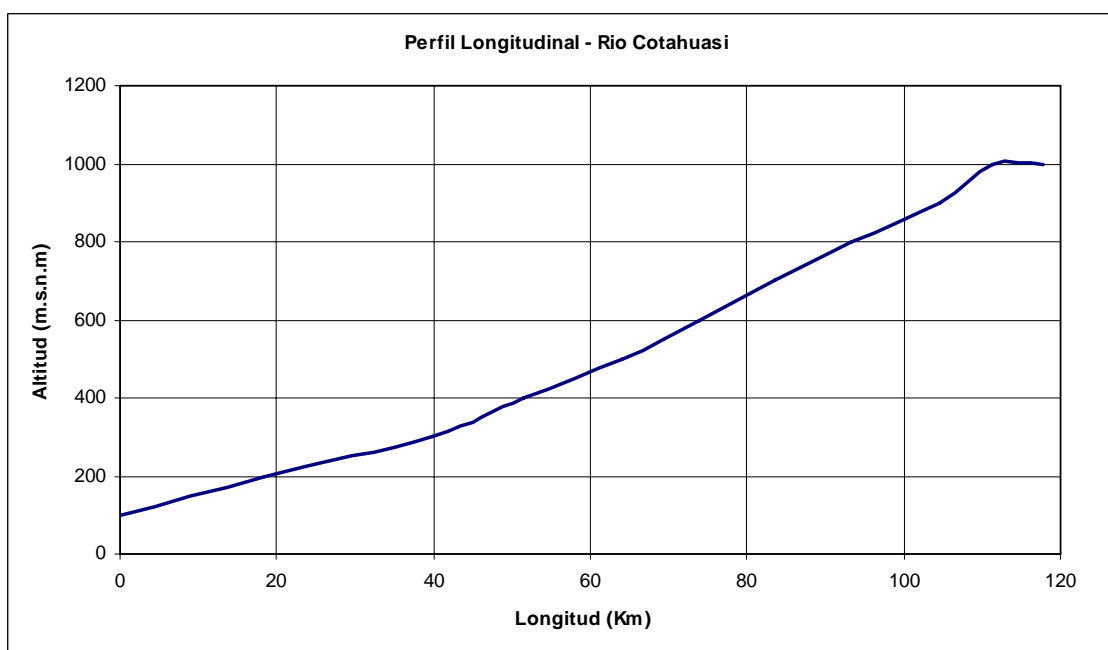


Figura 2.8: Perfil Longitudinal del Río Ocoña (Subcuenca Ocoña)



Cuadro 2.6: Principales parámetros geomorfológicos para la cuenca del río Ocoña

Cuenca	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Altitud (m.s.n.m.)	Rango de Altitud (m)	Kc	Longitud del río (Km)	Ff	Rectángulo Equivalente		Am (Km)	Pendiente media S (%)
								L (Km)	I (Km)		
Ocoña	15998,12	883,3	0-6300	6300	1,96	282,3	0,20	56,67	401,9	39,8	1,64
Subcuencas											
Ocoña	2747,62	348,7	0-6300	6300	1,86	119,5	0,19	22,99	156,6	17,5	0,8
Chichas - Arma	1822,29	222,9	1000-6300	5300	1,46	85,2	0,25	21,38	91,6	19,9	4,8
Cotahuasi	4405,00	396,5	1000-6000	5000	1,67	151,1	0,19	29,15	172,7	25,5	3,0
Maràn	7023,21	515,2	1000-5500	4500	1,72	162,8	0,27	43,15	226,6	31,0	2,3

2.9.4 Relación Área – Altitud

El relieve de una cuenca condiciona el escurrimiento, así tenemos que la mayor parte de parámetros meteorológicos e hidrológicos (precipitaciones, caudales específicos, temperaturas, etc.) se presentan en función de la altitud y es interesante calcular, la distribución de la cuenca en Km² y en % de la superficie total, por tramos de alturas. Para representar esta distribución hemos construido dos gráficos:

1) Curva Hipsométrica

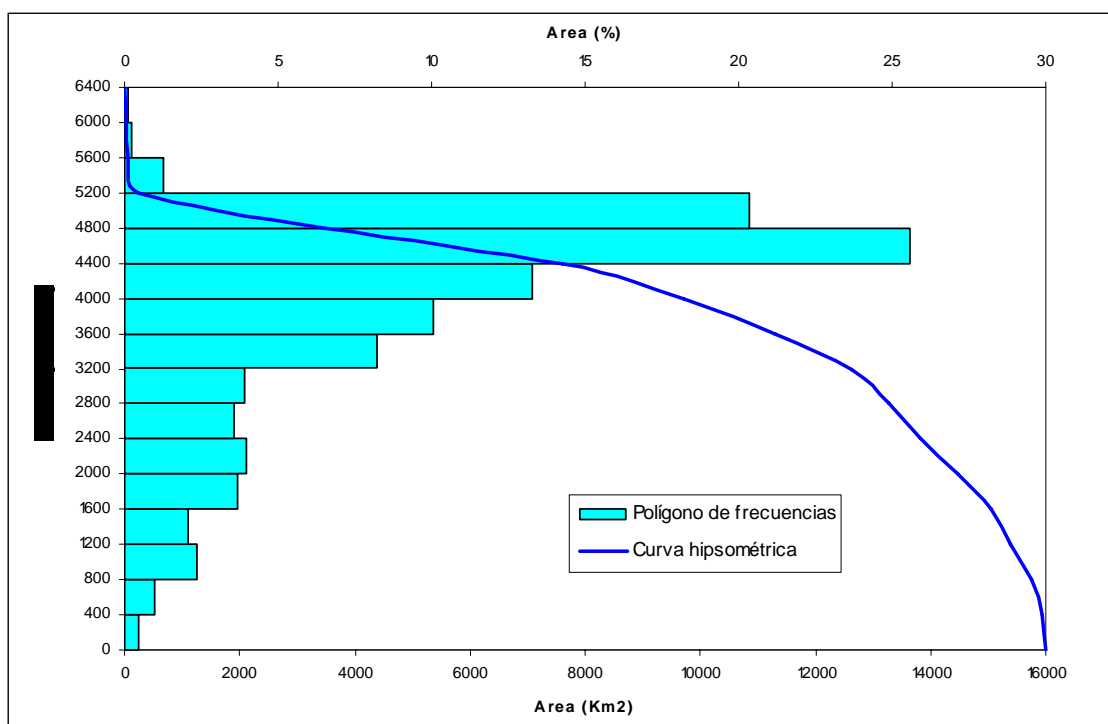
Mediante la curva hipsométrica definimos el relieve mediante una gráfica de doble entrada cota-superficie acumulada. Los datos de elevación son significativos sobre todo para considerar la acción de la altitud en el comportamiento de la temperatura y la precipitación.

2) Polígonos de Frecuencias

Se define como la proporción, en porcentaje de la superficie total de la cuenca comprendida entre curvas de nivel (rangos de altitud).

Las curvas hipsométricas y los polígonos de frecuencias para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas podemos observarlas en las Figuras 2.9 al 2.14

Figura 2.9: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias para la cuenca del río Ocoña



En la Figura 2.9 podemos observar que en la cuenca del río Ocoña, la mayor área se encuentra concentrada entre los 4000 m.s.n.m y los 5200 m.s.n.m (57.1 %). Debido a que dentro de este rango de altitudes se presentan las mayores precipitaciones, esta cuenca presenta una alta capacidad recepción de precipitaciones.

Figura 2.10: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias para la subcuenca Ocoña

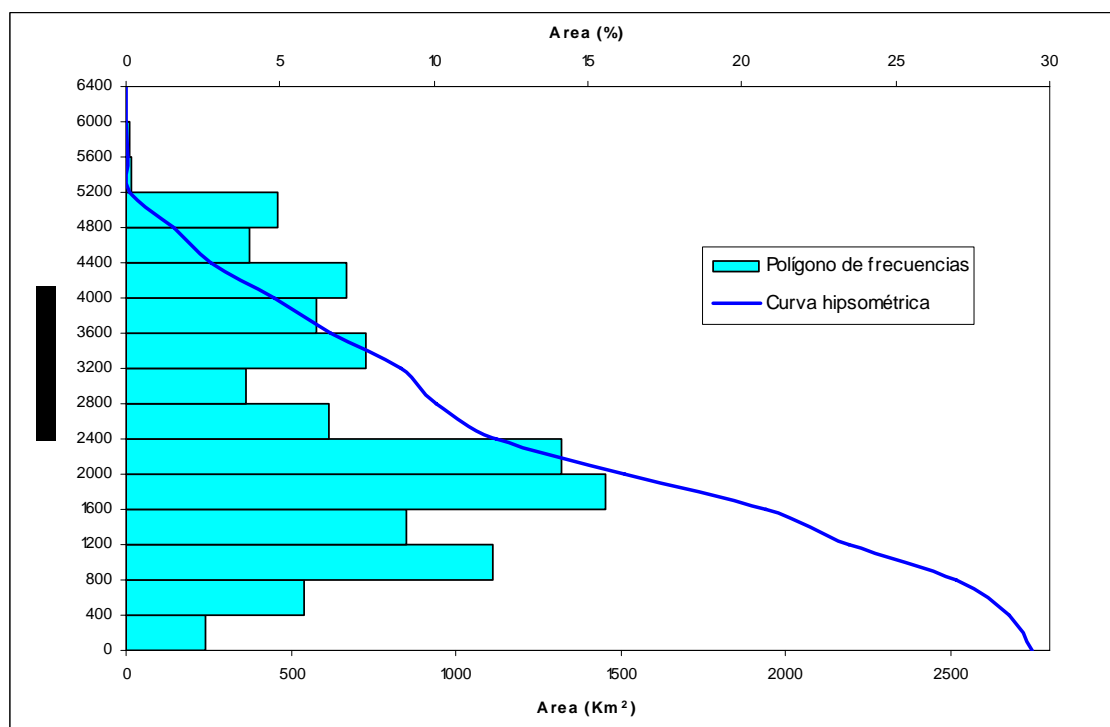


Figura 2.11: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias para la subcuenca Chichas-Arma

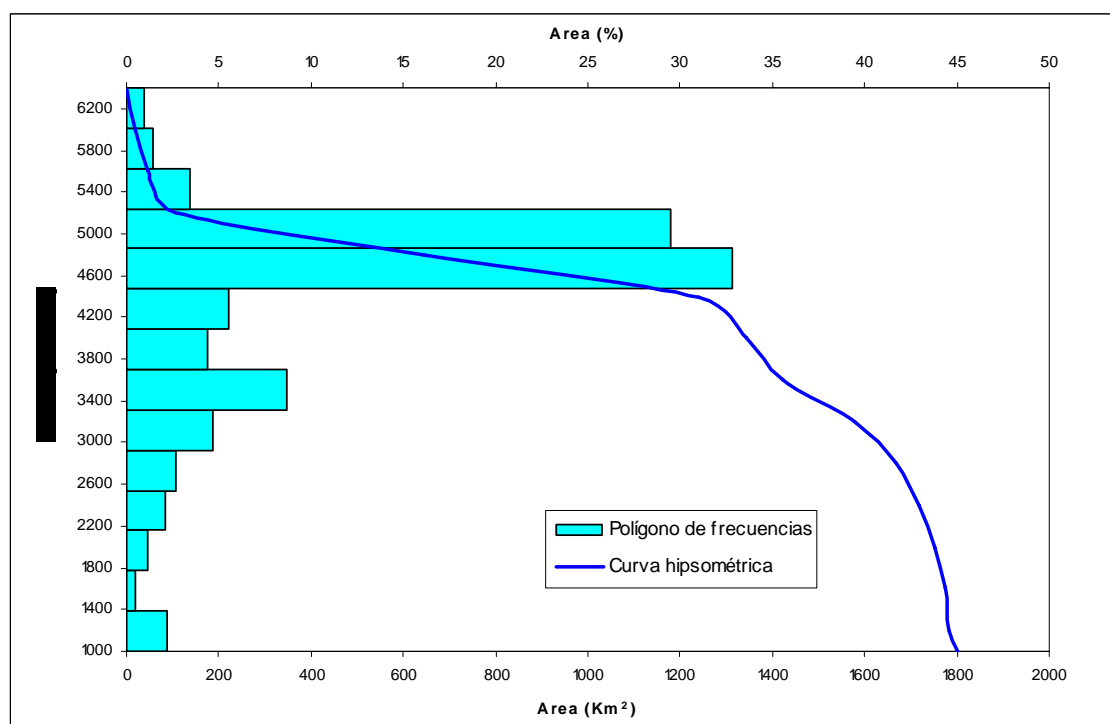


Figura 2.12: Curva Hipsométrica y polígono de frecuencias para la subcuenca Cotahuasi

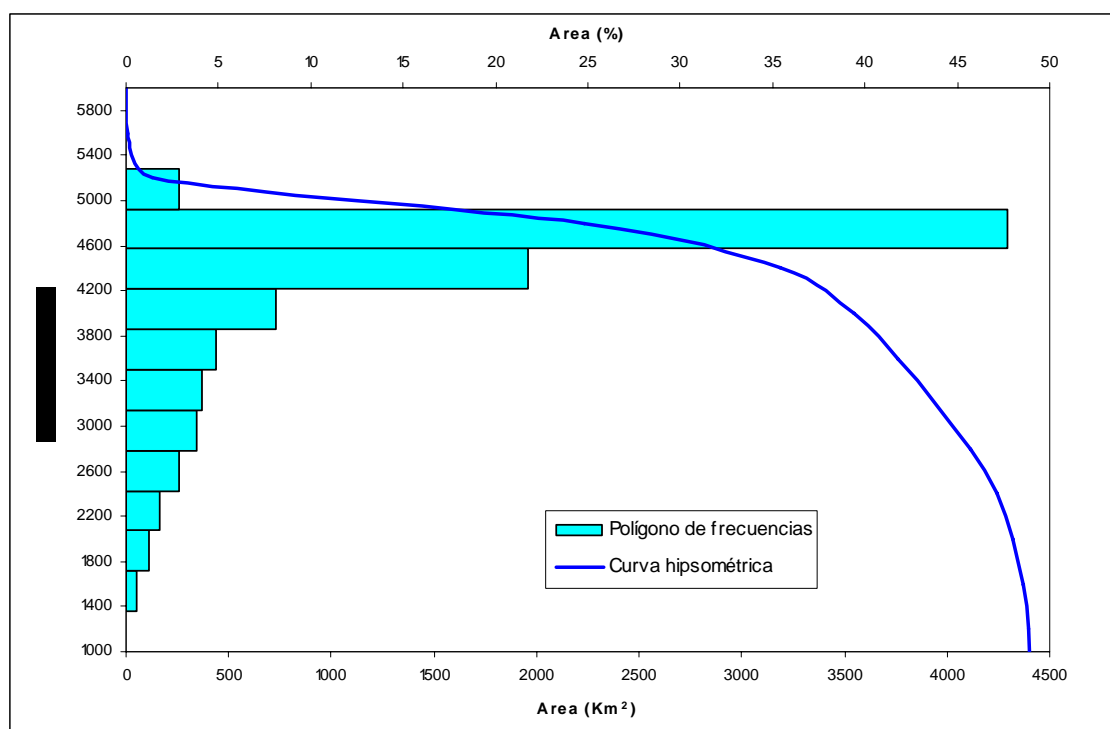


Figura 2.13: Curva hipsométrica y polígono de frecuencias de la subcuenca Marán

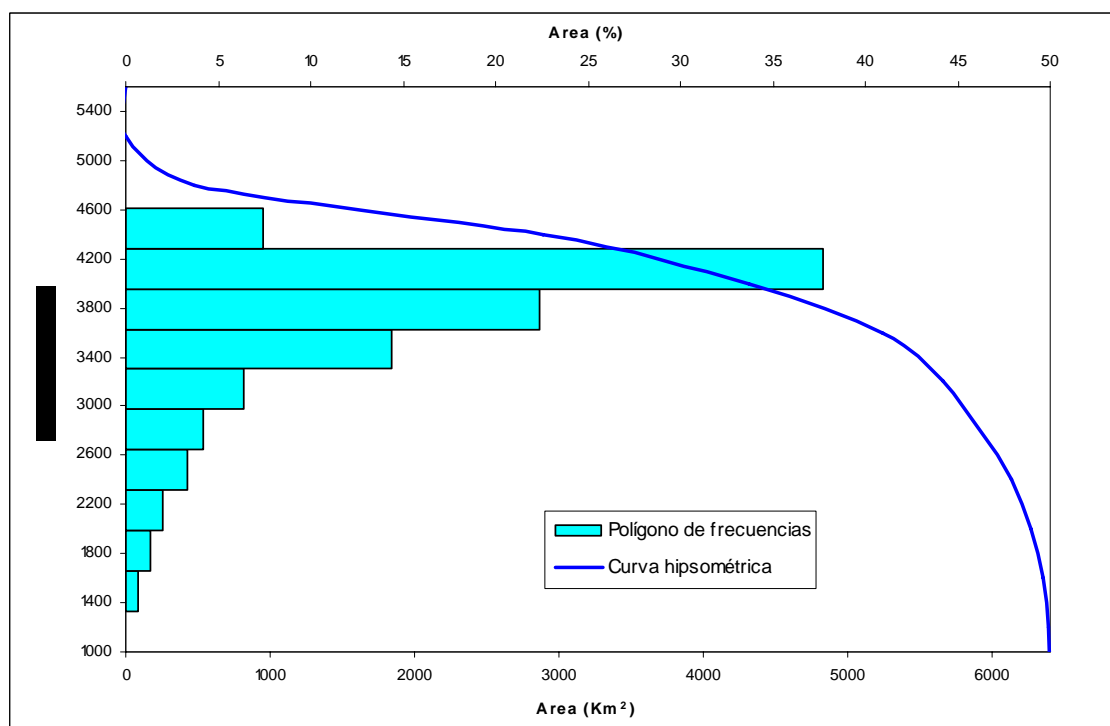
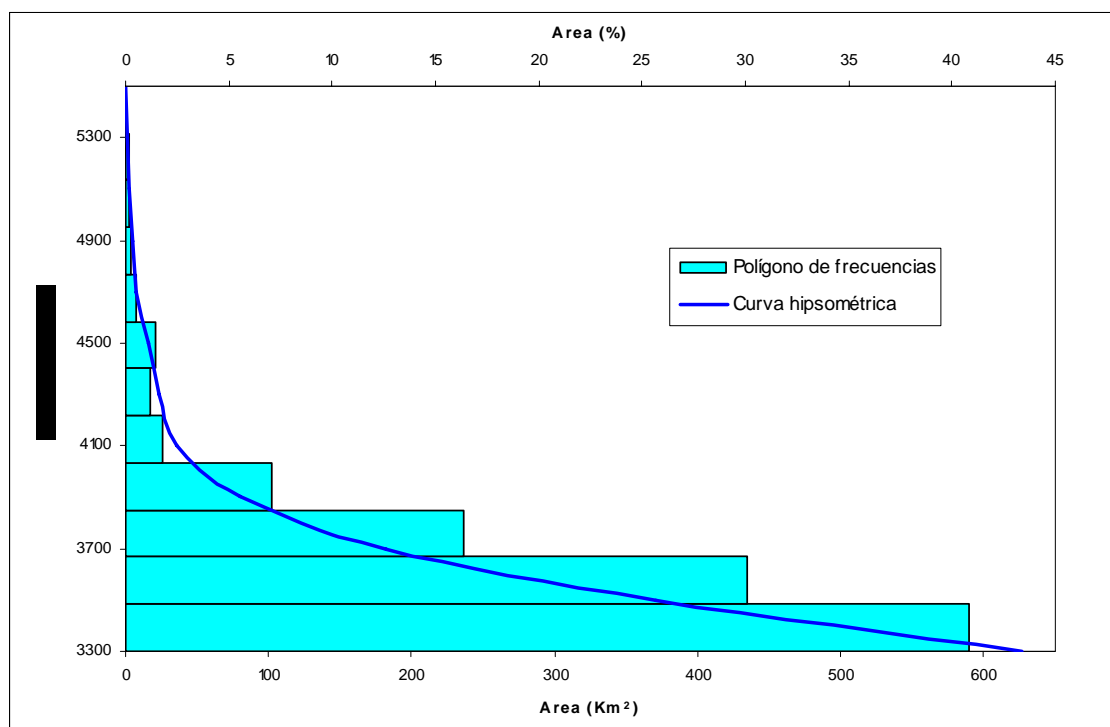


Figura 2.14: Curva Hipsométrica y polígono de frecuencias de la subcuenca Parinacochas



2.9.5 Altitudes Características

Para caracterizar la altitud de la cuenca, hemos calculado la *Altitud media* que corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica y la altitud más frecuente para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas. Ver [Cuadro 2.6](#)

Cuadro 2.6: Altitudes características para la cuenca del río Ocoña y subcuencas

Cuenca	Altitud Media m.s.n.m.	Altitud mas frecuente m.s.n.m.
Ocoña	4127,4	4400-4800
Subcuenca		
Ocoña	1925,1	800-1200
Arma	4457,0	4400-4800
Cotahuasi	4605,4	4800-5200
Marán	4040,2	4400-4800
Parinacochas	3458,7	3200-3600

2.9.6 Sistema de drenaje

1) Orden de corrientes (n)

El orden de corrientes se determina de la siguiente manera: Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden tiene solo tributarios de 1 orden, etc. Así dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos de orden 2 forman una 3, etc. Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir mayor el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, mas rápida será su respuesta a la precipitación.

Para la cuenca del río Ocoña hemos encontrado que el cauce principal es de sexto orden, el río Marán igualmente es de sexto orden, mientras los ríos Cotahuasi y Chichas-Arma son de quinto orden.

En la cuenca predominan las corrientes de orden 1 que corresponden a un 71%. La clasificación ordinal de los ríos se muestra en el [Mapa 11](#) y [cuadro 2.7](#)

Cuadro 2.7: Clasificación ordinal de ríos por clase y por subcuencas

Clase	SUBCUENCA					Total
	Parinacochas Nº	Marán Nº	Cotahuasi Nº	Chichas Arma Nº	Ocoña Nº	
1	111	958	847	255	528	2699
2	28	429	371	52	79	959
3	10	40	36	10	21	117
4	1	12	10	2	4	29
5	-	4	1	1	2	8
6	-	1	-	-	1	2
Total	150	1444	1265	320	635	3814



2.10 RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES

La identificación de las distintas fuentes hídricas superficiales en la subcuenca del río Ocoña, Chichas-Arma y Cotahuasi se ha realizado mediante los trabajos desarrollados por el componente “Inventario y evaluación de fuentes de agua superficial de la Cuenca del río Ocoña”, del presente proyecto. Las fuentes hídricas de la sub-cuenca Pausa se han tomado del Inventario de manantiales realizado en 1998, por la Dirección General de Aguas y Suelos, y del sistema de información geográfica del proyecto.

En el Cuadro 2.8 y Figura 2.15 presentamos un resumen de las fuentes de aguas inventariadas, y en la Figura 2.16 podemos observar el esquema hídrico de la cuenca (principales ríos y sus características)

Cuadro 2.8: Distribución de Fuentes de agua por subcuenca

Subcuenca	Tipo de Fuente					
	Manantiales Nº	Quebradas Nº	Ríos Nº	Lagunas Nº	Represas Nº	Aguas de recuperación Nº
Ocoña	150	479	2	1	1	7
Chichas -Arma	94	200	11	35	-	-
Cotahuasi	545	670	29	122	-	-
Maran	212	330	63	239	sin dato	-
Parinacochas	6	28	6	3	-	-
TOTAL	1007	1707	111	400	1	7

Figura 2.15: Porcentaje de fuentes de agua en la cuenca del río Ocoña, según tipo de fuentes.

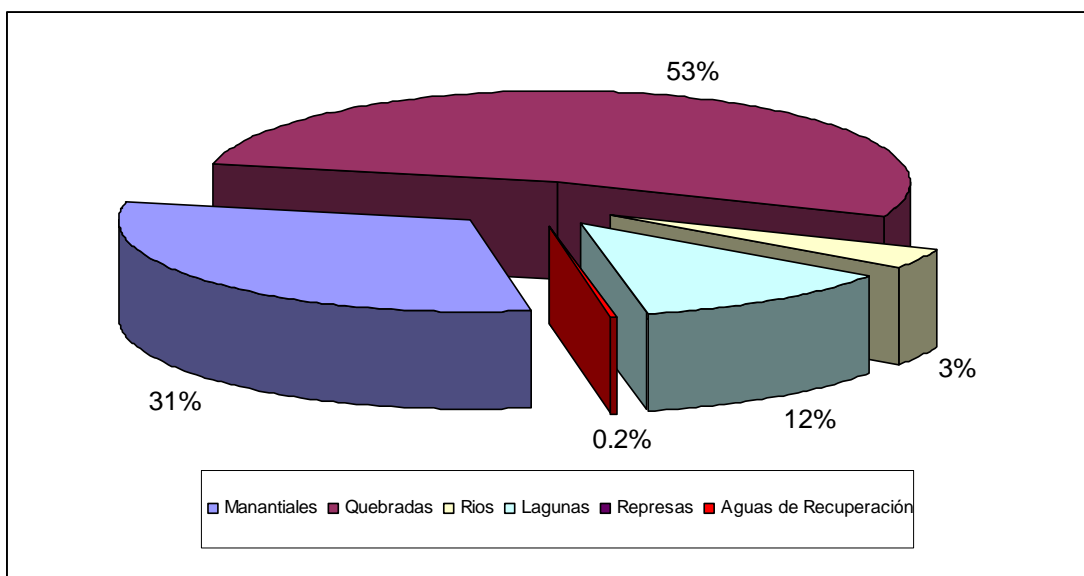
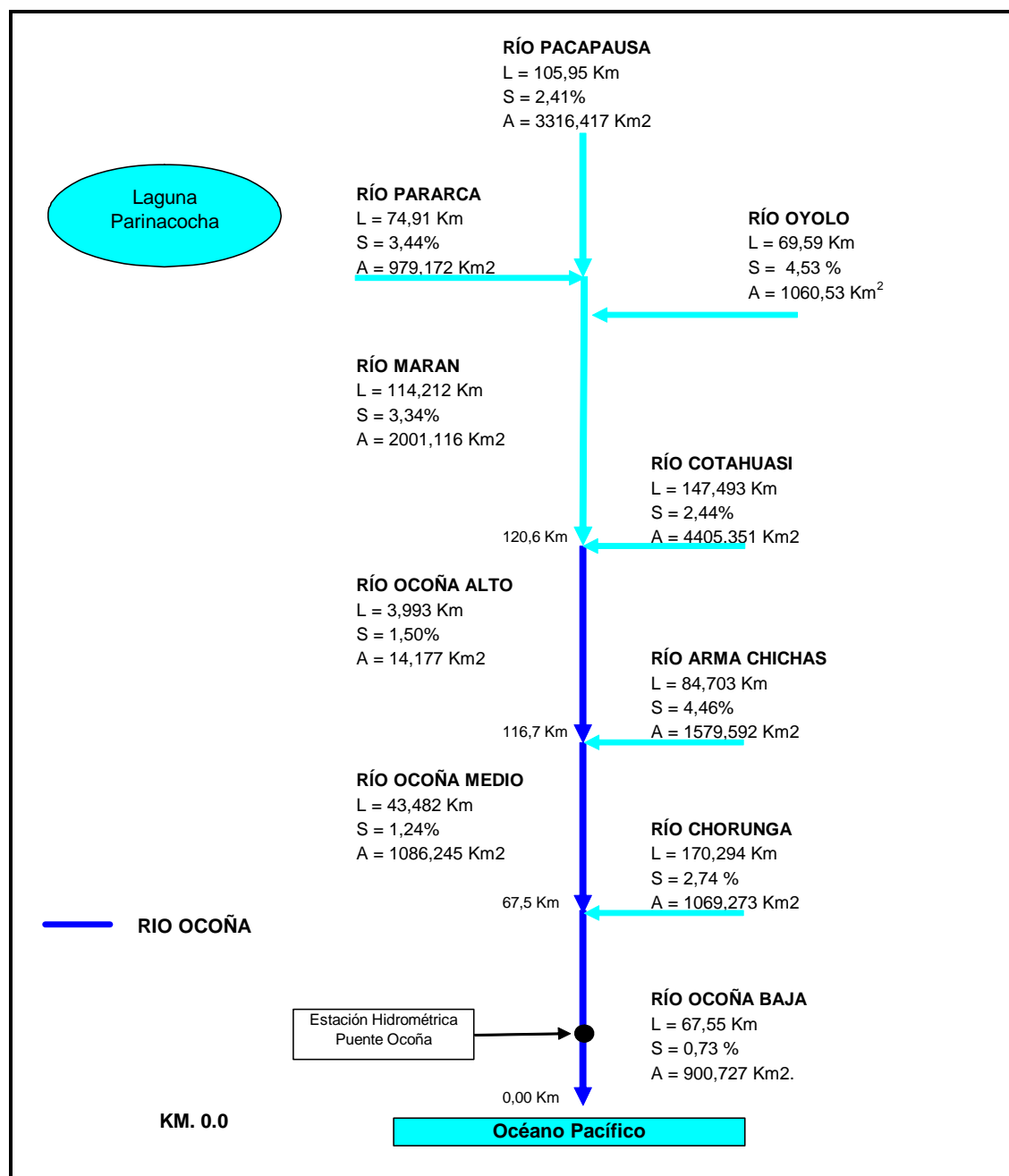


Figura 2.16: Esquema Hídrico de la cuenca del río Ocoña



III. PLUVIOMETRIA

3.1 RED DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS

Para el estudio se consideró el mayor número de estaciones ubicadas dentro y alrededor de la cuenca, las que se detallan en Cuadro 3.1 y 3.2. La ubicación de las estaciones se muestra en el Mapa 12. Las series históricas de precipitación mensual por estaciones podemos observarlas en el Anexo I.

Cuadro 3.1: Red de estaciones pluviométricas

Estación	Cuenca	Sub-cuenca	Río	Latitud	Longitud	Altitud	Clasificación SENAMHI
Lucanas	Acari	Acari	Acari	74°14' W	14°37' S	3400	CO
Urayhuma	Ocoña	Cotahuasi	Cotahuasi	72°45' W	14°56' S	4101	PLU
Carhuanillas	Yauca	Yauca	Yauca	73°44' W	15°08' S	3000	PLU
Lampa	Ocoña	Maran	Marán	73°21' W	15°11' S	2715	CO
Pausa	Ocoña	Maran	Marán	73°21' W	15°17' S	2530	CO
Chaviña	Yauca	Yauca	Yauca	73°50' W	14°59' S	3310	CO
Incuyo	Ocoña	Maran	Marán	73°34' W	15°15' S	3298	CO
Yanaquihua	Ocoña	Ocoña	Ocoña	72°52' W	15°46' S	3130	CO
Tomepampa	Ocoña	Cotahuasi	Cotahuasi	72°50' W	15°11' S	2650	PLU
Salamanca	Ocoña	Arma	Arma	72°50' W	15°30' S	3203	CO
Chinchayllapa	Ocoña	Cotahuasi	Cotahuasi	72°44' W	14°55' S	4100	PLU
Puica	Ocoña	Cotahuasi	Cotahuasi	72°40' W	15°04' S	3362	PLU
Orcopampa	Camaná	Camaná	Camaná	72°20' W	15°15' S	3779	PLU
Cotahuasi	Ocoña	Cotahuasi	Cotahuasi	72°53' W	15°22' S	2883	CO
Ocoña	Ocoña	Ocoña	Ocoña	73°06' W	16°26' S	58	CO
Urasqui	Ocoña	Ocoña	Ocoña	73°10' W	16°02' S	330	PLU

En el presente estudio teniendo en consideración la longitud de las series de los datos de precipitación, se ha establecido que **el período de análisis será el comprendido entre los años 1965 a 2005.**

Cuadro 3.2: Disponibilidad de datos pluviométricos

Nombre	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005			
OCONA							2							1	1	2																													
URASQUI																																													
PAUSA																					1				2					5	1	2	2		4	5			1			1			
TOMEPA MPA																							1	2	3																				
COTAHUASI	3							3						3						3		1			3					3			2					1			1				
LAMPA																																													
YANAQUIHUA																																													
SALAMANCA																																													
INCUYO							2	4			4				4																														
PUICA																																													
CHINCHAYLLAPA			6			1																		2			1									5		2					2		
URAYHUMA		1							1			2	1																																
LUCANAS*				4	2		2											1											2					1											
CARHUANILLAS*															1				1				6																						
CHAVIÑA*	1			2	1					1					1																														
ORCOPAMPA*				4		4																	1	2		2															1				

Datos completosDatos incompletosSin datos



Datos completos



Datos incompletos



Sin datos

3.2 ANALISIS DE LA PRECIPITACION

El método tradicional para el análisis de la información pluviométrica comprende la elaboración de tablas con valores promedios a nivel mensual y anual de la variable precipitación, la construcción de histogramas, curvas de doble masa y pruebas estadísticas, con el fin de identificar y si es necesario cuantificar inconsistencias, saltos o tendencias de los datos, el cual es método muy trabajoso y no considera los años extraordinarios. Por esta razón, en el presente estudios emplearemos una metodología no tradicional, llamada Método del Vector Regional (MVR) que consiste en elaborar, a partir de la información disponible, una especie de estación ficticia que sea representativa de toda la zona de estudio, donde luego para cada estación se calcula un promedio extendido sobre todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una región que es climáticamente homogénea.

3.2.1 El Método del Vector Regional (MVR)

El vector regional es modelo simple orientado al análisis de la información pluviométrica de una región y a la síntesis de esa información. Este método fue desarrollado por el IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) en los años 70 con el objetivo de homogenizar los datos pluviométricos. Se elaboraron dos métodos para el cálculo del Vector Regional uno por G. Hiez y Y. Brunet Moret.

Este método permite representar la información pluviométrica regional bajo la forma de índices anuales representativos de las precipitaciones en esa región y por coeficientes característicos de cada punto de observación. Así mismo es posible usar este método para otros parámetros con la condición que sean relativamente independientes entre sí de un año a otro, y que sean *pseudo-proporcionales*, es decir que los datos de las diferentes estaciones varíen en el mismo sentido y en proporciones casi idénticas, con variaciones ligeras debidas al ruido de fondo.

El método de G. Hiez esta basado en el cálculo de la moda, mientras que el de Brunet Moret se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio. Cada método estima una media extendida para cada estación sobre el período de trabajo y calcula los índices anuales de cada estación.

El método clásico de crítica de datos anuales consiste en efectuar análisis de dobles masas entre los valores de las estaciones tomadas dos a dos, para detectar eventuales heterogeneidades, y luego completar datos faltantes por correlación con los datos de la estación y de sus vecinas.

El método del vector regional consiste en elaborar, a partir de la información disponible, una especie de estación ficticia que sea representativa de toda la zona de estudio. Para cada estación se calcula un promedio extendido sobre todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. (>1 año con superávit, <1 año deficitario). A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una región que se supone es climáticamente homogénea.

Este método también puede aplicarse a datos mensuales, tratando separadamente cada uno de los meses del año como si se tratara de un valor anual.

Una vez elaborado el vector regional, el análisis de la información es enormemente facilitada, así podemos:

- Evaluar la calidad de los datos de una estación por curvas de dobles acumuladas con los índices del vector regional.

- Analizar gráficamente y correlacionar los datos de una estación con los índices del vector regional.
- Evaluar los datos faltantes de una estación multiplicando el índice de un año del vector regional por el promedio extendido de la estación sobre el período de estudio.

La calidad del vector regional depende de la calidad de los datos de entrada. Aunque los algoritmos utilizados por los dos métodos intentan minimizar la influencia de los datos erróneos, el vector calculado al comienzo sigue contaminado por los errores que existen en los datos de las estaciones. Sólo de manera iterativa, eliminando los datos visiblemente imaginarios y corrigiendo poco a poco los errores más evidentes sobre los datos de entrada, se llegará a un vector regional de buena calidad.

Para mayores detalles sobre este método se debe revisar la bibliografía publicada por el IRD sobre los autores Brunet Moret o Hiez. Algunas de estas publicaciones se encuentran disponibles libremente en la página web del IRD (www.ird.fr) en su base de datos *Horizons*.

3.2.2 Análisis de la precipitación

Para el presente estudio emplearemos el software *Hydraccess 2.1.4 del IRD*, desarrollado por Philippe VAUCHEL, Hidrólogo del IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) el cual tiene incluido un módulo para el cálculo del vector regional por el método de Y. Brunet Moret. El software *Hydraccess* nos permite calcular el Vector Regional a paso de tiempo mensual y anual (análisis y corrección). Igualmente nos permite detectar, corregir o eliminar los errores sistemáticos de series cronológicas estudiadas (fase de homogenización) luego de buscar las zonas climáticas homogéneas (fase de regionalización) para las cuales se genera una serie cronológica representativa de índices mensuales y anuales.

Para calcular el vector hemos tenido las siguientes consideraciones:

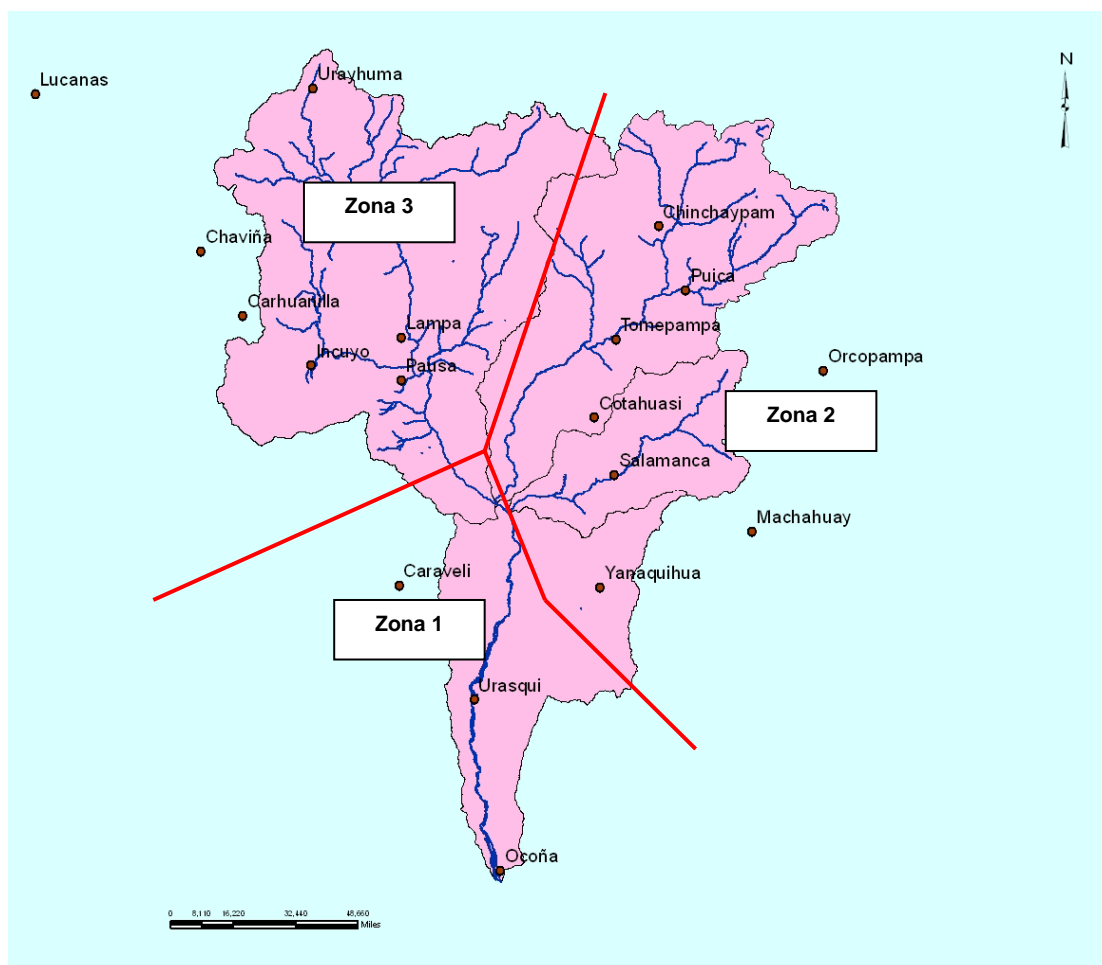
- ✚ Para el cálculo del vector regional debemos tener como mínimo 3 estaciones por año, y 3 años como mínimo por estación, por lo tanto debemos verificar esta condición y de ser necesario calcularemos los datos faltantes con los registros de las estaciones más confiables y con registros más largos, por correlación.
- ✚ La hipótesis principal de este método es el principio de “pseudo-proporcionalidad”, por lo cual los datos deben tener el mismo comportamiento (cantidad y variación temporal), es decir deben tener una tendencia climática regional única.

La pseudo-proporcionalidad de una zona es medida por el valor del coeficiente de correlación media entre las estaciones y el vector correspondiente (en caso de estricta proporcionalidad este valor es igual a 1). Este coeficiente en el software *Hydraccess* aparece como “**Correl./Vector**”.

Hemos considerado una zona como homogénea si los coeficientes de correlación anual entre el vector y la estación son superiores o iguales a 0.7; debido a que la poca densidad de la red de estaciones, no nos permite ser más estrictos y reducir la zona.

Finalmente teniendo en cuenta las consideraciones antes descritas, hemos definido 3 zonas homogéneas, como podemos observar en la [figura 3.1](#). Una zona árida (zona 1) correspondiente a la parte baja de la cuenca y dos zonas donde existe aporte pluviométrico (zona 2 y zona 3). Cada una de las zonas y el respectivo análisis de los registros pluviométricos correspondientes se describirán a continuación.

Figura 3.1: Zonas homogéneas de pluviometría en la cuenca del río Ocoña



**Nota: la delimitación es referencial*

Zona 1

Esta zona corresponde a la parte baja de la cuenca, donde su característica principal es la escasez o ausencia de precipitaciones, se trata de la zona árida de la cuenca.

En esta zona no se ha aplicado el método del vector regional, debido a la ausencia de precipitaciones.

Zona 2

En esta zona hemos analizado la precipitación de las estaciones: Yanaquihua, Tomepampa, Salamanca, Chinchaypampa, Puica, Orcopampa y Cotahuasi las cuales cumplen con la hipótesis de pseudo-proporcionalidad, tal como podemos observar en el Cuadro 3.3, en la columna correspondiente a “**Correl. /Vector**”

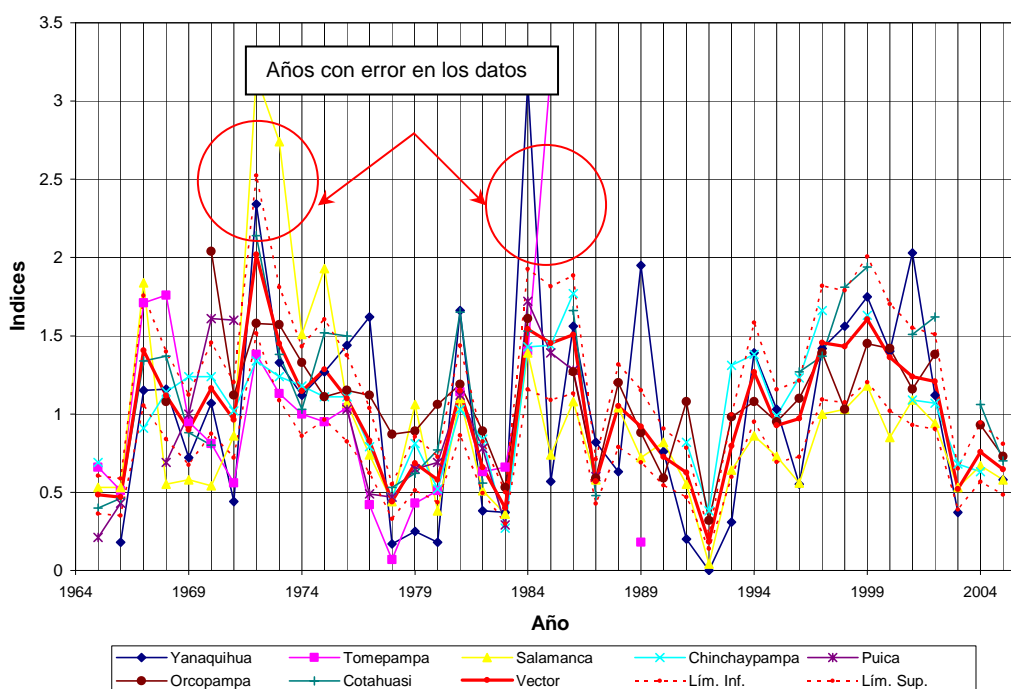
Una vez identificadas las estaciones pertenecientes a esta zona homogénea, se ha calculado el vector para esta zona (se debe tener en cuenta que es un vector inicial). La representación gráfica de los índices anuales del vector y las estaciones podemos observarla en la Figura 3.2.

Fácilmente podemos deducir que las estaciones Salamanca, Yanaquihua y Tomepampa presentan problemas de calidad de datos en algunos años. Estos errores son detectados también en el gráfico de dobles acumuladas y en el análisis de parámetros de detección dados por el software *Hydraccess*.

Luego como el vector calculado se encuentra contaminado por los datos de mala calidad, primero se deben detectar los errores, corregir los datos dudosos y eliminar los valores incoherentes, para finalmente recalculer el vector.

Solo de manera iterativa se corregirán los errores más evidentes sobre los datos de entrada, hasta obtener un vector de buena calidad.

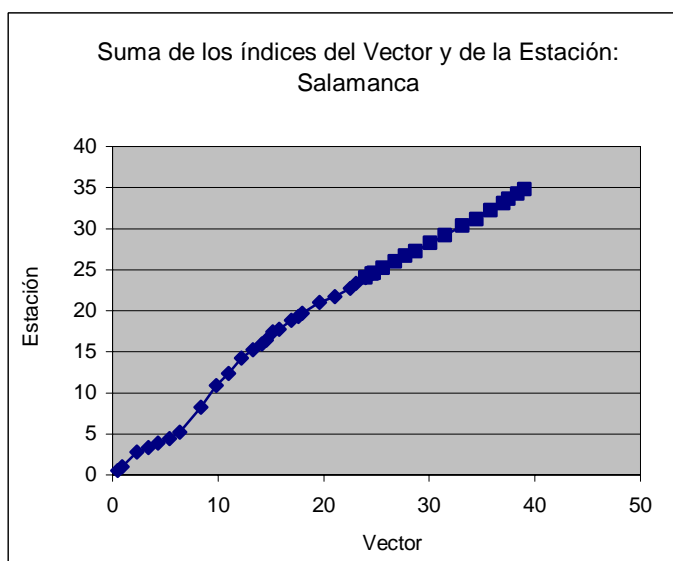
Figura 3.2: Índices anuales iniciales del vector y las estaciones para la Zona 2



A continuación expondremos un ejemplo de análisis de la corrección de los datos.

La visualización de curvas de dobles acumulados entre estación y vector de una zona nos va a permitir determinar si existe una mala relación entre el vector y la estación, como podemos observar en la [figura 3.3](#).

Figura 3.3: Curva de dobles acumulados- estación Salamanca



Observando el análisis de dobles acumulados y las desviaciones de los índices de la estación Salamanca (figura 3.4 y 3.5) con respecto al vector, podemos deducir que este presenta cambios bruscos en la serie de datos, por lo tanto se procederá a corregir los datos de la estación, para luego recalculer el vector. La corrección del salto se realiza de forma similar que en el análisis de doble masa tradicional.

Figura 3.4: Variabilidad de las desviaciones – estación Salamanca

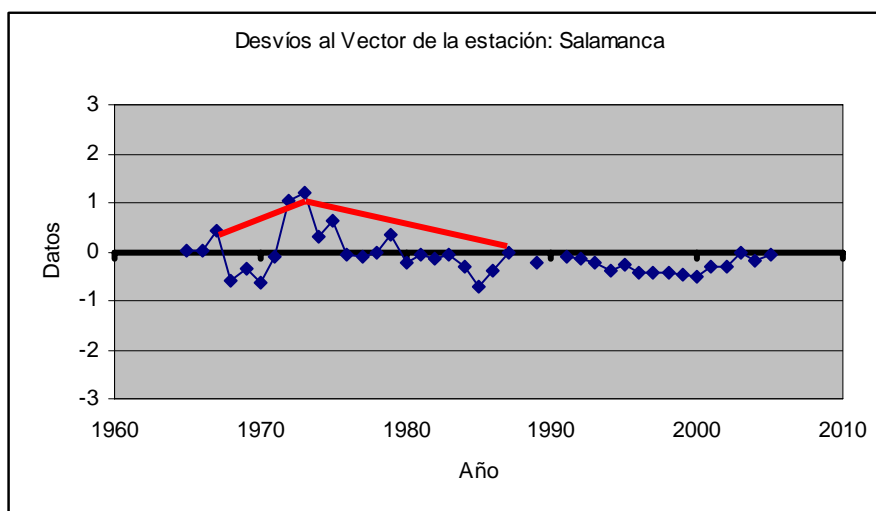
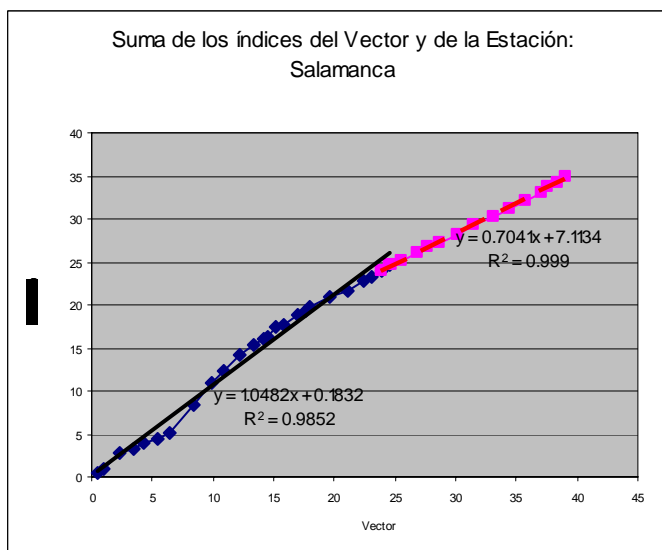


Figura 3.5: Análisis de quiebres en dobles acumulados- estación Salamanca



Una vez corregido los datos de la estación se vuelve a calcular el vector y se repite el proceso hasta lograr el vector final, tal como podemos observar en las Figuras 3.6 y 3.7. Una vez obtenido el vector de buena calidad podemos obtener los valores extendidos de las precipitaciones medias anuales calculadas. Finalmente las precipitaciones medias calculadas y los principales parámetros estadísticos tomados en cuenta para construir el vector los podemos observar en el cuadro resumen Cuadro 3.3.

Figura 3.6: Vector regional Zona 2 – Índices anuales y de las estaciones

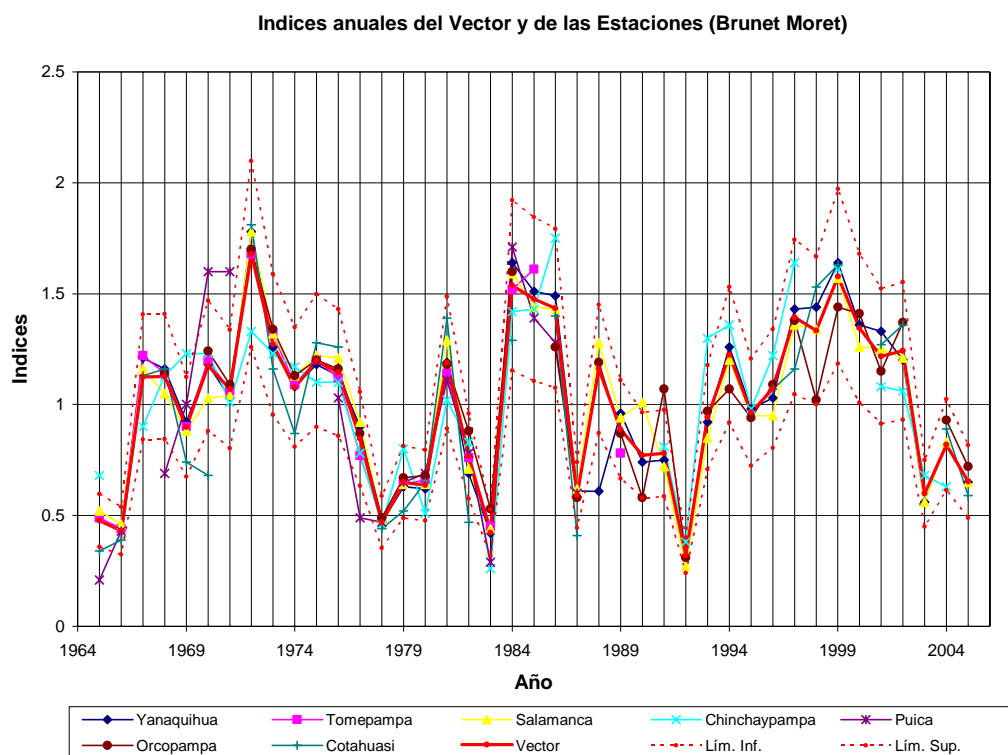
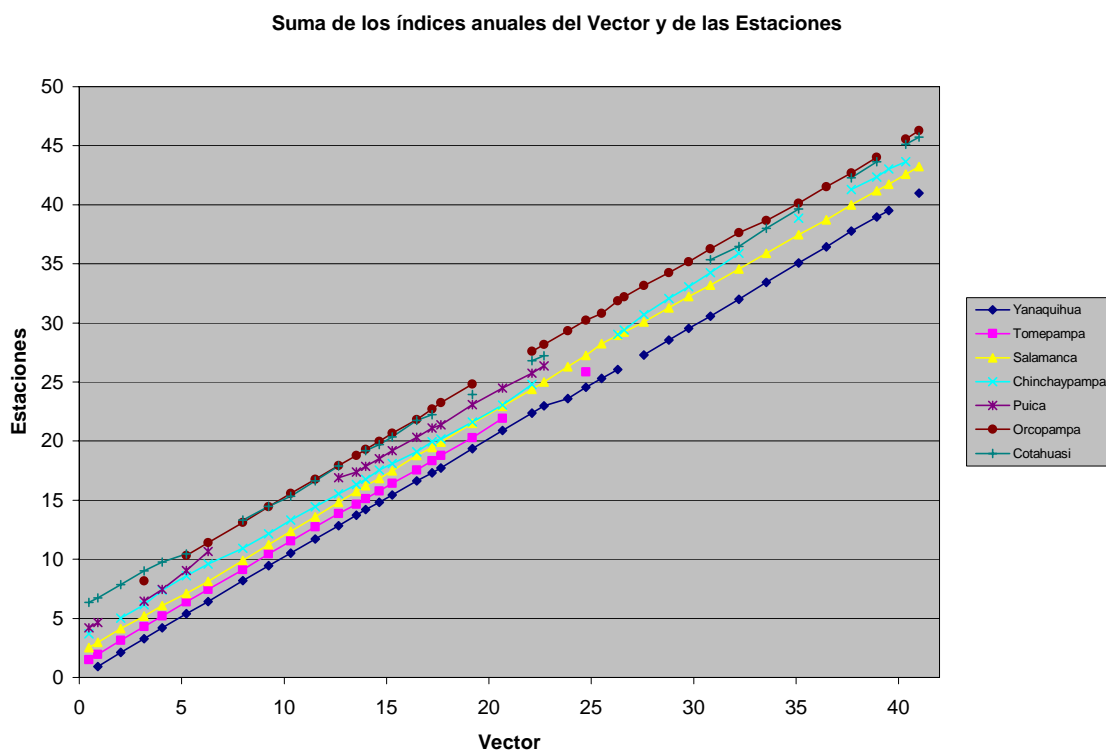


Figura 3.7: Curva de dobles acumulados- Zona 2



Cuadro 3.3: Precipitaciones medias calculadas y principales parámetros del vector para la Zona 2

Estación	Nº Años	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Pp media Observada (mm)	Pp media Calculada (mm)
Yanaquihua	38	0,102	0,96	160.6	155.0
Tomepampa	22	0,049	0,99	275	279.0
Salamanca	41	0,069	0,98	307.2	305.4
Chinchaypampa	33	0,165	0,89	738.8	714.4
Puica	18	0,231	0,87	512.1	575.8
Orcopampa	35	0,104	0,95	427.7	412.6
Cotahuasi	27	0,167	0,93	318.8	319.9

*Resultados Obtenidos con el software Hydraccess del IRD

Zona 3

En esta zona hemos analizado la precipitación de las estaciones Lucanas, Carhuaniillas, Lampa, Pausa Chaviña e Incuyo las cuales cumplen con la hipótesis de pseudos-proporcionalidad. La estación Urayhuma se dejó de lado debido a la incoherencia en los valores de precipitación (>1500 mm), es decir no son muy confiables. El análisis realizado para cada estación es el mismo descrito en el ítem anterior. La representación gráfica para la Zona 3 de los índices del vector (final) y de las estaciones (corregidas) podemos observarla en la [Figura 3.8](#). Las curvas de dobles acumulados para todas las estaciones podemos observar en la [figura 3.9](#) y finalmente en el [cuadro 3.4 encontramos](#) las precipitaciones medias calculadas y los principales parámetros estadísticos tomados en cuenta para construir el vector de esta zona.

Figura 3.8: Vector regional Zona 3 – Índices anuales y de las estaciones

Índices anuales del Vector y de las Estaciones (Brunet Moret)

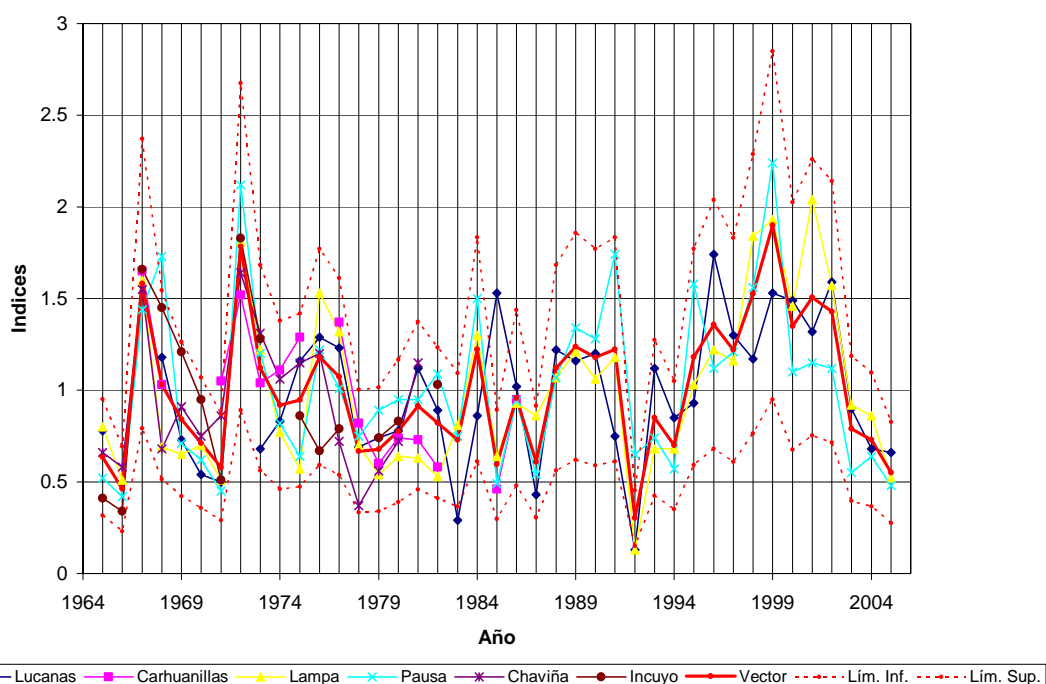
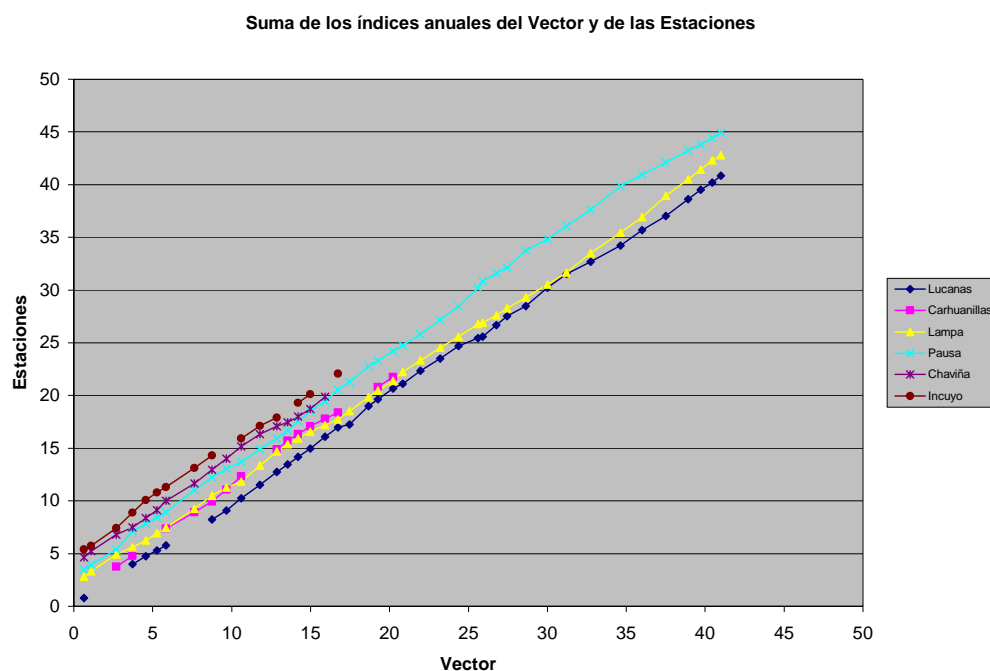


Figura 3.9: Curva de dobles acumulados- Zona 3**Cuadro 3.4: Precipitaciones medias calculadas y principales parámetros del vector para la Zona 3**

Estación	Nº Años	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Pp media Observada (mm)	Pp media Calculada (mm)
Lucanas	38	0.262	0.721	485.9	498.5
Carhuaniillas	15	0.216	0.797	502.8	504.3
Lampa	41	0.185	0.916	235.7	236.8
Pausa	41	0.23	0.861	231.7	226.6
Chaviña	17	0.191	0.843	550.6	589.8
Incuyo	15	0.241	0.828	351.3	361.8

*Resultados Obtenidos con el software Hydraccess del IRD

3.2.3 Estimación de datos faltantes anuales y mensuales

Una vez calculado el vector regional podemos calcular los datos faltantes de una estación multiplicando el índice de un año del vector regional por el promedio extendido de la estación sobre el período de estudio.

Finalmente cuando hemos completado y homogenizado la precipitación anual por estaciones media mensual se procede a estimar los valores mensuales, los cuales se generaran en base a pesos porcentuales de cada uno de los meses en cada estación.




Los valores de precipitación anual y mensual completas se presentan en el [Anexo II](#).

3.3 RELACIÓN PRECIPITACIÓN – ALTITUD

Como sabemos, en nuestro país por influencia de la Cordillera de los Andes, las precipitaciones son normalmente de origen orográfico es decir que dependen del relieve y la altitud.

Así podemos observar que las cuencas pertenecientes a vertiente del Pacífico son sistemáticamente más secas en las partes más bajas y de igual forma que las zonas más húmedas se encuentran en las zonas de mayor altitud. Por ello resulta importante evaluar este comportamiento, debido a que esta relación nos permitirá calcular la precipitación en las zonas más altas donde no existen datos.

Entonces, debemos ver si existen correlaciones entre lluvias y altitudes. Primero, hemos hecho una regionalización de esos datos y hemos encontrado 3 zonas ([Figura 3.1](#)) donde, en cada una de esas zonas, la precipitación tiene el mismo comportamiento (cantidad, variación temporal).

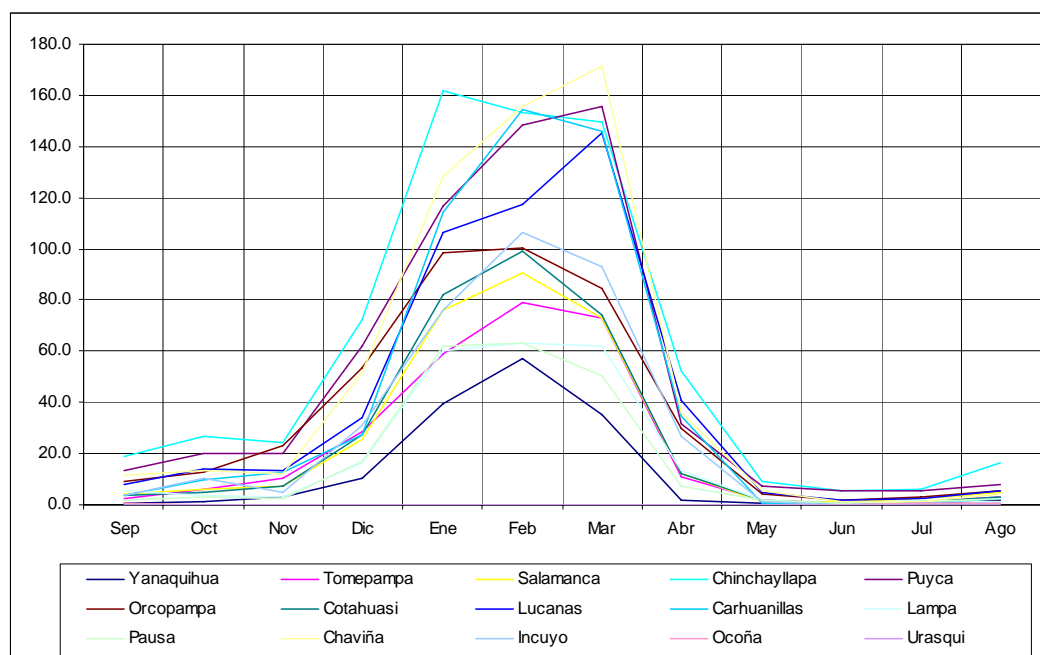
-  **Zona 1:** Esta zona árida esta comprendida 0 a los 1800 m.s.n.m, en esta zona se encuentra ubicado el “valle de Ocoña”. Su altitud varia desde los aproximadamente, donde las precipitaciones son escasas o nulas.
-  **Zona 2:** Comprendida por la parte Nor-Este de la cuenca, conformada por las subcuencas Arma, Cotahuasi y la parte alta de la subcuenca Ocoña. En esta zona se encuentran las cumbres más altas de la cuenca (6300 m.s.n.m).
-  **Zona 3:** Zona ubicada en la zona Nor-Oeste de la cuenca, esta zona se encuentra conformada por las las subcuencas Marán y Parinacochas.

Posteriormente hemos calculado la precipitación media total anual y mensual para todas las estaciones analizadas ([Ver Cuadro 3.5 y Figura 3.10](#)). Con estos resultados finalmente podemos construir para cada una de las zonas homogéneas la correlación entre precipitación y altitud.

Cuadro 3.5: Precipitación media total anual y mensual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Yanaquihua	39.3	57.4	35.2	1.8	0.5	0.4	0.3	1.6	0.8	1.4	2.9	10.1	151.7
Tomepampa	59.3	78.8	72.9	10.8	1.9	0.5	1.1	3.0	2.6	6.2	10.4	28.6	276.1
Salamanca	75.9	90.5	72.8	12.4	1.3	1.3	2.4	4.7	4.2	6.3	7.6	25.4	304.9
Chinchayllapa	161.6	153.5	149.8	52.0	9.2	5.4	6.3	16.3	18.6	26.9	24.4	72.4	696.5
Puyca	116.5	148.4	155.5	31.5	7.1	5.3	5.5	7.7	13.1	20.2	19.9	62.3	593.1
Orcopampa	98.4	100.3	84.5	30.1	4.0	1.5	3.3	5.4	8.9	12.5	23.1	53.4	425.5
Cotahuasi	82.4	99.3	74.1	12.4	2.1	0.8	1.3	2.9	3.9	5.1	7.0	27.3	318.5
Lucanas	106.7	117.5	145.5	40.6	5.1	1.8	2.3	5.5	7.9	13.7	13.4	34.0	493.9
Carhuanillas	114.1	154.2	146.1	34.6	0.9	0.0	0.7	2.2	3.7	9.7	12.9	27.6	506.8
Lampa	60.0	63.1	61.9	13.2	1.9	0.5	2.1	1.4	5.6	3.8	3.2	16.6	233.2
Pausa	61.8	63.4	50.4	7.5	1.7	0.6	1.2	2.3	2.1	3.0	2.2	17.2	213.4
Chaviña	128.5	155.7	171.4	35.9	5.7	0.9	1.0	4.2	11.8	13.4	12.0	51.8	592.4
Incuyo	76.3	106.6	92.7	26.6	0.9	0.1	0.9	0.5	3.9	10.4	5.1	31.1	355.1
Ocoña	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.8	0.7	0.0	0.1	0.0	2.1
Urasqui	0.0	0.3	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6

*Zona1, Zona 2 y Zona 3

Figura 3.10: Láminas de precipitación en milímetros para el año promedio por estaciones

Para cada zona homogénea, hemos establecido la ecuación de correlación entre precipitación total anual y altitud (Ver Figura N° 3.11). Así, tenemos que la precipitación media total anual (P_z) podría calcularse en función de la altitud (Z) usando las ecuaciones siguientes:

🚧 Zona 1: Subcuenca de Ocoña entre los 0 -1800 m.s.n.m:

Por tratarse de una zona árida, se asume que las precipitaciones son nulas o cero.

🚧 Zona 2: Subcuencas Arma, Cotahuasi y subcuenca Ocoña (>1800 msnm)

$$P_z = 0.2834 * Z - 540.45 \quad R^2 = 0.55$$

🚧 Zona 3: Subcuencas Marán y Parinacochas

$$P_z = 0.3446 * Z - 649.1 \quad R^2 = 0.62$$

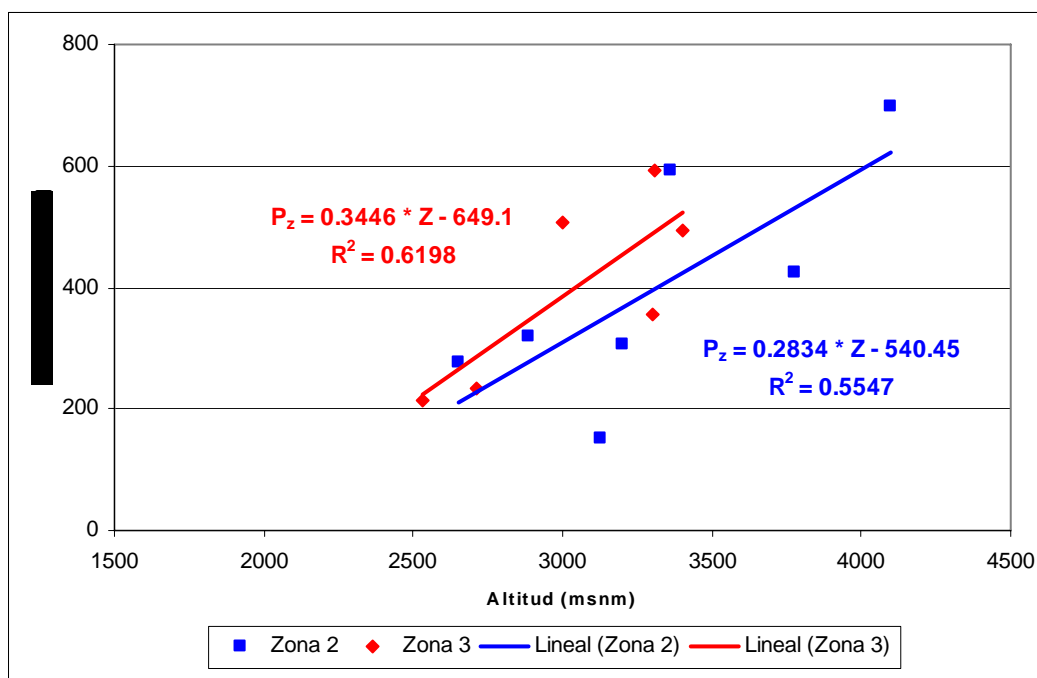
Donde:

P_z = Precipitación en mm

Z =Altitud en msnm

R^2 =cuadrado del coeficiente de correlación

Figura 3.11: Correlaciones altitud / precipitación de las estaciones de la cuenca del río Ocoña.



La baja correlación en la Zona 2 se debe a la poca densidad de las estaciones y en la zona 3 debido a la variada topografía de la zona como la presencia de cañones que afectan de diferente manera la precipitación que principalmente es de origen orográfico y adicionalmente a la poca densidad de estaciones en la zona.

3.4 PRECIPITACION MEDIA EN LA CUENCA

La altura precipitación que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores, por ello es necesario conocer la precipitación media en la cuenca. Para estimar esta precipitación media es indispensable basarse en valores puntuales, es decir en valores registrados por una red de pluviómetros.

Entre los métodos generalmente propuestos para calcular la precipitación media de una cuenca a partir de registros puntuales obtenidos en varias estaciones pluviométricas sobre la cuenca o en su proximidad, podemos mencionar 3 métodos de uso generalizado: el método del promedio aritmético, el método del polígono de Thiessen y el método de isoyetas.

La elección del método dependerá particularmente de la longitud de la serie de datos que disponemos y de la densidad de la red de estaciones.

3.4.1 METODOS DE ESTIMACION

1) Método Aritmético

Este método consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación. Este método nos da buenos resultados si tenemos una red de pluviómetros bien repartidos y si el relieve de la cuenca es homogéneo.

Este método es particularmente mal adaptado a las zonas montañosas donde existe un fuerte gradiente altitudinal y donde los pluviómetros se ubican principalmente en los valles y no sobre las altas montañas de la cuenca. Necesitamos entonces preferentemente usar métodos gráficos (traza de isoyetas) o estadísticos que permitan obtener pesos diferentes a cada punto de medida (promedios ponderados).

2) Método del polígono de Thiessen

El método del polígono de Thiessen es un método clásico en hidrología, relativamente rápido y sencillo de aplicar y nos da buenos resultados. El uso de este método es conveniente cuando la red pluviométrica no es homogénea (pluviómetros distribuidos irregularmente).

Este método consiste en determinar, para cada estación, su zona de influencia y su coeficiente de influencia llamado coeficiente de Thiessen. Igualmente este método considera que en todo punto de la cuenca la estación más cercana es la que tiene una influencia total sobre este punto. Esto lleva a trazar polígonos de influencia alrededor de cada estación, llamados polígonos de Thiessen.

La precipitación media P_{med} para la cuenca, se calcula entonces efectuando la suma de las precipitaciones P_i de cada estación, multiplicadas por sus el coeficiente de Thiessen de la estación (área A_i), y dividido por la superficie total A de la cuenca.

La precipitación media sobre la cuenca se escribe como:

$$P_{med} = (\sum A_i * P_i) / A$$

Donde:

P_{med} : Precipitación media sobre la cuenca,

A : Área total de la cuenca,

P_i : Precipitación registrada sobre la estación i ,

A_i : Superficie del polígono asociada a la estación i .

3) Método de Isoyetas

Es el método más preciso sin embargo presenta el inconveniente de ser el más laborioso y es necesario tener cierta experiencia. Las isoyetas son las líneas de un mismo valor de precipitaciones que podemos trazar gracias a los valores pluviométricos adquiridos en cada estación de la cuenca y a las otras estaciones vecinas.

El trazo de las isoyetas no es único como el de las curvas de nivel, este debe de ser diseñado con el máximo de verosimilitud teniendo en cuenta la región, la red, la calidad de la medida, etc.

Para nuestro caso, la cuenca del río Ocoña posee zonas de gran altitud (zona de montaña hasta los 6300 msnm), entonces debemos tener en cuenta para el trazo de las isoyetas, el gradiente altitudinal, esto quiere decir la relación precipitación/altitud ([Ver ítem 3.3](#)).

Para el trazo de isoyetas hoy en día existen métodos que efectúan el trazo de isovalores usando métodos estadísticos como el método de la inversa de la distancia y el método de Kriging.

✚ **Método de la inversa de la distancia:** Este método considera que en un punto cualquiera de la cuenca el valor de la precipitación en ese punto depende de los valores observados en el conjunto de las estaciones de la cuenca, donde cada estación tiene una influencia dependiente de la inversa de su distancia a este punto, elevada a una potencia, usualmente igual a 2. Con este sistema, las estaciones más cercanas tendrán mayor influencia que las estaciones más lejanas. Este método de interpolación es más fino y espacializado, sin embargo, lejos de las estaciones tiende a un valor medio y el trazo de isolíneas es en forma circular, e igualmente que el método de los polígonos de Thiessen no toma en cuenta un gradiente espacial.

✚ **Método de Kriging:** El método consiste en establecer para cada punto de la grilla un variograma que evalúa la influencia de las estaciones próximas en función de su distancia al punto y de su rumbo. El Kriging es así el único método que puede tomar en cuenta un eventual gradiente espacial de la información, por lo tanto tiene como ventaja una interpolación de mejor calidad con menor sesgo y adicionalmente por tomar en cuenta un gradiente espacial de variación de valores puede realizar extrapolaciones más consistentes. Entonces, cuando las estaciones son mal repartidas, y es necesario hacer en ciertas zonas de la cuenca extrapolación y no interpolación, es preferible utilizar este método. Una de sus principales desventajas del método es que se necesita una buena comprensión del método y un mayor tiempo de cálculo.

Para el presente estudio hemos considerado para el trazo isoyetas utilizar el método Kriging por ser el método más consistente y que nos da mejores resultados. Para ello hemos usado el software Surfer 7.0, y adicionalmente se han realizado correcciones a este trazo automático, teniendo en cuenta el gradiente altitudinal.

Cuando las curvas isoyetas han sido trazadas y corregidas, la precipitación media puede se ha calculado con la siguiente expresión:

$$P_{med} = \sum_{i=1}^k A_i * P_{iii} / A$$

$$P_i = (h_i + h_{i+1}) / 2$$

Donde:

Pmed: Precipitación promedia sobre la cuenca.

A: Superficie total de la cuenca

A_i: Superficie entre dos isoyetas *i* y *i + 1*

K: Numero total de isoyetas

P_i: Promedio de alturas *h* de precipitaciones entre dos isoyetas *i* y *i + 1*

3.4.2 Precipitación Anual

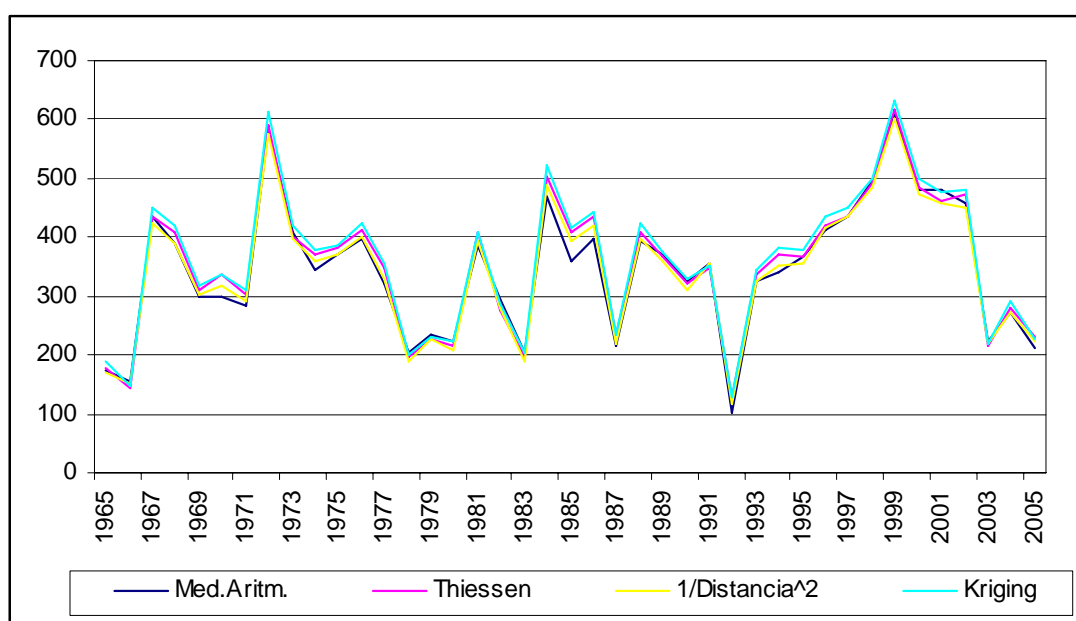
Hemos calculado la precipitación total anual por los 4 métodos para la cuenca del río Ocoña como podemos observar en el Cuadro 3.6. Para el calculo de la precipitación media desde la media aritmética, hemos usado el modulo *Spatial del Software Hydraccess del IRD* y para el Kriging hemos usado el software Surfer 7.0

Cuadro 3.6: Precipitación total anual para el periodo 1965 – 2005

Año	Método de Interpolación			
	Med.Aritm. Pp (mm)	Thiessen Pp (mm)	1/Distancia^2 Pp (mm)	Kriging Pp (mm)
1965	172.2	179.5	169.5	190.0
1966	155.2	144.0	152.1	148.9
1967	433.9	433.4	422.6	451.8
1968	391.4	409.4	391.2	421.1
1969	299.8	310.2	302.2	317.1
1970	297.3	336.8	319.2	338.1
1971	282.9	304.2	292.2	311.6
1972	584.3	592.1	575.3	612.9
1973	407.6	402.3	397.4	418.3
1974	343.9	369.0	360.1	377.4
1975	371.9	381.5	372.6	387.5
1976	397.6	412.3	400.2	424.4
1977	322.9	350.0	329.1	356.7
1978	203.6	196.9	189.1	200.8
1979	235.3	225.3	227.9	232.3
1980	224.3	213.8	206.6	221.6
1981	385.1	407.5	394.4	410.5
1982	297.0	277.6	279.7	285.7
1983	206.0	195.0	190.5	206.2
1984	469.3	504.9	486.3	520.5
1985	359.2	407.2	393.5	415.2
1986	396.4	436.7	419.4	442.9
1987	214.8	234.5	220.4	234.5
1988	395.1	409.9	397.6	424.9
1989	370.4	367.0	359.8	375.4
1990	326.7	320.1	309.5	328.8
1991	355.5	349.8	357.1	353.3
1992	101.9	128.5	119.1	127.2
1993	324.0	338.3	326.4	342.8
1994	340.6	371.0	351.6	383.6
1995	366.9	366.4	355.8	377.4

1996	413.6	421.5	415.9	433.7
1997	436.3	436.8	433.9	451.7
1998	495.1	490.2	483.2	500.6
1999	609.4	618.2	602.9	632.9
2000	481.2	483.3	474.5	499.2
2001	479.0	460.5	458.1	477.5
2002	456.6	472.4	451.1	479.8
2003	222.7	215.5	218.3	217.6
2004	272.7	280.8	270.6	290.5
2005	211.6	229.4	223.0	227.0
Media Multianual	344.2	353.3	343.9	362.2

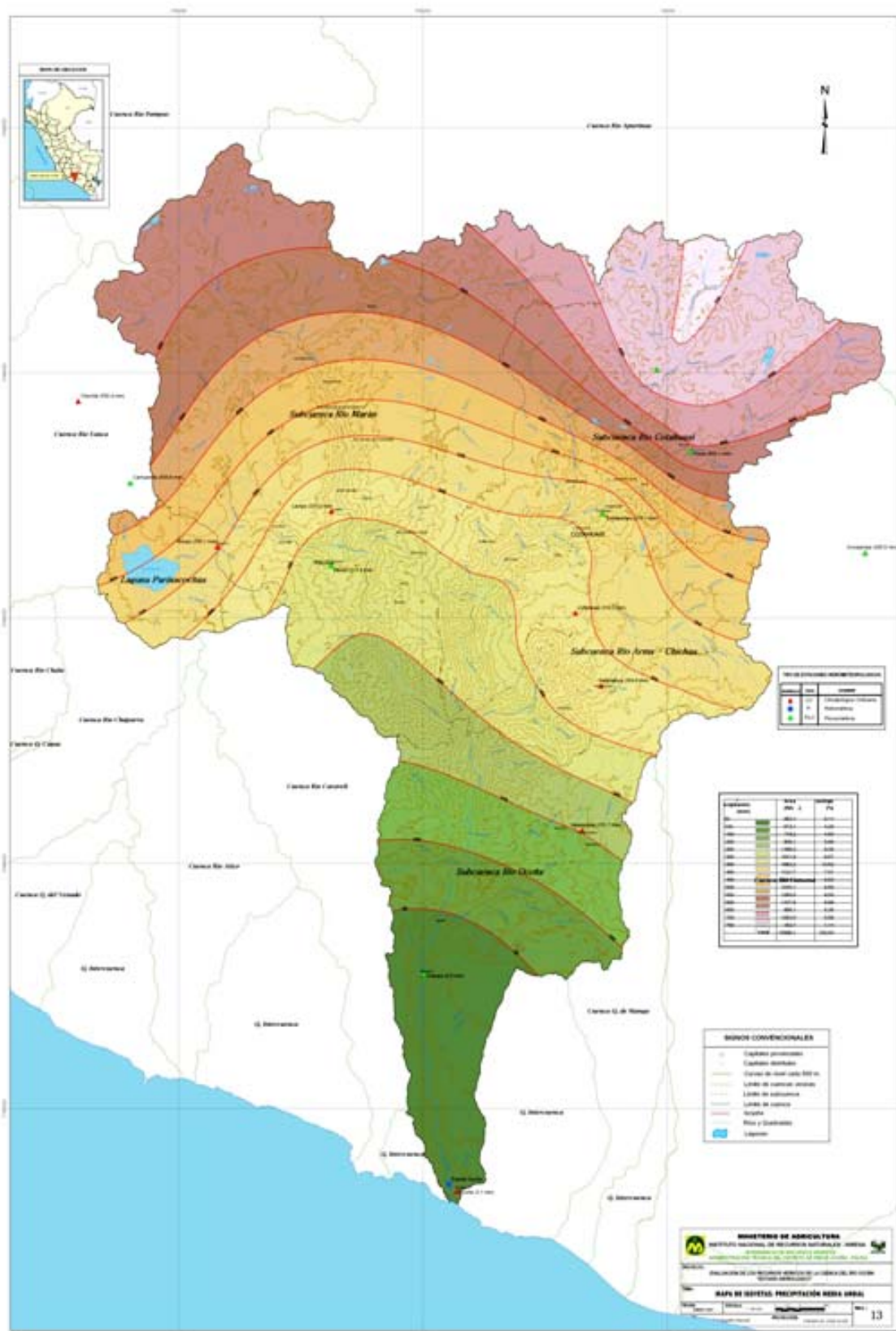
Figura 3.12: Precipitación total anual para el periodo 1965 – 2005



Como podemos observar a nivel anual los valores encontrados no presentan una variación significativa. Sin embargo por las razones ya antes expuestas en el [Ítem 3.4.1](#) hemos decidido trabajar con los resultados obtenidos por el método de Kriging.

Bajo este método y teniendo en cuenta el gradiente altitudinal hemos generado las respectivas isoyetas para la cuenca del río Ocoña a nivel anual ([Mapa 13](#)) y precipitaciones medias mensuales ([Mapa 14.1 al Mapa 14.12](#))

Podemos resaltar que como resultado que la **precipitación media total anual para la cuenca del río Ocoña es de 362.2 mm/año.**



3.4.3 Precipitación Mensual

La precipitación mensual se ha estimado por el método de isoyetas, utilizando el método Kriging, usando el software Surfer 7.0, y adicionalmente se han realizado correcciones a este trazo automático.

Posteriormente la precipitación media del mes se ha calculado con la siguiente expresión:

$$Pmed_j = \sum_{i=1}^k A_i * P_i / A$$
$$P_i = (h_i + h_{i+1}) / 2$$

Donde:

$Pmed_j$: Precipitación media sobre la cuenca para el mes j.

A: Superficie total de la cuenca

A_i : Superficie entre dos isoyetas i y $i + 1$

K: Numero total de isoyetas

P_i : Promedio de alturas h de precipitaciones entre dos isoyetas i y $i + 1$

En el [Cuadro 3.7](#) se presentan los valores calculados de la precipitación mensual, para la cuenca del río Ocoña y para cada una de las subcuencas. Podemos resaltar que la subcuenca Cotahuasi presenta la mayor precipitación en toda la cuenca con una precipitación anual de 500.4 mm/año.

Igualmente podemos apreciar que la subcuenca de Ocoña es la de menor lámina de precipitación presenta 107 mm/año en la cuenca, esto puede explicarse debido a que esta subcuenca es la que tiene mayor superficie de zona árida.

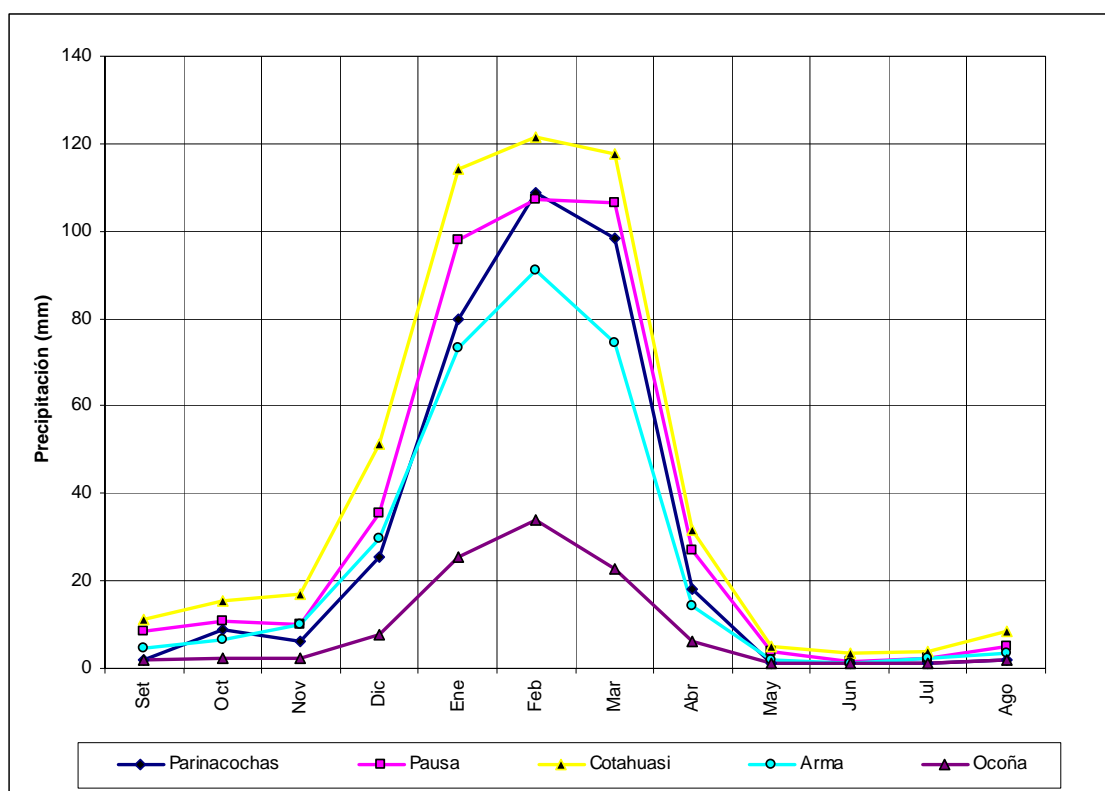
La [Figura 3.13](#) muestra la distribución mensual de la precipitación de cada una de las subcuencas de la cuenca del río Ocoña. Aquí podemos observar claramente que la precipitación alcanza su valor máximo en el mes de Febrero.

En el [Cuadro 3.8](#) se muestran las precipitaciones totales mensuales calculadas para la cuenca del río Ocoña en periodo de estudio 1965 -2005. Estas precipitaciones nos servirán como datos de entrada para modelizar los caudales en la cuenca.

Cuadro 3.7: Precipitación total mensual para el año promedio

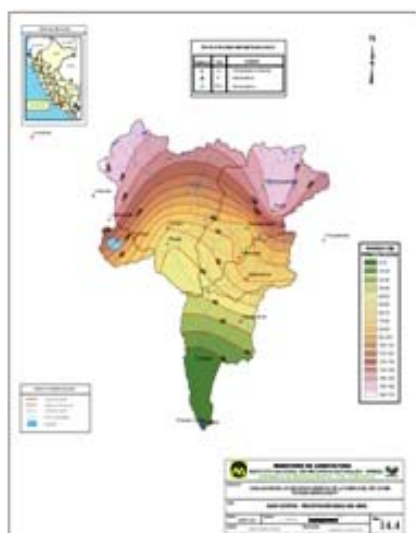
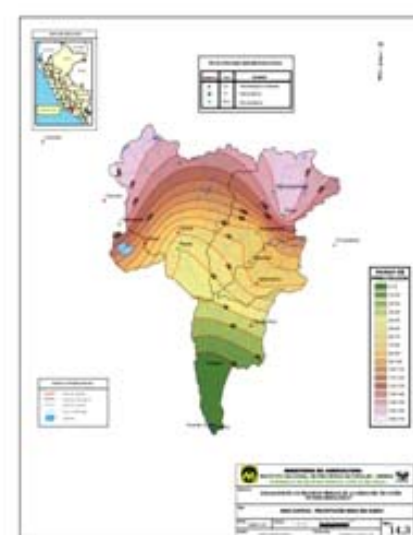
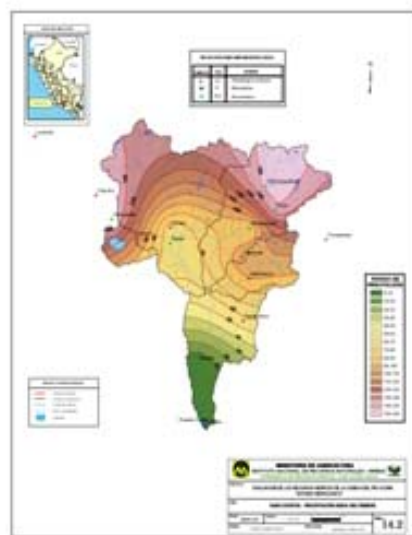
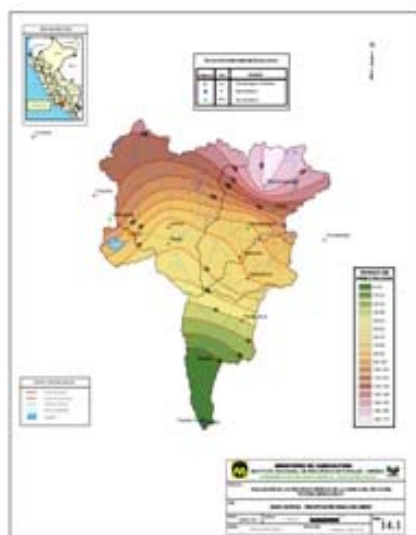
	Precipitación (mm)												Total mm/año
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	
Subcuencas													
Parinacochas	2.1	8.9	6.3	25.3	80.0	108.7	98.4	18.0	1.0	1.0	1.0	2.0	352.7
Pausa	8.5	10.9	10.0	35.4	97.9	107.3	106.3	27.2	3.8	1.6	2.4	5.1	416.4
Cotahuasi	11.0	15.3	17.1	51.3	114.1	121.4	117.8	31.5	5.1	3.3	4.0	8.5	500.4
Arma	4.8	6.7	9.9	29.9	73.3	91.2	74.5	14.4	2.0	1.2	2.2	3.7	313.9
Ocoña	2.0	2.1	2.4	7.8	25.4	33.8	22.7	6.0	1.0	1.0	1.0	2.0	107.2
Cuenca													
Ocoña	7.2	10.2	10.2	33.0	83.8	94.3	88.2	22.0	3.7	2.0	2.7	5.2	362.2

Figura 3.13: Precipitación total mensual para las subcuencas del río Ocoña



Cuadro 3.8: Precipitación total mensual de la cuenca del río Ocoña periodo 1965-2005

Año	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1965	5.1	7.1	5.7	20.4	54.7	59.6	58.7	15.8	2.6	1.4	1.9	3.7
1966	4.8	6.9	5.9	19.3	47.4	50.4	50.6	14.7	2.5	1.4	1.8	3.6
1967	8.0	11.1	11.3	37.1	96.2	108.8	100.8	24.7	4.1	2.1	3.0	5.7
1968	8.1	11.3	11.7	37.4	93.2	105.0	98.5	24.5	4.1	2.1	3.0	5.7
1969	6.7	9.5	9.3	30.1	75.0	83.6	78.8	20.3	3.4	1.9	2.5	4.9
1970	7.1	10.1	10.6	33.7	84.4	96.5	87.4	21.2	3.6	2.0	2.7	5.4
1971	6.5	9.6	9.7	30.4	73.7	83.4	77.9	19.7	3.4	1.9	2.5	5.0
1972	10.1	14.3	15.7	50.4	129.5	150.3	135.2	30.9	5.1	2.6	3.7	7.3
1973	7.4	10.3	10.4	33.7	95.1	94.9	89.7	22.8	3.8	1.9	2.7	5.2
1974	7.2	10.3	10.5	33.9	86.3	98.2	89.6	21.8	3.7	2.0	2.8	5.4
1975	7.8	11.3	11.8	37.2	90.9	104.0	96.4	23.7	4.0	2.2	2.9	5.7
1976	7.9	11.3	11.6	37.3	93.9	106.9	98.8	24.1	4.1	2.2	3.0	5.7
1977	7.0	9.8	9.5	31.3	78.2	87.1	82.8	21.2	3.6	1.9	2.6	4.9
1978	5.5	7.8	7.0	22.8	55.6	60.0	59.6	16.9	2.9	1.5	2.0	3.9
1979	5.8	8.3	8.0	25.3	62.0	68.6	65.3	17.7	3.0	1.7	2.1	4.3
1980	5.7	7.9	7.0	23.3	58.7	63.5	63.2	17.4	2.9	1.6	2.1	4.0
1981	7.9	11.3	11.8	38.0	96.2	110.1	100.4	24.0	4.1	2.2	3.0	5.8
1982	6.7	9.4	9.0	29.3	72.7	80.2	77.1	20.4	3.4	1.8	2.5	4.7
1983	5.2	7.4	6.3	21.1	52.8	56.4	57.0	16.1	2.7	1.5	1.9	3.8
1984	9.0	12.7	13.8	43.9	111.5	128.3	115.7	27.2	4.6	2.4	3.4	6.5
1985	7.6	11.3	12.5	38.5	93.4	108.1	96.9	23.2	4.0	2.2	2.9	6.0
1986	8.0	11.5	12.2	38.9	97.6	113.2	102.4	24.0	4.1	2.3	3.0	6.0
1987	5.7	8.0	7.3	24.2	61.0	67.4	64.4	17.1	2.9	1.6	2.1	4.2
1988	8.2	11.5	12.1	38.6	96.6	109.3	101.4	24.9	4.2	2.2	3.1	5.8
1989	7.4	10.3	10.4	33.7	84.9	94.9	89.7	22.8	3.8	1.9	2.7	5.2
1990	7.1	9.9	9.6	31.4	79.0	87.5	84.2	21.7	3.6	1.9	2.6	5.0
1991	7.2	10.0	9.7	32.4	83.6	94.4	88.5	21.8	3.7	1.9	2.7	5.1
1992	4.2	5.9	4.4	15.3	38.7	40.5	41.1	12.4	2.2	1.3	1.6	3.1
1993	7.1	10.0	10.0	32.3	80.9	91.2	85.5	21.5	3.6	2.0	2.7	5.1
1994	6.7	9.5	8.6	30.0	79.5	90.6	86.1	20.9	3.5	1.8	2.4	4.8
1995	7.4	10.3	10.2	33.2	83.5	93.0	88.7	22.6	3.8	1.9	2.7	5.2
1996	7.6	10.8	10.8	35.5	91.0	102.8	95.7	23.4	3.9	2.0	2.9	5.5
1997	8.4	12.0	12.8	40.8	103.7	119.4	108.4	25.7	4.3	2.3	3.2	6.2
1998	8.7	12.6	11.6	41.7	114.4	134.1	125.7	29.0	4.4	2.0	2.9	5.9
1999	10.3	14.3	15.2	50.2	130.5	149.9	137.1	31.7	5.2	2.6	3.8	7.1
2000	8.9	12.6	13.2	42.6	108.4	124.5	114.0	27.1	4.5	2.4	3.3	6.4
2001	8.6	12.2	12.6	40.9	104.5	119.3	110.4	26.5	4.4	2.3	3.2	6.1
2002	8.7	12.2	12.8	41.4	103.8	117.9	109.6	26.5	4.4	2.3	3.2	6.1
2003	5.7	8.0	7.2	23.7	59.1	64.5	63.2	17.2	2.9	1.6	2.1	4.1
2004	6.2	8.8	8.5	27.9	71.6	81.1	75.4	18.7	3.2	1.8	2.3	4.7
2005	5.8	8.2	7.4	24.5	60.9	67.1	65.0	17.3	3.0	1.7	2.2	4.2
μ	7.2	10.2	10.2	33.0	83.8	94.3	88.2	22.0	3.7	2.0	2.7	5.2
δ	1.4	2.0	2.6	8.1	21.4	25.8	22.1	4.3	0.7	0.3	0.5	1.0
<i>max</i>	10.3	14.3	15.7	50.4	130.5	150.3	137.1	31.7	5.2	2.6	3.8	7.3
<i>min</i>	4.2	5.9	4.4	15.3	38.7	40.5	41.1	12.4	2.2	1.3	1.6	3.1





IV. TEMPERATURA Y EVAPOTRANSPIRACION

4.1 TEMPERATURA

La temperatura es de gran importancia dentro del ciclo hidrológico debido a esta variable climática se encuentra ligada a la evapotranspiración y al periodo vegetativo de los cultivos. A continuación estudiaremos la temperatura tanto en su comportamiento espacial como temporal

4.1.1 Análisis de la Temperatura

Para el estudio de esta variable contamos solamente con 5 estaciones climatológicas (Ocoña, Yanaquihua, Cotahuasi, Salamanca y Pausa) que cuentan con registros de temperatura media mensual dentro del periodo de estudio 1965-2005. Ver [anexo III](#).

Considerando que las variables climatológicas, por lo general no presentan variaciones considerables a través del tiempo y la poca información disponible, el análisis de los registros se ha realizado de manera gráfica y así detectar valores incoherentes para luego corregirlos o eliminarlos y finalmente calcular la temperatura media mensual para el año promedio.

En el [cuadro 4.1](#) y [Figura 4.1](#) presentamos los valores medios mensuales obtenidos para cada estación.

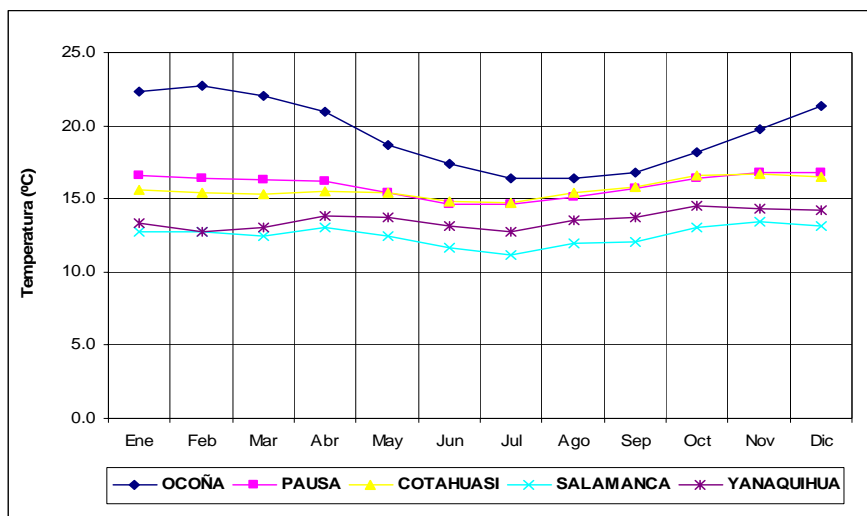
Cuadro 4.1: Temperatura media mensual por estaciones

	Temperatura media mensual (°C)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
OCOÑA	22.4	22.8	22.0	20.9	18.7	17.4	16.4	16.4	16.8	18.1	19.8	21.3
PAUSA	16.6	16.4	16.3	16.2	15.4	14.7	14.7	15.1	15.7	16.4	16.8	16.8
COTAHUASI	15.6	15.5	15.3	15.6	15.4	14.9	14.7	15.4	15.8	16.6	16.7	16.5
SALAMANCA	12.8	12.7	12.4	13.0	12.5	11.7	11.2	12.0	12.1	13.0	13.4	13.1
YANAQUIHUA	13.3	12.8	13.1	13.9	13.7	13.2	12.7	13.6	13.8	14.6	14.3	14.2

En un primer análisis podemos observar en la [Figura 4.2](#), el comportamiento estacional de la temperatura. Así tenemos que las estaciones registran sus valores máximos de temperatura entre los meses de Diciembre a Abril que coincide con la época de estiaje (periodo seco), y sus valores mínimos entre los meses de Mayo a Noviembre, durante la época de avenidas (periodo lluvioso).

Por lo tanto el análisis de la temperatura se ha realizado a nivel anual y estacional (época de avenidas y de estiaje).

Figura 4.1: Temperatura media mensual por estaciones



4.1.2 Relación entre la Temperatura – Altitud

Como la temperatura varía en función a la altitud, consideramos conveniente determinar las relaciones tanto a nivel anual y estacional (avenidas y estiaje), con el fin de conocer el comportamiento y distribución de la temperatura en función de la altitud. Una vez calculada esta relación podemos estimar valores de temperatura en puntos en la cual no se tiene registros de esta variable climática.

Así hemos obtenido las siguientes relaciones:

- 1) Relación Temperatura media anual – Altitud:

$$T_a = -10^{-6} * Z^2 + 0,002 * Z + 19.288$$

Donde:

T_a = Temperatura media anual en °C

Z = Altitud en msnm

En base a la relación encontrada hemos encontrando un gradiente de temperatura promedio para la cuenca de **-0.4°C** por cada 100 metros de altitud.

- 2) Relación Temperatura media época de estiaje (Diciembre-Abril) – Altitud

$$T_{est} = -10^{-6} * Z^2 + 0,0027 * Z + 17.485$$

Donde:

T_{est} = Temperatura media anual en °C

Z = Altitud en msnm

- 3) Relación Temperatura media época de Avenidas (Mayo-Noviembre) – Altitud

$$T_{av} = -10^{-6} * Z^2 + 0.0009 * Z + 21.812$$

Donde:

T_{av} = Temperatura media anual en °C

Z = Altitud en msnm

Figura 4.2: Relación Temperatura media anual – Altitud

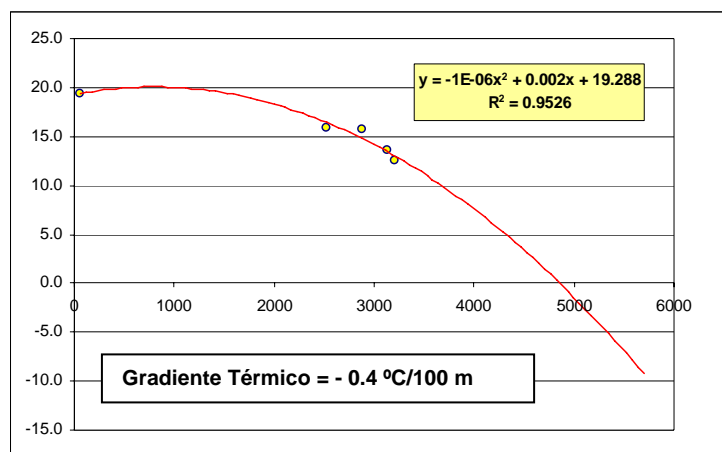


Figura 4.3: Relación Temperatura media época de Avenidas – Altitud

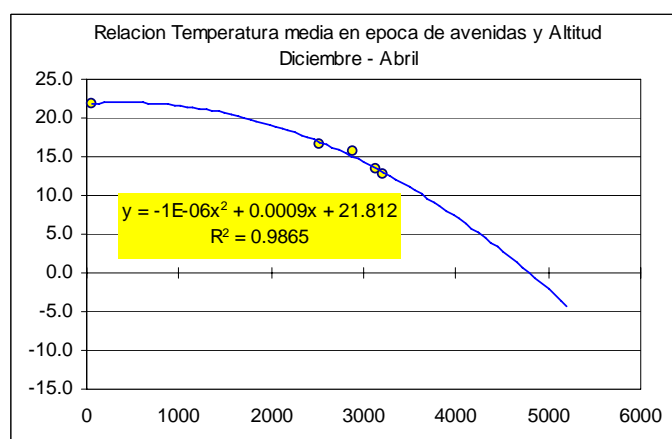
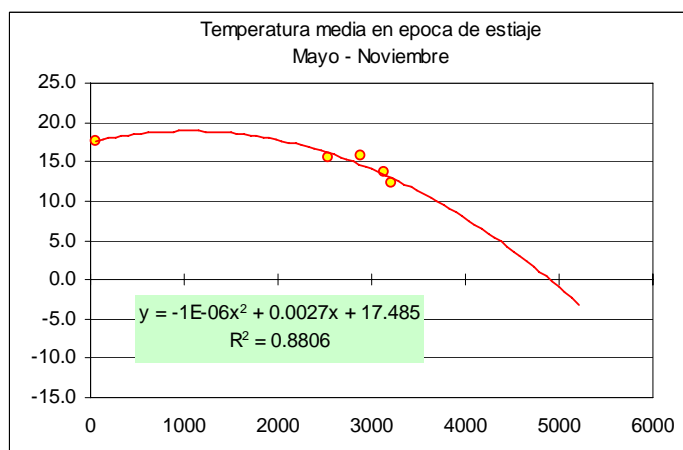


Figura 4.4: Relación Temperatura media época de estiaje – Altitud



4.1.3 Temperatura media en la cuenca

Para determinar la variación espacial de la temperatura hemos considerado el trazo de isotermas utilizando el método Kriging (Kriging Ordinario) por ser el método más consistente. Igualmente que para el trazo de isoyetas hemos usado el software Surfer 7.0, y adicionalmente se han realizado correcciones a este trazo automático, teniendo en cuenta el gradiente térmico.

Cuando las curvas de isotermas han sido trazadas y corregidas, la temperatura media se ha calculado con la siguiente expresión:

$$T_{med} = \sum_{i=1}^k A_i * T_i / A$$

$$T_i = (t_i + t_{i+1}) / 2$$

Donde:

T_{med} : Temperatura media sobre la cuenca.

A : Superficie total de la cuenca

A_i : Superficie entre dos isotermas i y $i+1$

K : Numero total de isotermas

T_i : Promedio de la Temperatura t entre dos isotermas i y $i+1$

4.1.4 Temperatura media anual y mensual

La temperatura media anual para la cuenca del río Ocoña es de 15.3 °C, y su temperatura media mínima se da durante el mes de Julio y es de 14.1 °C. Su temperatura media máxima se da entre los meses de Noviembre y Diciembre.

En el [Cuadro 4.2](#) y [Figura 4.5](#) podemos observar los valores de temperatura media anual y mensual para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas. La distribución espacial de la temperatura media anual podemos observarla en el [Mapa 15](#)

Cuadro 4.2: Temperatura media mensual y anual para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas.

	Parinacocha T media °C	Ocoña T media °C	Marán T media °C	Cotahuasi T media °C	Arma T media °C	Cuenca Ocoña T media °C
Ene	16.4	16.4	16.7	15.4	14.1	15.8
Feb	16.1	16.2	16.6	15.3	13.9	15.6
Mar	16.1	16.1	16.4	15.2	13.7	15.5
Abr	16.0	16.2	16.3	15.3	14.2	15.6
May	15.3	15.3	15.6	15.0	13.9	15.0
Jun	14.6	14.5	14.8	14.3	13.2	14.3
Jul	14.5	14.0	14.8	14.2	12.8	14.1
Ago	15.0	14.5	15.3	14.8	13.6	14.6
Sep	15.6	14.8	15.8	15.3	13.8	15.1
Oct	16.3	15.8	16.5	16.0	14.7	15.9
Nov	16.6	16.2	17.0	16.3	14.9	16.2
Dic	16.6	16.6	17.0	16.1	14.7	16.2
μ	15.8	15.6	16.1	15.3	14.0	15.3

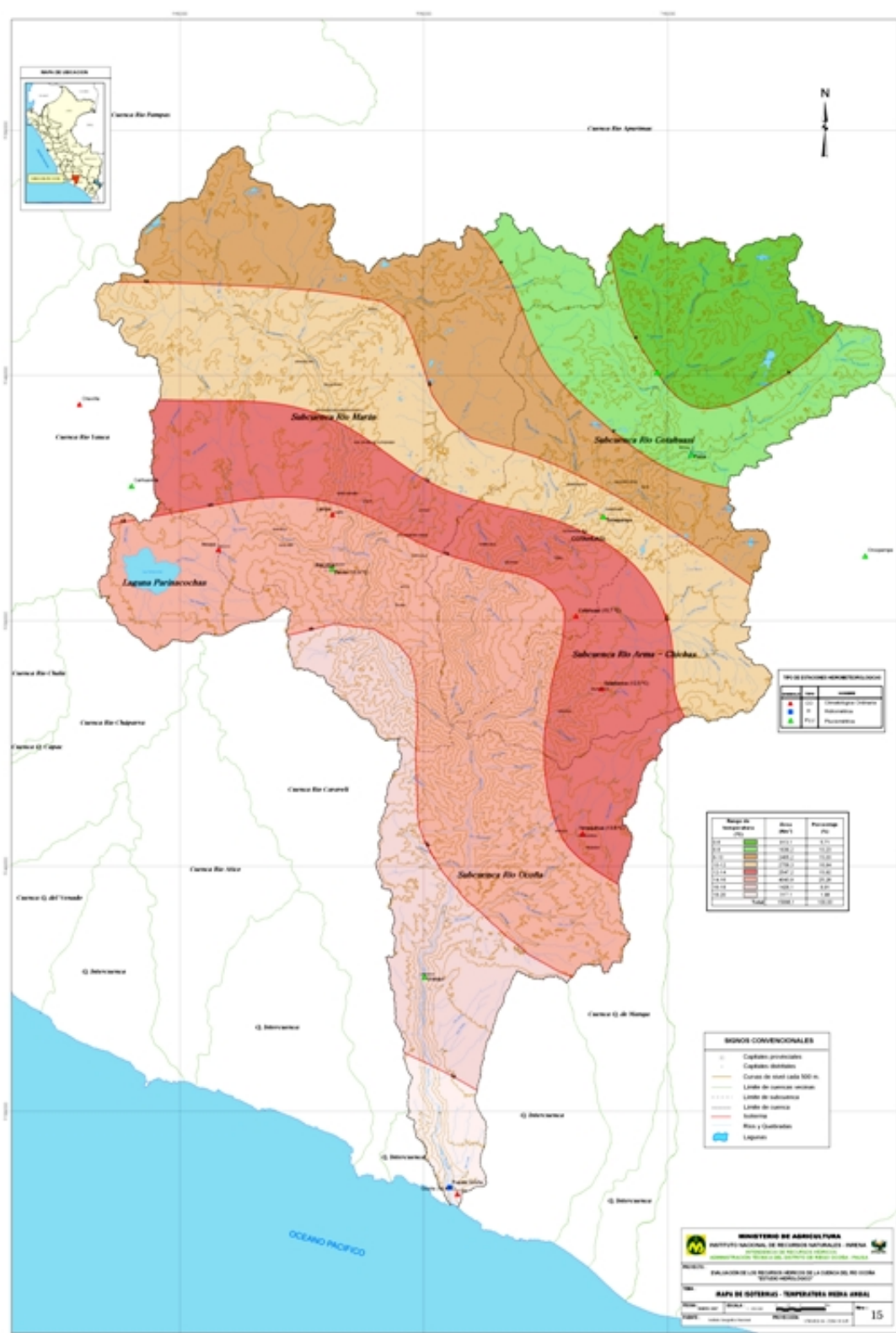
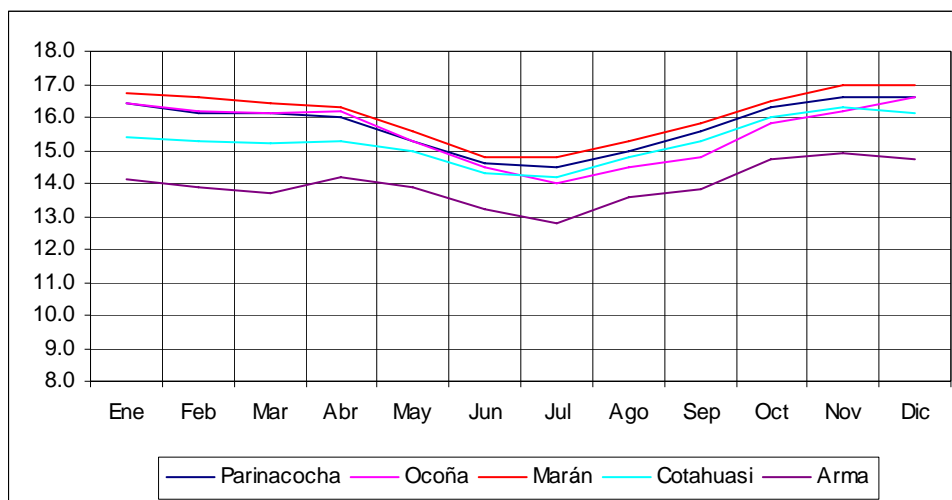
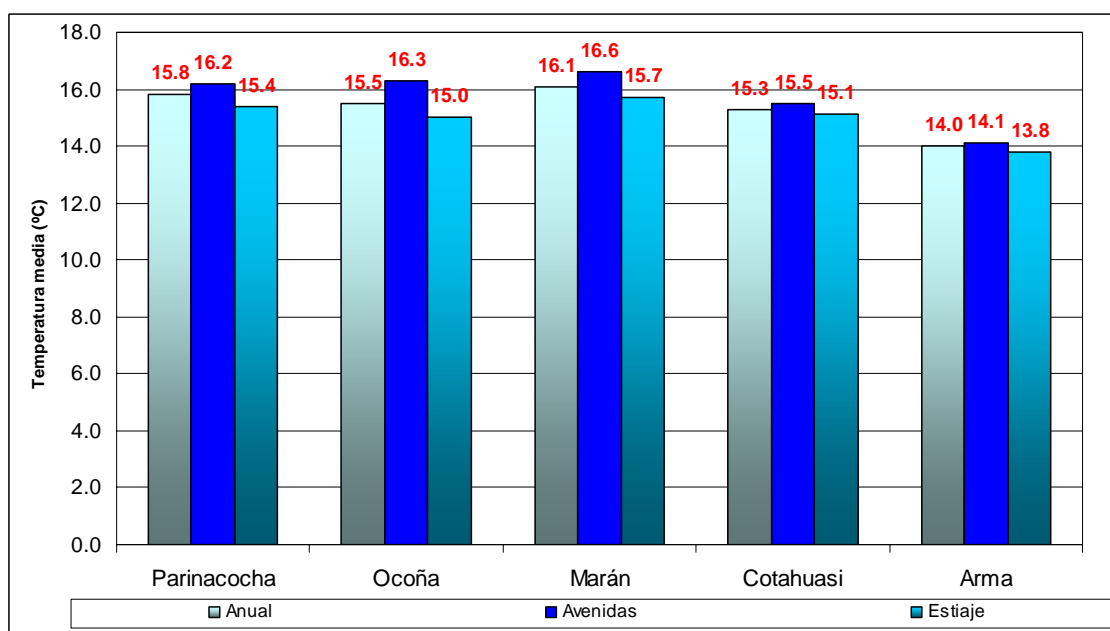


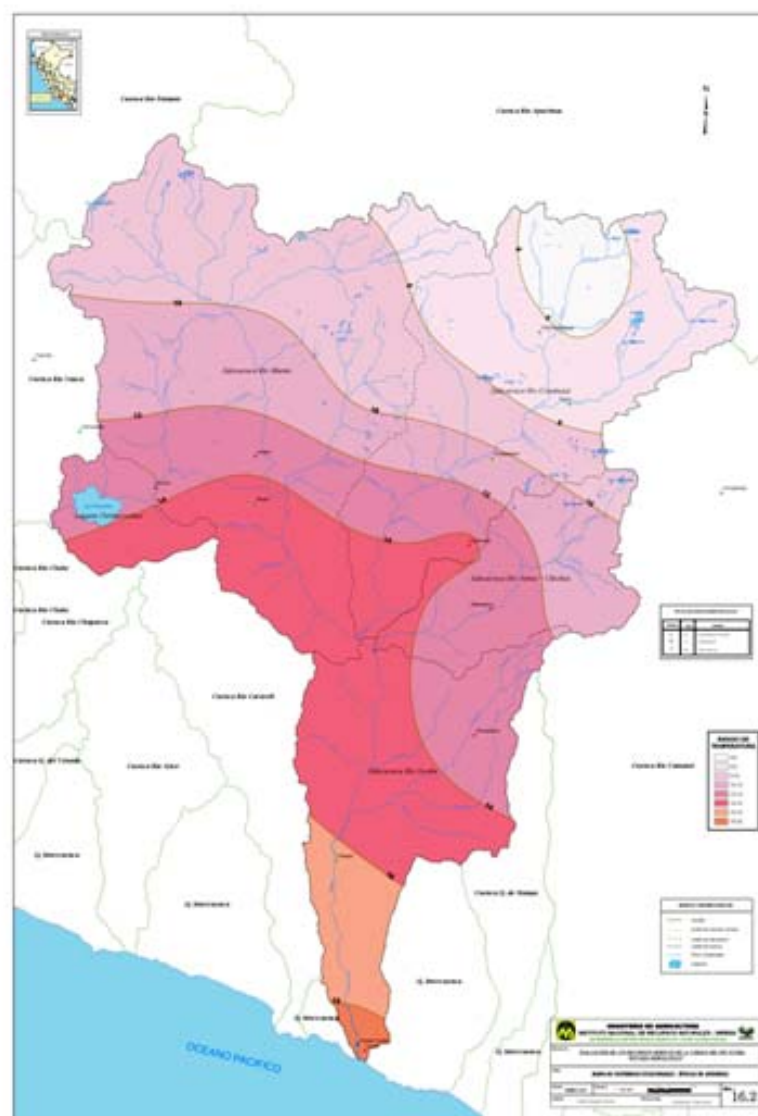
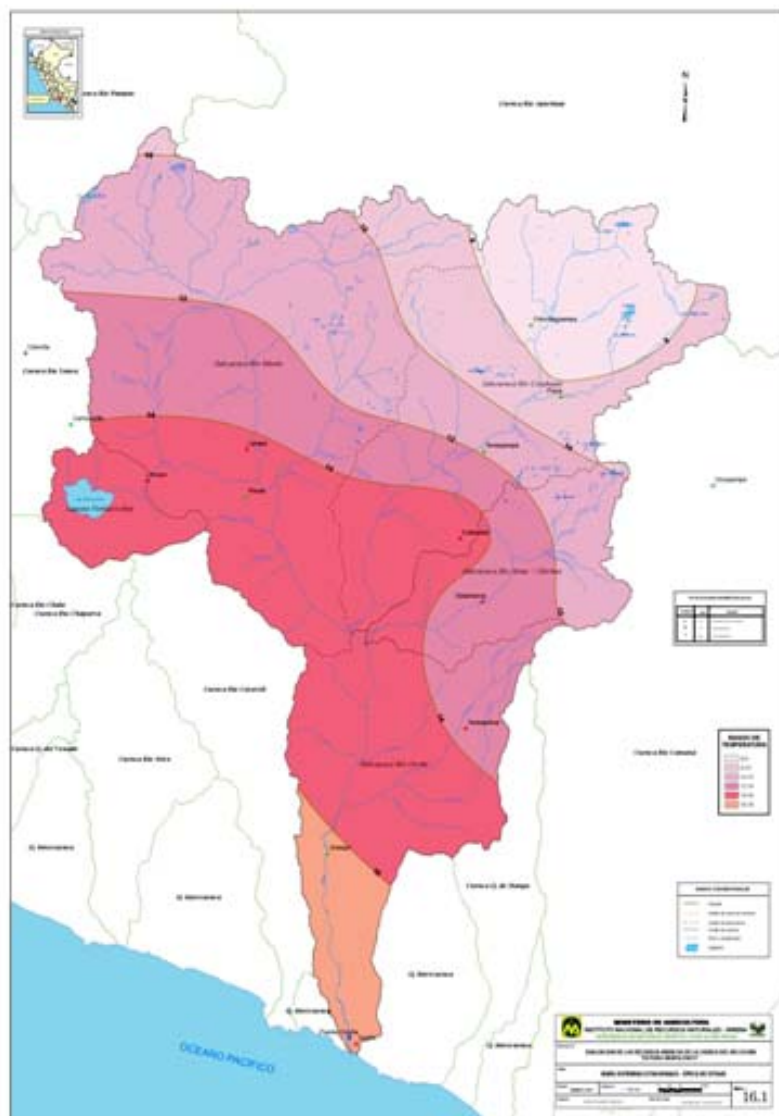
Figura 4.5: Temperaturas medias mensuales para la cuenca del río Ocoña

4.1.5 Variación estacional de la Temperatura.

La temperatura de la cuenca del río Ocoña, presenta dos estaciones (una cálida y una fría) bastante marcadas como podemos observar en el [Figura 4.5](#). La temperatura media presenta sus mayores valores durante la época de avenidas (Diciembre-Abril) presentando una temperatura media en época de avenidas de 15,7 °C y sus mínimas se presentan durante la época de estiaje, teniendo un valor medio para esta época de 15,0 °C.

En la [Figura 4.6](#) observamos los valores de temperatura media anual y estacional para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas. La distribución espacial anual y estacional de la temperatura se presenta en [Mapas 16.1 y 16.2](#).

Figura 4.6: Temperatura media anual y estacional para la cuenca del río Ocoña y sus subcuencas



4.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL – ETP

La evapotranspiración potencial – ETP es la cantidad máxima de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo. Adicionalmente es un elemento importante dentro del balance hídrico, debido a que es el principal parámetro responsable del déficit hidrológico.

Debido a que es difícil medir directamente la evapotranspiración (por medio de lisímetros), la solución empleada por la mayor parte de estudios hidrológicos es la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) con la ayuda de diferentes formulas que relacionen la ETP con elementos del clima. Algunas formulas resultan de un ajuste estadístico (Thornthwaite, Blaney-Criddle, Turc, Espinar, Riou, etc), y otros resultan de un razonamiento físico basado en un balance energético (Penman, Bouchet, Brochet-Gerbier, Penman-Monteith).

Penman define la evapotranspiración potencial - ETP como la cantidad de agua transpirada en unidad de tiempo por un cultivo bajo que cubre totalmente el suelo, de altura uniforme y al que nunca le falta agua.

Para el presente estudio la ETP ha sido calculada con la formula de FAO Penman-Monteith que describimos a continuación:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración potencial (mm/jour),

R_n: Radiación neta (MJ/m² jour)

G: Radiación global (MJ/ m² jour)

T: Temperatura (°C)

u₂: Velocidad de viento (m/s)

e_s: Presión de vapor saturado (kPa)

e_a: Presión de vapor de aire (kPa)

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor saturado (kPa/°C)

γ: Constante psicrométrica (kPa/ °C)

La ecuación de FAO Penman-Monteith necesita de para estimar la ETP datos meteorológicos de temperatura, humedad, velocidad de viento y radiación. Cuando no contamos con estos datos es altamente recomendado seguir el procedimiento de FAO para la estimación de estos parámetros. Esta metodología esta basada en el uso de tablas y ecuaciones empíricas. La metodología completa podemos encontrarla en las publicaciones de FAO. En su página Web (www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e08.htm#eto_calculated_with_different_time_steps) podemos encontrar un ejemplo ilustrado del calculo de ETP mensual a partir solo de datos de temperatura.

4.2.1 Evapotranspiración Potencial Mensual y Anual

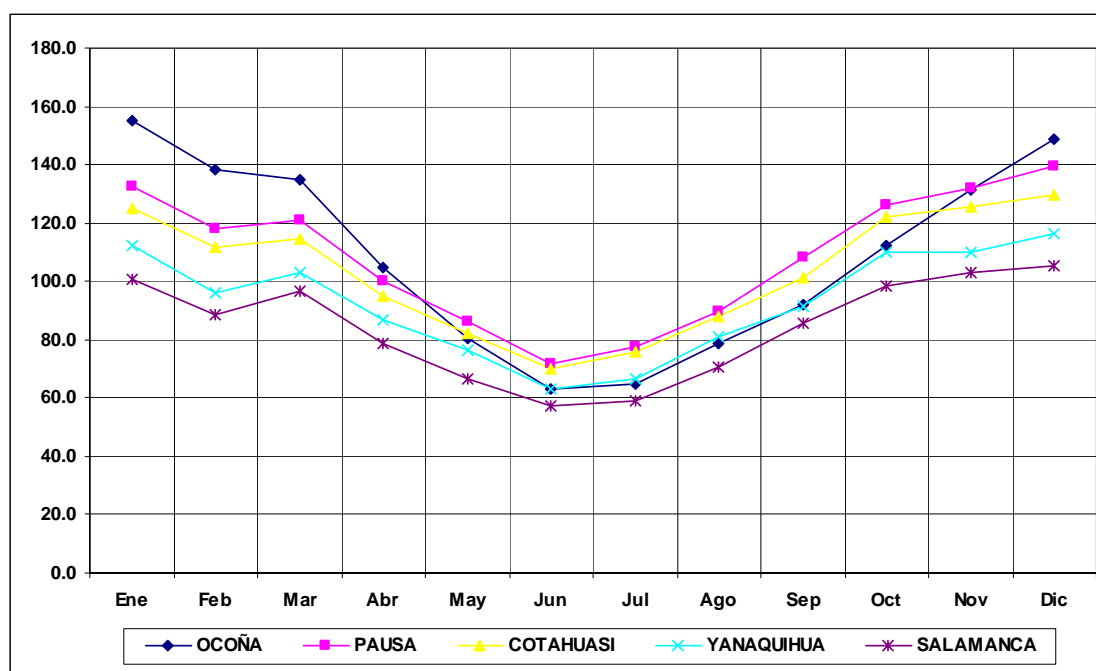
Los resultados de los cálculos de ETP mensual y anual para cada estación lo podemos ver en el Cuadro 4.3.

Aquí podemos destacar que la mayor ETP se presenta en la estación Ocoña con una ETP anual de 1304.5 mm/año y presenta sus valores mas altos durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo (148 mm/mes, 155mm/mes, 138mm/mes, 134mm/mes respectivamente). Ver Figura 4.7

Cuadro 4.3: Evapotranspiración potencial mensual y anual por estaciones

ETP (mm)	OCOÑA	PAUSA	COTAHUASI	YANAQUIHUA	SALAMANCA
Ene	155.0	132.8	125.3	112.2	100.9
Feb	138.6	118.1	111.5	95.8	88.8
Mar	134.8	120.9	114.5	102.8	96.5
Abr	104.6	100.1	95.1	86.8	78.8
May	80.3	86.2	82.5	76.5	66.4
Jun	63.0	72.0	69.9	63.1	57.3
Jul	65.0	77.8	75.8	66.3	59.3
Ago	78.6	89.8	87.8	81.2	70.4
Sep	92.2	108.1	101.3	91.5	85.8
Oct	112.3	126.5	122.2	109.9	98.4
Nov	131.6	132.1	125.3	109.9	103.0
Dic	148.5	139.6	129.6	116.3	105.1
TOTAL	1304.5	1304.0	1240.7	1112.3	1010.8

Figura 4.7: Evapotranspiración Potencial Mensual por estaciones



4.2.2 Evapotranspiración media en la cuenca

Igualmente que para el cálculo de la temperatura media de la cuenca hemos considerado el trazo de isolíneas de evapotranspiración utilizado el método de interpolación Kriging (Kriging Ordinario) con la ayuda del software Surfer 7.0.

Cuando las curvas de isolíneas de evapotranspiración han sido trazadas y corregidas, la ETP media se ha calculado con la siguiente expresión:

$$ETP_{med} = \sum_{i=1}^k A_i * ETP_i / A$$

$$ETP_i = (etp_i + etp_{i+1}) / 2$$

Donde:

- ETP_{med}: Temperatura media sobre la cuenca.
 A: Superficie total de la cuenca
 A_i: Superficie entre dos isotermas i y $i+1$
 K: Numero total de isotermas
 ETP_i: Promedio de la ETP entre dos isotermas i y $i+1$

Los resultados de los cálculos, para cada una de las subcuencas, se aprecian en el [Cuadro 4.4](#). Podemos observar que la ETP total anual encontrada para la cuenca de Ocoña es de 1071 mm/año. La distribución espacial de la ETP podemos observarla en el [Mapa 17](#)

Cuadro 4.4: Evapotranspiración Potencial mensual y anual por subcuencas

ETP (mm)	Arma-Chichas	Cotahuasi	Marán	Ocoña	Parinacochas	
Ene	105.3	96.3	117.0	113.5	131.3	112.7
Feb	92.0	82.5	102.5	97.5	116.1	98.1
Mar	97.6	86.2	105.0	100.8	119.3	101.8
Abr	79.3	66.7	84.0	80.0	99.0	81.8
May	67.0	54.0	70.0	65.0	85.6	68.3
Jun	55.9	41.4	56.0	50.6	71.2	55.0
Jul	59.7	47.0	61.9	53.7	76.7	59.8
Ago	71.6	58.7	73.8	67.7	89.3	72.2
Sep	85.7	74.2	91.4	80.2	106.6	87.6
Oct	102.4	93.2	110.3	98.8	125.2	106.0
Nov	106.0	97.0	116.1	105.4	130.2	110.9
Dic	109.6	101.7	123.3	114.7	138.0	117.5
Total	1032.0	898.8	1111.7	1027.6	1288.1	1071.7

V. CAUDALES

5.1 Red hidrométrica

En la cuenca del río Ocoña, solo contamos con una estación hidrométrica en la parte baja, llamada Puente Ocoña, que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Esta se encuentra ubicada en la parte baja de la cuenca a una altitud de 23 msnm y se encuentra dentro del distrito de Ocoña.

Esta estación cuenta con un correntómetro para medir caudales, un limnigráfo convencional que registra los niveles instantáneos en una banda de papel graduado. Adicionalmente a partir del año 2000 cuenta con un limnómetro automático que transmite vía satélite los niveles horarios del río Ocoña a la central de SENAMHI, el cual ha sido instalado con fines de pronóstico y prevención se ha instalado adicionalmente

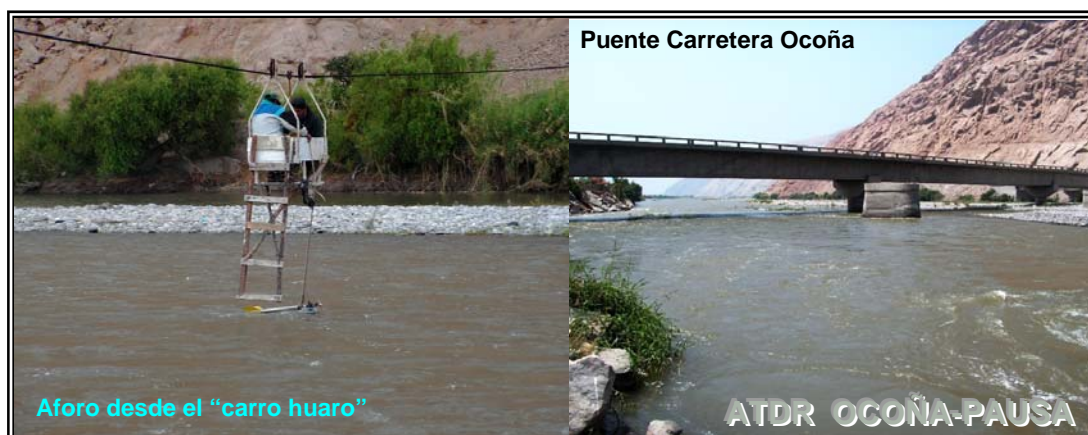
La sección transversal de esta estación es una sección natural, por lo tanto deben realizarse aforos de control regularmente, en este caso los aforos se realizan cada 3 días. Esta estación cuenta con registros históricos desde el año 1998 hasta la fecha. En un inicio los aforos de control se realizaban desde el Puente Carretera Ocoña. Desde fines de Noviembre del 2005 se ha instalado un “Carro Huaro” (figura 5.1) aguas abajo del Puente Carretera Ocoña, desde el cual se realizan actualmente los aforos.

Para nuestro estudio hemos tomado en cuenta los Caudales medios mensuales entre el periodo 1998 – 2005; tal como podemos observarlo en el [Cuadro 5.2](#)

Cuadro 5.1: Ubicación de la estación hidrológica Puente Ocoña

Estación	Cuenca	Área Km ²	Latitud Sur (°)	Longitud Oeste (°)	Altitud m.s.n.m	Fecha Inicio	GESTION
Puente Ocoña	Ocoña	15998,12	16.42	73.1	23	01/01/1998	SENAMHI

Figura 5.1: Estación hidrológica Puente Ocoña



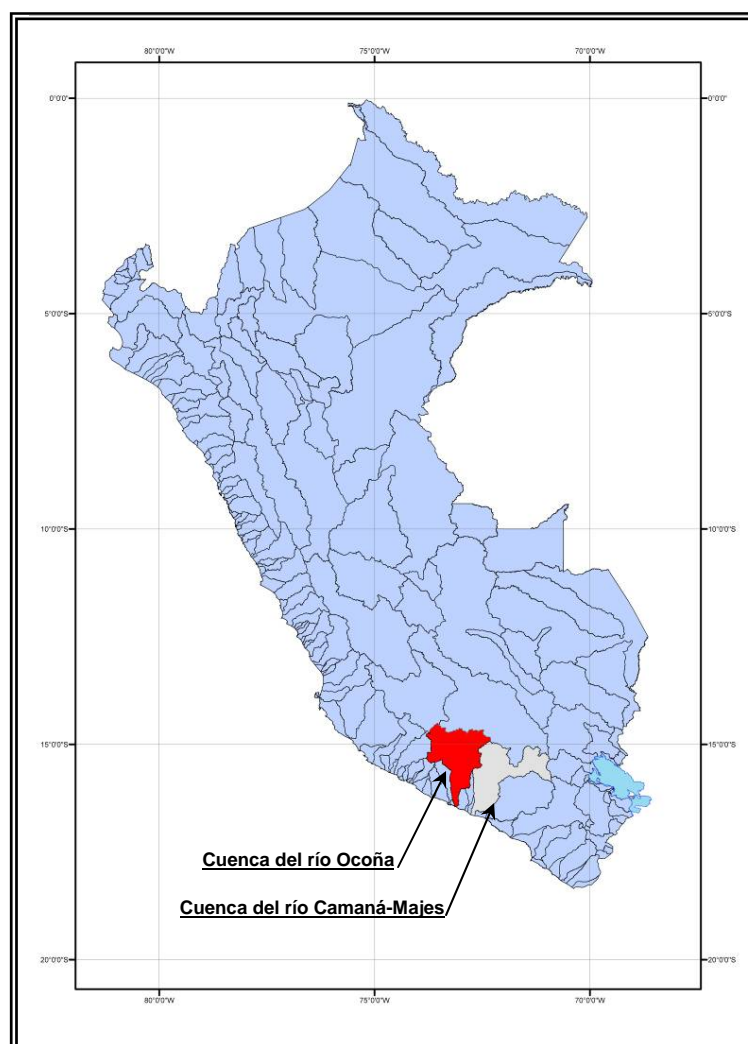
5.2 Registros de caudales y análisis de la información

En la estación Puente Ocoña, contamos con un registro histórico de caudales medios mensuales para el periodo 1998-2005. Debido a que no contamos con otras estaciones dentro de la cuenca hemos decidido utilizar los registros de caudales de las cuencas más próximas. Luego de evaluar las diferentes cuencas vecinas a la cuenca del río Ocoña decidimos utilizar los registros de caudales de la cuenca de Camaná-Majes debido a que se encuentra en la de la vertiente del Pacífico, pertenece a la misma región climática y tiene un la estación presenta un área de 17 455 Km², la cual es similar al área de la cuenca del río Ocoña (15 998 Km²). La estación que registra los caudales del río Camaná Majes es la estación hidrométrica Huatiapa, la cual es manejada por Autoridad autónoma de Majes – AUTODEMA y presenta un registro histórico desde el año 1964. La información de la estación Huatiapa la hemos recuperado de la base de datos de la Intendencia de Recursos Hídricos del IRH, la cual ya se encuentra completa y homogeneizada. Los registros históricos se presentan en el [Anexo V](#).

Cuadro 5.2: Ubicación de la estación hidrológica Huatiapa

Estación	Cuenca	Área Km ²	Latitud Sur (°)	Longitud Oeste (°)	Altitud m.s.n.m	Año de Inicio	GESTION
Huatiapa	Camaná-Majes	17 455	16.67	72.47	699	1964	SENAMHI

Figura 5.1: Ubicación de la cuenca del río Camaná Majes



Para el análisis de la información hidrológica primero hemos realizado un análisis gráfico de valores normalizados de los caudales de las estaciones Ocoña, Huatiapa y la precipitación mensual de la cuenca del río Ocoña.

Para la normalización de valores de caudales y precipitación hemos usado la siguiente expresión:

$$Z = \frac{X - \mu}{\delta}$$

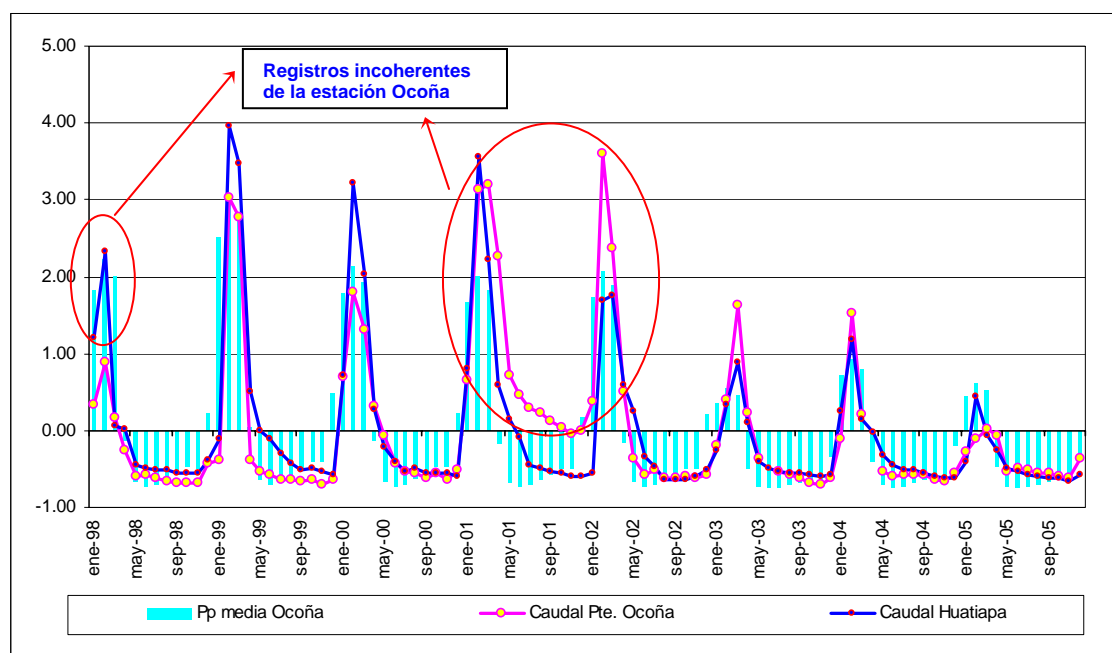
X: Valor que desea normalizar.

μ : Media aritmética

δ : Desviación estándar

Posteriormente podemos observar fácilmente la relación que existe entre la precipitación y la escorrentía. Haciendo la comparación visual entre la precipitación y los caudales, podemos detectar fácilmente los errores.

Figura 5.2: Valores normalizados de precipitación media de la cuenca y caudales de las estaciones hidrológicas Puente Ocoña y Huatiapa



En el Gráfico 5.2 podemos observar claramente que los datos de caudales de la estación Ocoña entre los periodos Enero-Febrero de 1998 y entre Febrero-Diciembre 2001 no guardan relación con la precipitación ni con los caudales de la estación Huatiapa.

Una vez detectado estos errores hemos procedido a corregir los valores dudosos usando una correlación lineal entre los datos de la estación Huatiapa y Ocoña. Ver [Figura 5.2](#).

Finalmente para validar nuestros valores, hemos nuevamente verificado la relación existente entre los valores normalizados de precipitación y caudal, tal como observamos en la [Figura 5.3](#).

Figura 5.3: Correlación entre los caudales de las estaciones Puente Ocoña y Huatiapa

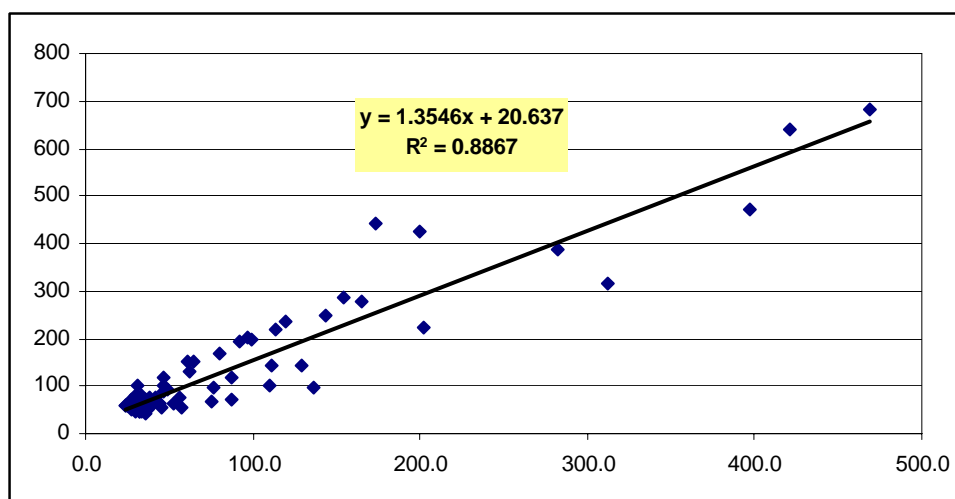
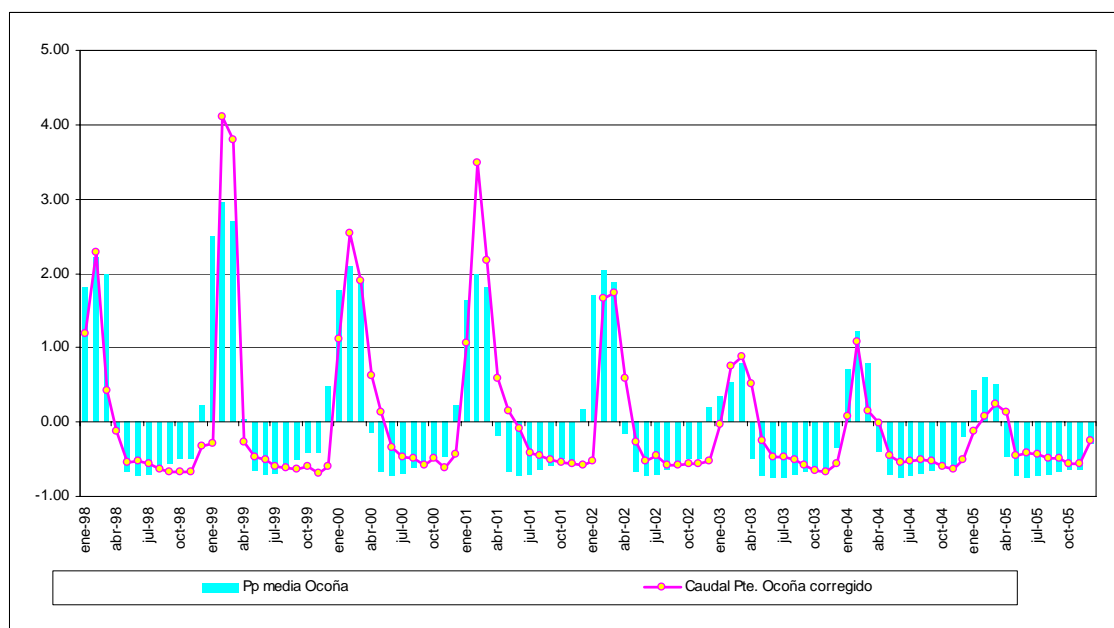


Figura 5.4: Valores normalizados de precipitación media de la cuenca del río Ocoña y los caudales medios mensuales corregidos de la estación Puente Ocoña.



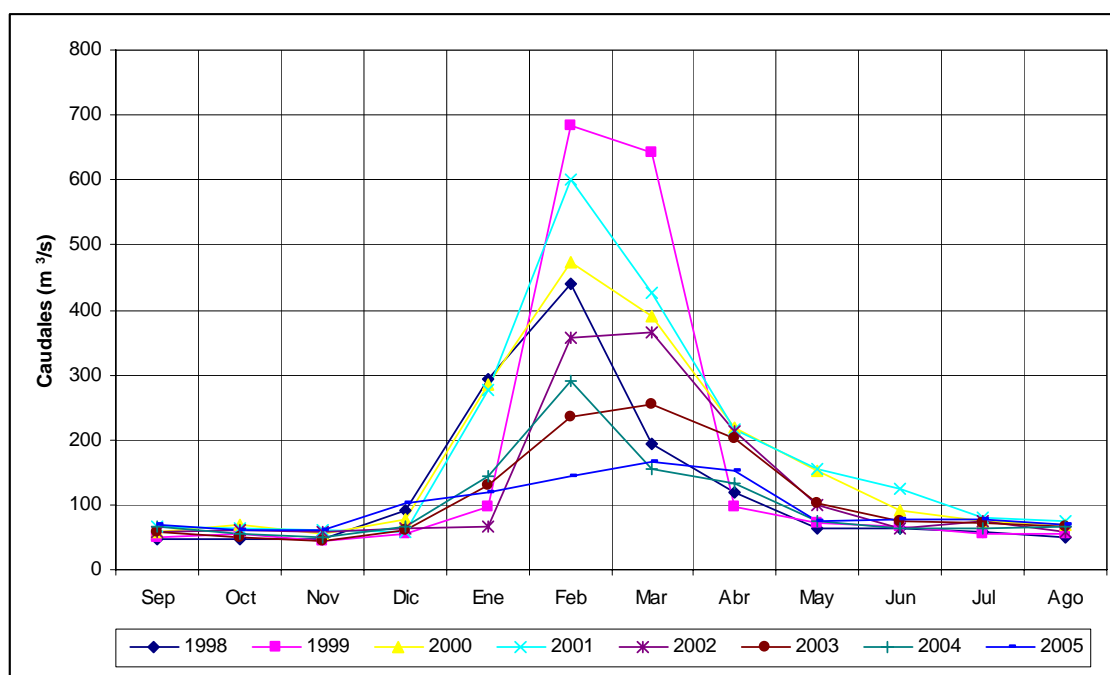
Una vez verificada la coherencia entre la relación de precipitación y caudales normalizados, procedemos a completar los valores de caudales medios mensuales de la estación Puente Ocoña. Los resultados podemos observarlos en el [Cuadro 5.3](#) y [Figura 5.5](#).

Cuadro 5.3: Caudales medios mensuales en m³/s corregidos de la estación Puente Ocoña

Q m ³ /s	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1998	46.7	45.9	46.4	92.6	293.2	440.2	192.7	119.1	63.0	64.4	59.3	51.0
1999	49.9	55.0	43.3	54.6	97.3	683.0	641.7	98.1	72.2	66.9	55.5	54.0
2000	58.9	70.5	54.1	77.2	284.7	473.1	389.3	217.4	151.8	90.0	73.4	69.0
2001	66.5	63.5	60.4	58.9	276.7	599.8	425.9	214.6	155.5	124.6	79.5	74.0
2002	57.0	60.6	59.5	64.6	65.5	358.1	366.4	213.9	100.3	64.1	75.8	58.3
2003	58.4	48.5	44.8	60.2	130.1	234.5	253.5	202.6	102.5	73.5	72.9	66.9
2004	65.1	56.5	51.2	67.6	144.5	289.8	154.5	133.5	74.6	62.4	64.8	66.6
2005	68.8	61.1	60.0	102.2	118.2	144.9	167.4	152.8	74.6	78.7	78.0	69.5
μ	55.0	53.5	51.7	59.1	173.5	302.5	286.7	160.7	88.6	71.5	63.2	58.2
max	68.8	70.5	60.4	102.2	378.1	710.5	647.4	233.8	155.5	124.6	79.5	74.0
min	46.7	45.9	43.3	49.5	65.5	93.9	93.9	90.7	52.8	51.5	50.7	50.2
δ	4.1	4.1	3.1	10.6	65.7	147.3	127.9	36.4	20.7	11.6	6.3	5.0

* μ = media; δ = desviación estándar

Figura 5.3: Caudales medios mensuales corregidos de la estación Puente Ocoña



VI. MODELIZACION PRECIPITACIÓN-ESCORRENTIA

Cuando evaluamos la disponibilidad hídrica, la problemática más común es la escasez o ausencia de registros de caudales. Si contamos con registros de caudales suficientes los datos pueden analizarse estadísticamente mediante un análisis frecuencia; pero cuando no se cuenta con estos registros debemos recurrir a diferentes métodos de estimación más o menos complejos dependiendo siempre de la disponibilidad de información (meteorológica, suelos, cobertura vegetal, etc.) en la cuenca.

Para el presente estudio el periodo escogido es de 1965 -2005, pero lamentablemente nuestro registro de caudales medios mensuales se encuentra comprendido entre los años 1998-2005. Entonces tenemos la necesidad de reconstruir los caudales medios mensuales para el periodo de estudio.

Teniendo en cuenta que solo contamos con datos de precipitación y temperatura en la cuenca, debemos elegir un modelo de precipitación – escorrentía simple y robusto que nos permita modelar correctamente los caudales medios mensuales y posteriormente nos permita construir una serie histórica confiable de caudales en la cuenca. Para nuestro caso hemos decidido utilizar un modelo conceptual simple de la familia de los modelos Gxy (Génie Rural) el cual describiremos en el siguiente ítem.

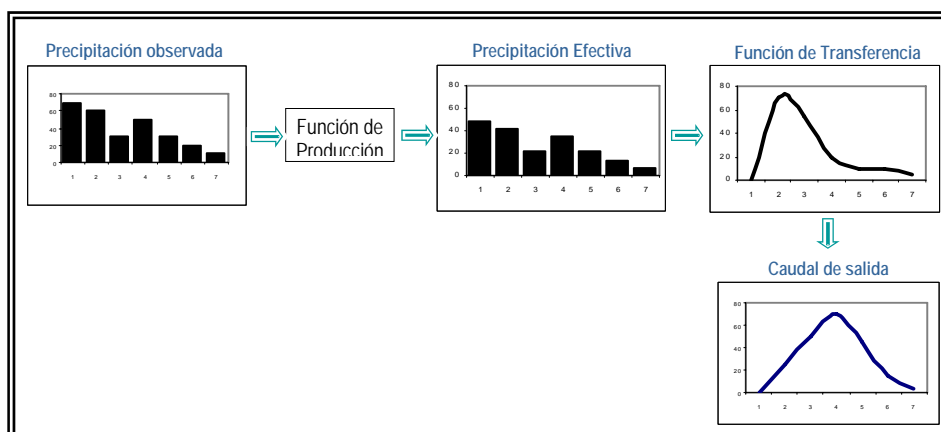
6.1 MODELO PRECIPITACIÓN – ESCORRENTÍA (GR2M)

La unidad de investigación en hidrología del Cemagref d'Antony (Francia), ha desarrollando una serie de modelos precipitación – escorrentía llamados modelos “GR” por Génie Rural. En 1983, Michel propuso un modelo global, lo más simple posible, para reconstruir los caudales diarios a partir de la precipitación y la temperatura (para estimar la evaporación). Posteriormente el modelo GR a continuado evolucionando presentando diferentes versiones como el GR1A, GR2M, GR3J, GR4J. El número indica el número de parámetros a modelar y la ultima letra el paso de tiempo: J (diario), M (mensual), A (anual).

El modelo GR2M, es un modelo global² que funciona a paso de tiempo mensual, y que depende de dos parámetros. Existen diferentes versiones del modelo GR2M, nosotros hemos elegido trabajar con la versión más reciente elaborada por Mouelhi (2003).

De manera general este tipo de modelos son basados en la transformación de la precipitación → escorrentía por la aplicación de dos funciones: Una función de producción y una función de transferencia (Ver Figura 6.1)

Figura 6.1: Esquema de transformación de precipitación a caudal



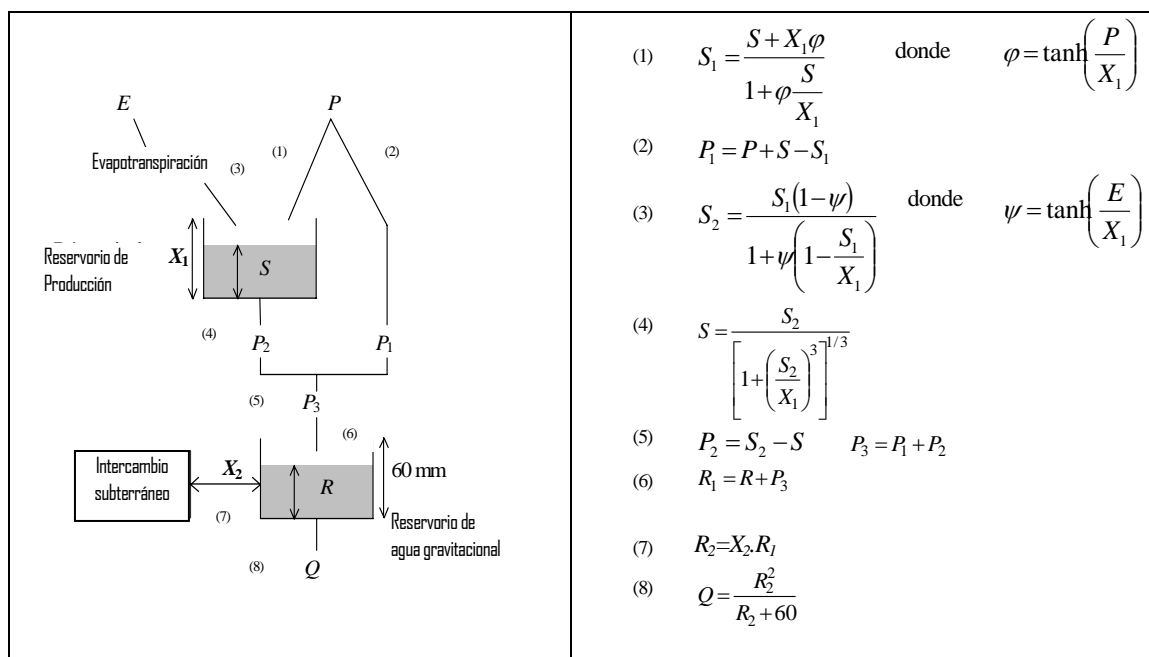
² Toma la cuenca como una unidad

El modelo GR2M, es un modelo a dos reservorios donde:

- La **función de producción** del modelo se organiza alrededor de un reservorio llamado reservorio-suelo,
- La **función de transferencia** esta gobernada por el segundo reservorio llamado reservorio de agua gravitacional donde el aporte es instantáneo al inicio del paso de tiempo, y luego el reservorio se vacía gradualmente. El nivel de este reservorio determina el caudal que puede liberar.

La arquitectura del modelo y las ecuaciones podemos observarlas en la **Figura 6.2**.

Figura 6.2: Arquitectura del Modelo GR2M de Mouelhi (2003)



* Fuente: CEMAGREF (www.cenagref.fr)

Los flujos entrantes (P) y salientes (ETP) del reservorio suelo (capacidad máxima **X1**) son calculados en base a estado de stock S. Una parte de la precipitación P1 corresponde a la diferencia entre P y la precipitación que ingresa en el suelo y otra parte P2 corresponde a la percolación.

La suma de ambas P1 + P2 corresponden a la precipitación efectiva P3 que ingresa en el reservorio de agua gravitacional (capacidad máxima fijada en 60 mm). Un término de intercambio subterráneo es incluido dentro del modelo **X2**.

Finalmente el reservorio de agua gravitacional se vacía siguiendo una función cuadrática, dándonos como resultado el caudal de salida.

Entonces los dos parámetros a optimizar son:

X1: capacidad del reservorio suelo en milímetros

X2: coeficiente de intercambios subterráneos (adimensional)

La evaluación de la calidad del modelo puede realizarse de manera cuantitativa o cualitativa: la evaluación cuantitativa consiste en determinar el mayor valor óptimo de una función objetivo o función criterio por técnicas de optimización. La función objetivo o criterio de evaluación resume los resultados de comparación entre los datos calculados y los datos observados en una sola cifra y la evaluación cualitativa se basa en la comparación grafica entre los valores calculados y los valores observados.

a) *Criterio de Nash*: Propuesto por Nash (1969), esta dado por la formula:

$$Nash = \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs,t} - Q_{cal,t})^2}{\sum_{t=1}^n (\overline{Q_{obs,t}} - Q_{obs,t})^2}\right) \times 100$$

Donde:

$Q_{obs,t}$: Caudal observado

$Q_{cal,t}$: Caudal calculado;

$\overline{Q_{obs,t}}$: Caudal observado medio.

b) *Criterio de balance de caudales observados/calculado*

$$Bilan = \frac{\sum_{t=1}^n Q_{obs,t}}{\sum_{t=1}^n Q_{cal,t}}$$

Donde:

$Q_{obs,t}$: Caudal observado

$Q_{cal,t}$: Caudal calculado

6.2 APLICACIÓN DEL MODELO GR2M

Para la aplicación del modelo hemos seguido los siguientes pasos:

- ✚ **Datos de Ingreso:** Como ya lo mencionamos con anterioridad los únicos datos de entrada que requerimos en nuestro modelo son la precipitación y la evapotranspiración media mensual, y los caudales observados para el control del modelo. Entonces nuestros datos de ingresos serán la precipitación mensual (1998-2005), la evapotranspiración media mensual y los caudales medios mensuales (1998-2005). Estos datos han sido calculados con anterioridad en los capítulos III, IV y V.
- ✚ **Inicialización del modelo:** Hemos utilizado un año completo de inicialización, que permite atenuar totalmente los efectos de los primeros cálculos. Esto permite al modelo de tomar su funcionamiento normal. Durante el curso de este año los resultados del modelo no son tomados en cuenta para el cálculo de la función objetivo y los criterios de calidad.

Optimización del modelo: Para reproducir mejor los caudales, debemos optimizar los parámetros **X1** (reservorio suelo) y **X2** (coeficiente de intercambios subterráneos), para ello hemos usado la herramienta SOLVER de Excel, y como criterio de evaluación usaremos el criterio de Nash, y adicionalmente el criterio de balance de caudal observado/simulado nos servirá para afinar los resultados de la optimización.

6.3 RESULTADOS DEL MODELO

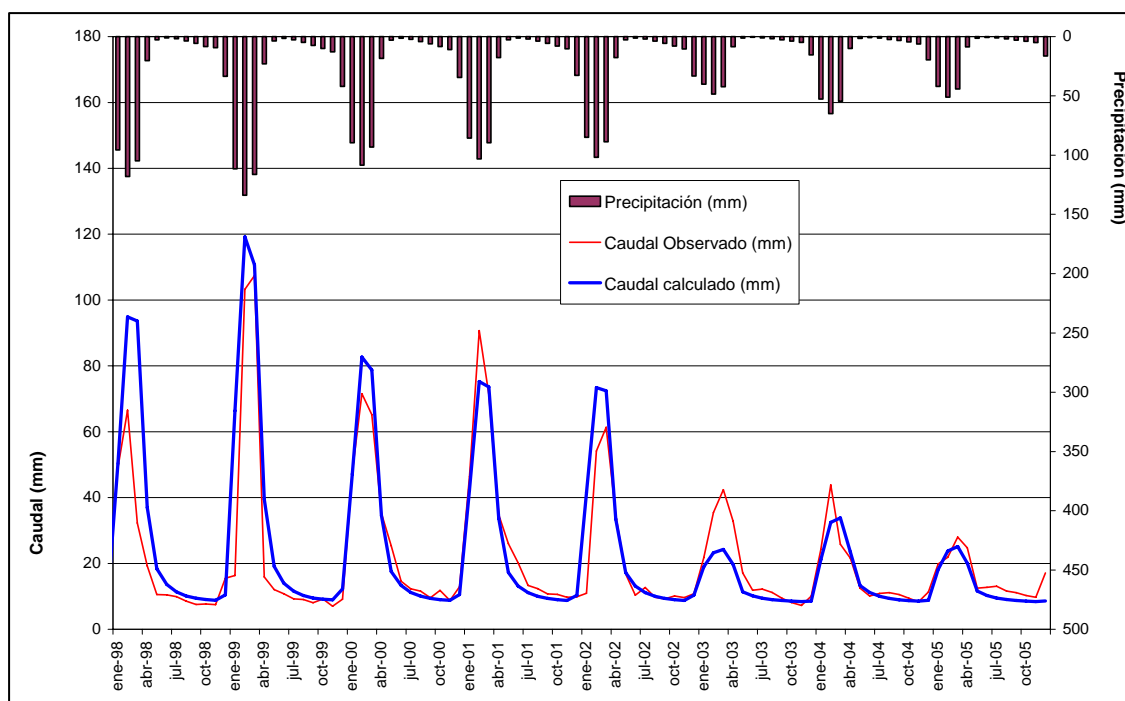
En el Cuadro 6.1 podemos observar los valores optimizados de X1 y X2, así como los mejores valores encontrados para el criterio de Nash y de Balance de caudales observados/simulados. Se debe tener en cuenta que el modelo GR se encuentra dentro de la categoría de modelos empíricos debido a priori no usa ecuaciones físicas, por lo tanto se debe tener cuidado en la interpretación de los parámetros optimizados.

Como podemos constatar en la Figura 6.3 el modelo nos da muy buenos resultados. Para el criterio de Nash hemos obtenido 81% el cual es un valor muy bueno (Nash max =100%) y el balance de caudales observados/simulados 99.9 % nos indica que el modelo logra representar muy bien la cantidad de caudales escurridos.

Cuadro 6.1: Valores óptimos para el modelo y criterios de calidad.

<i>Parámetros óptimos</i>	<i>Criterio de calidad</i>
X1 (reservorio suelo) = 78.6 mm	Nash: 81%
X2 (intercambio subterráneo) = 1.5	Balance: 99.9%

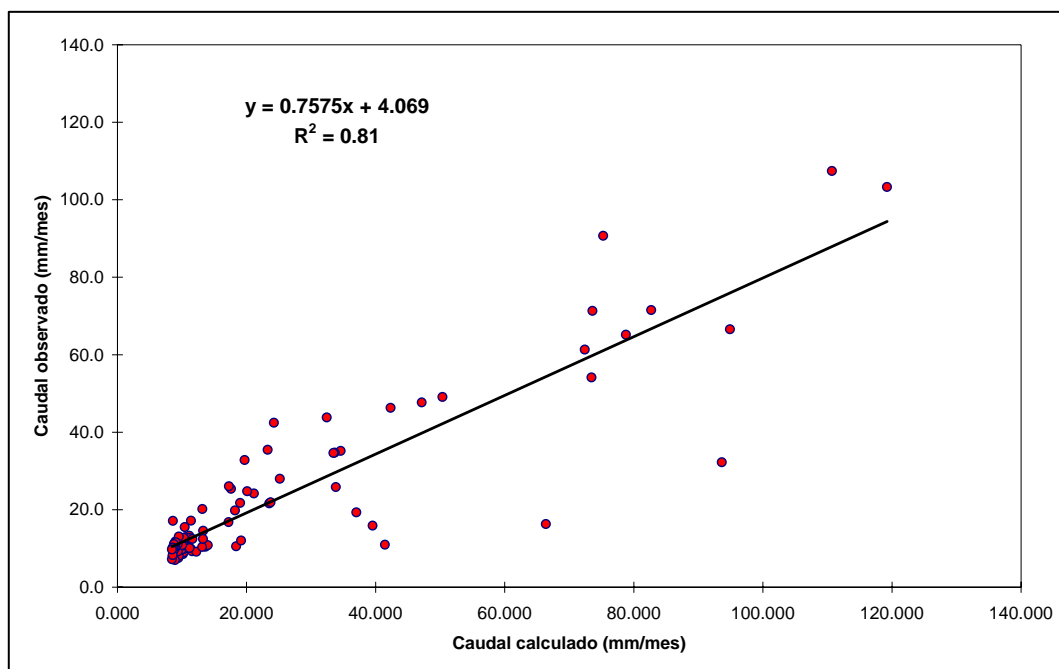
Figura 6.3: Hidrograma de caudales observados y simulados para la cuenca del río Ocoña.



Podemos resaltar que en los años menos lluviosos como el 2003 y 2004, el modelo tiende a sobreestimar los valores para los caudales máximos del año hidrológico, sin embargo podemos resaltar que en la época de seca (estiaje) el modelo representa con mayor precisión de caudales.

Teniendo en cuenta los altos valores encontrados para la funciones criterios ($Nash=81\%$ y $Balance=99.9\%$) y la buena correlación entre el caudal calculado y observado ($R^2=0.81$), que se presenta en la [Figura 6.4](#), podemos concluir que el modelo reproduce bien los caudales de la cuenca. Los resultados obtenidos por el modelo podemos observarlos en el [Cuadro 6.2](#)

Figura 6.4: Correlación entre caudales observados y calculados



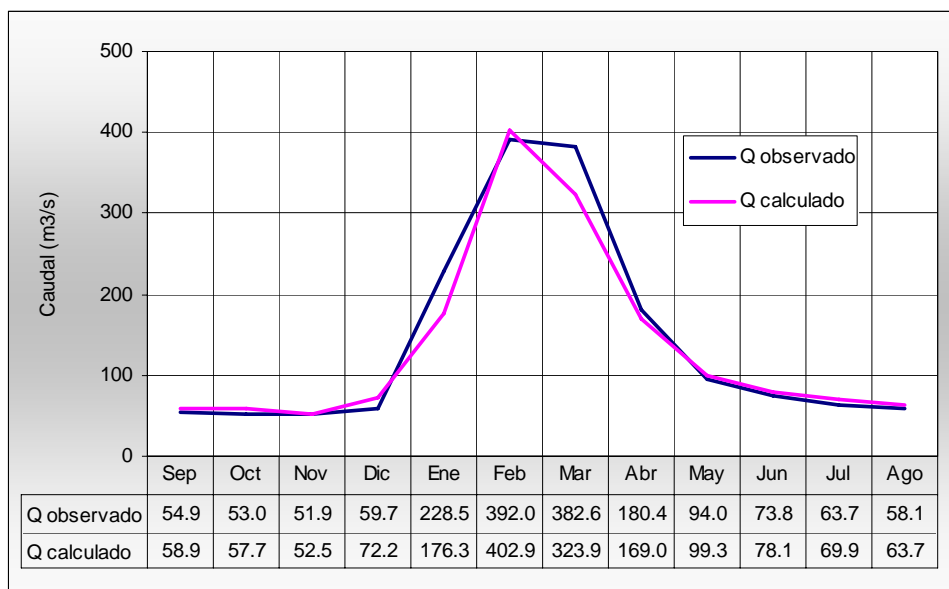
Cuadro 6.2: Caudales medios mensuales calculados a partir del modelo GR2M para la estación Puente Ocoña

Q m³/s	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1998	56.4	54.0	52.6	62.3	300.8	566.8	559.4	221.2	109.8	81.5	68.0	60.6
1999	56.9	54.5	53.3	73.1	396.4	712.2	661.2	236.2	114.5	83.6	69.1	61.3
2000	56.1	53.8	52.6	63.3	281.7	494.0	470.5	206.7	105.1	79.4	66.9	60.0
2001	55.9	53.7	52.4	61.5	252.7	449.5	439.6	201.1	103.2	78.6	66.4	59.8
2002	55.9	53.6	52.4	62.0	247.5	438.7	432.5	199.9	102.8	78.4	66.3	59.7
2003	52.2	51.1	50.5	51.2	113.6	139.0	144.9	117.7	68.2	60.7	56.4	53.8
2004	53.5	52.0	51.1	52.7	126.4	193.7	202.1	140.5	79.2	66.8	59.9	55.9
2005	52.3	51.2	50.6	51.4	108.9	141.8	150.3	120.1	69.4	61.4	56.8	54.0
μ	54.9	53.0	51.9	59.7	228.5	392.0	382.6	180.4	94.0	73.8	63.7	58.1
max	56.9	54.5	53.3	73.1	396.4	712.2	661.2	236.2	114.5	83.6	69.1	61.3
min	52.2	51.1	50.5	51.2	108.9	139.0	144.9	117.7	68.2	60.7	56.4	53.8
δ	1.9	1.3	1.1	7.5	103.6	212.1	194.7	47.0	18.7	9.3	5.2	3.1

* μ = media; δ = desviación estándar

Hemos calculado a partir de la serie histórica de caudales 1998-2005 el año promedio o normal observado, y de igual manera hemos calculado el año promedio o normal calculado. A este nivel de aproximación como podemos observar en la [Figura 6.3](#), el modelo GR2M logra representa de manera coherente los caudales medios mensuales.

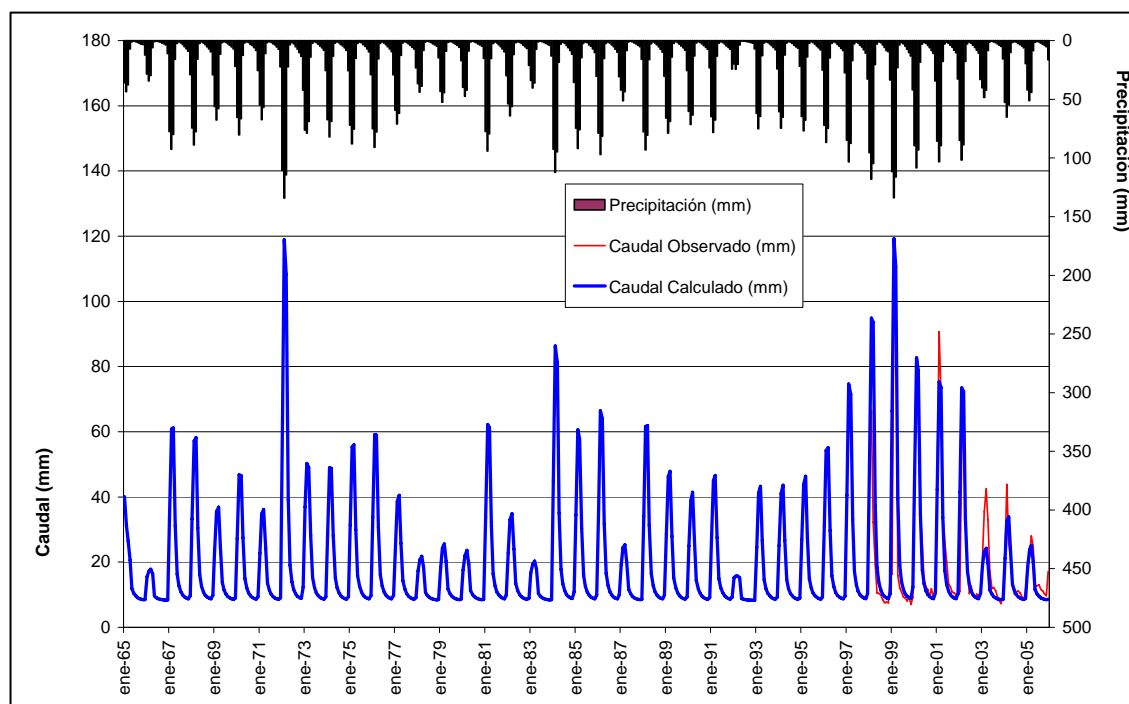
Figura 6.3: Caudal medio mensual calculado y observado para el año promedio



6.4 Construcción de una serie de caudales para el periodo 1965-2005

Una vez comprobada la robustez del modelo procedemos a construir la serie de caudales para el periodo de estudio 1965-2005. Los resultados obtenidos se presentan en el [Cuadro 6.3](#) y podemos observarlos gráficamente en [Figura 6.4](#)

Figura 6.4: Serie de caudales medios mensuales contruidos para el periodo 1965-2005



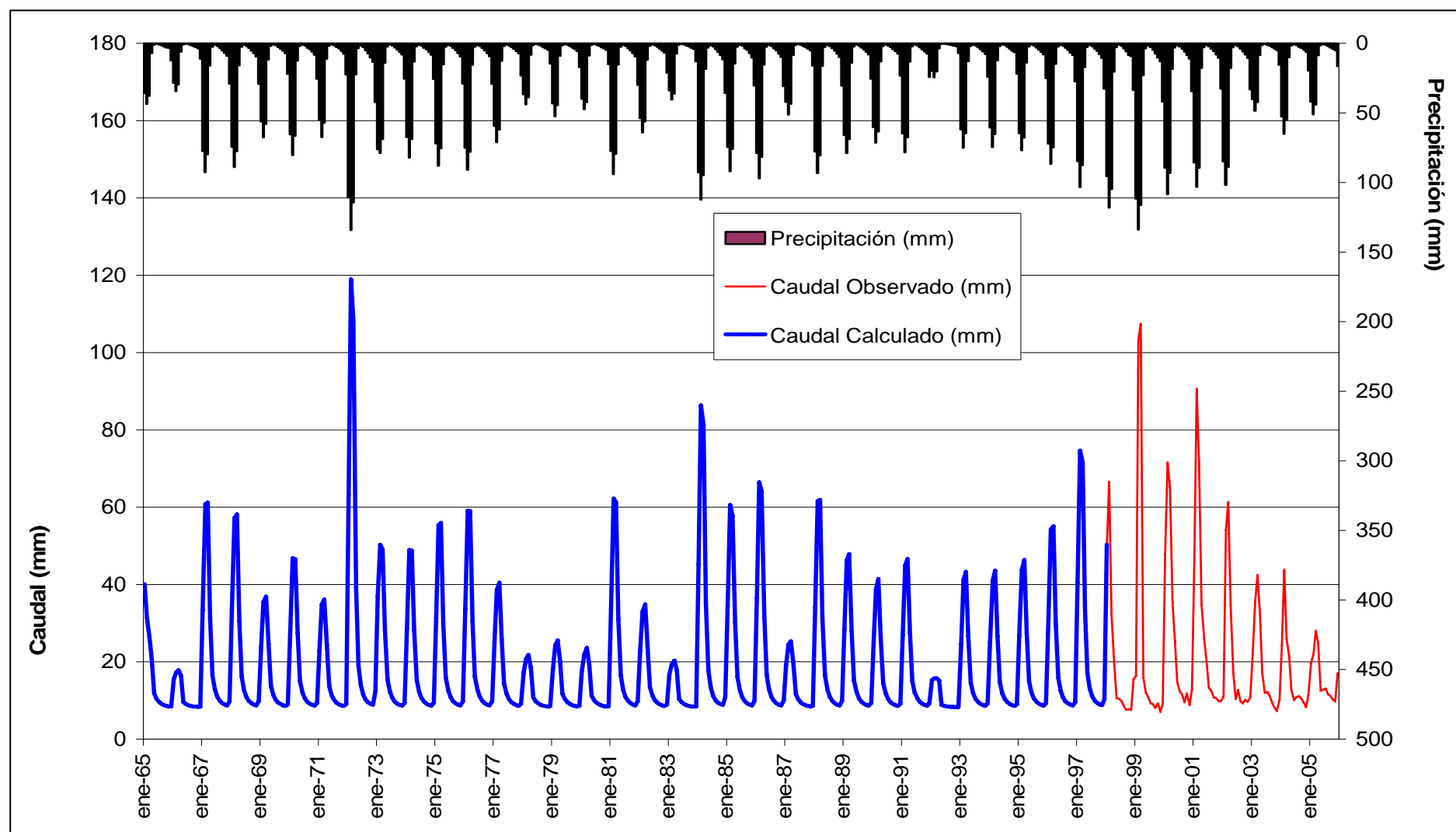
Finalmente como nuestro periodo de trabajo es de 1965-2005, hemos decidido usar los caudales de la serie construida para los años 1965-1997 y para el periodo 1998-2005 la serie de caudales observados. En el Cuadro 6.5 y Figura 6.6 presentamos la serie de caudales medios mensuales que usaremos de aquí en adelante.

Cuadro 6.3: Caudales medios mensuales para la cuenca del río Ocoña (calc.+obs.)

Q m3/s	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1965	52.5	51.3	50.6	50.7	239.7	187.2	157.7	122.9	70.8	62.2	57.3	54.3
1966	50.6	50.1	49.8	50.0	92.9	103.1	106.4	98.1	57.3	54.3	52.5	51.3
1967	55.4	53.3	52.1	58.2	199.5	363.3	365.5	186.1	97.8	76.1	65.1	59.0
1968	55.3	53.2	52.1	58.4	198.6	341.5	347.5	182.2	96.4	75.4	64.7	58.8
1969	53.8	52.2	51.3	53.7	141.4	212.0	220.3	147.0	82.2	68.3	60.8	56.5
1970	54.6	52.7	51.7	55.7	162.9	279.4	277.9	164.0	89.4	72.0	62.8	57.7
1971	53.7	52.2	51.3	53.8	135.8	207.8	215.8	145.3	81.4	67.9	60.6	56.3
1972	56.8	54.4	53.4	73.4	378.1	710.5	647.4	233.8	113.7	83.3	68.9	61.2
1973	54.8	52.8	51.7	55.8	220.9	300.4	293.1	168.6	91.2	72.9	63.3	58.0
1974	54.7	52.8	51.7	55.9	171.3	292.3	291.2	167.7	90.8	72.7	63.3	57.9
1975	55.2	53.1	52.0	58.2	187.5	330.5	334.1	178.8	95.1	74.8	64.4	58.6
1976	55.3	53.2	52.1	58.3	201.4	353.2	352.4	183.0	96.7	75.5	64.8	58.8
1977	54.2	52.4	51.4	54.3	149.6	230.4	241.7	153.9	85.2	69.8	61.7	57.0
1978	51.7	50.8	50.3	50.9	103.3	123.7	130.2	110.8	64.5	58.6	55.1	53.0
1979	52.4	51.3	50.6	51.6	108.7	145.3	152.9	121.3	70.0	61.8	57.0	54.2
1980	52.0	51.1	50.5	51.1	104.9	131.4	140.9	115.9	67.2	60.2	56.1	53.6
1981	55.4	53.3	52.1	58.9	201.3	371.5	365.7	185.7	97.7	76.0	65.1	59.0
1982	53.6	52.1	51.2	53.3	136.3	196.8	208.2	143.0	80.4	67.4	60.3	56.1
1983	51.3	50.6	50.1	50.5	99.6	115.4	121.4	106.3	62.0	57.2	54.2	52.4
1984	56.1	53.8	52.7	64.7	269.7	515.8	485.6	209.1	105.9	79.8	67.1	60.1
1985	55.2	53.2	52.1	59.3	206.1	361.7	345.4	181.0	96.0	75.2	64.6	58.7
1986	55.5	53.4	52.2	59.7	217.6	396.9	382.7	189.1	98.9	76.6	65.4	59.2
1987	52.3	51.3	50.6	51.3	114.7	146.1	151.3	120.5	69.6	61.5	56.9	54.1
1988	55.4	53.3	52.2	59.4	203.3	368.0	369.9	187.1	98.2	76.2	65.2	59.0
1989	54.7	52.8	51.7	55.7	170.5	276.0	285.9	166.8	90.5	72.5	63.2	57.8
1990	54.2	52.5	51.5	54.4	149.3	232.0	247.5	155.8	86.0	70.3	61.9	57.1
1991	54.6	52.7	51.6	55.0	161.2	268.7	278.5	164.5	89.5	72.0	62.9	57.7
1992	49.9	49.7	49.5	49.5	91.4	93.9	93.9	90.7	52.8	51.5	50.7	50.2
1993	54.4	52.6	51.5	54.9	146.7	246.1	258.3	158.9	87.2	70.9	62.3	57.3
1994	54.4	52.6	51.5	53.8	149.8	245.0	260.1	159.2	87.3	71.0	62.3	57.3
1995	54.6	52.7	51.7	55.4	160.1	261.8	276.8	164.4	89.5	72.0	62.9	57.7
1996	55.1	53.1	51.9	57.0	187.3	324.2	328.8	177.5	94.6	74.5	64.3	58.5
1997	55.8	53.6	52.4	61.4	241.8	445.8	427.4	198.5	102.3	78.1	66.2	59.6
1998	56.4	54.0	52.6	62.3	300.8	566.8	559.4	221.2	109.8	81.5	68.0	60.6
1999	56.9	54.5	53.3	73.1	396.4	712.2	661.2	236.2	114.5	83.6	69.1	61.3
2000	56.1	53.8	52.6	63.3	281.7	494.0	470.5	206.7	105.1	79.4	66.9	60.0
2001	55.9	53.7	52.4	61.5	252.7	449.5	439.6	201.1	103.2	78.6	66.4	59.8
2002	55.9	53.6	52.4	62.0	247.5	438.7	432.5	199.9	102.8	78.4	66.3	59.7
2003	52.2	51.1	50.5	51.2	113.6	139.0	144.9	117.7	68.2	60.7	56.4	53.8
2004	53.5	52.0	51.1	52.7	126.4	193.7	202.1	140.5	79.2	66.8	59.9	55.9
2005	52.3	51.2	50.6	51.4	108.9	141.8	150.3	120.1	69.4	61.4	56.8	54.0
μ	54.3	52.5	51.6	56.6	183.7	300.3	298.1	163.0	87.6	70.7	62.0	57.1
max	56.9	54.5	53.4	73.4	396.4	712.2	661.2	236.2	114.5	83.6	69.1	61.3
min	49.9	49.7	49.5	49.5	91.4	93.9	93.9	90.7	52.8	51.5	50.7	50.2

*Azul= Caudales calculados; Rojo=Caudales observados

Figura 6.5: Caudales medios mensuales para la cuenca del río Ocoña (1965-2005)



VII. ANALISIS DE FRECUENCIAS

7.1 ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS

Debido a la escasez de información a nivel diario tal como caudales máximos diarios o precipitaciones máximas diarias para toda la cuenca, hemos decidido usar un métodos regionales para encontrar valores de caudales máximos instantáneos.

Hemos utilizado el método de la envolvente de Creager y las curvas envolventes regionalizadas para las cuencas de la costa del Perú, elaboradas a partir del método Grádex.

7.1.1 Método de la envolvente de Creager

La envolvente Creager de descargas máximas se calcula en función del área de cuenca y el periodo de retorno, mediante la expresión:

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T) * A^{mA^{-n}}$$

Donde:

Q_{max} : Caudal máximo

T: Periodo de retorno

A: Área de la cuenca

C_1, C_2, m, n : Constantes para las diferentes regiones del Perú.

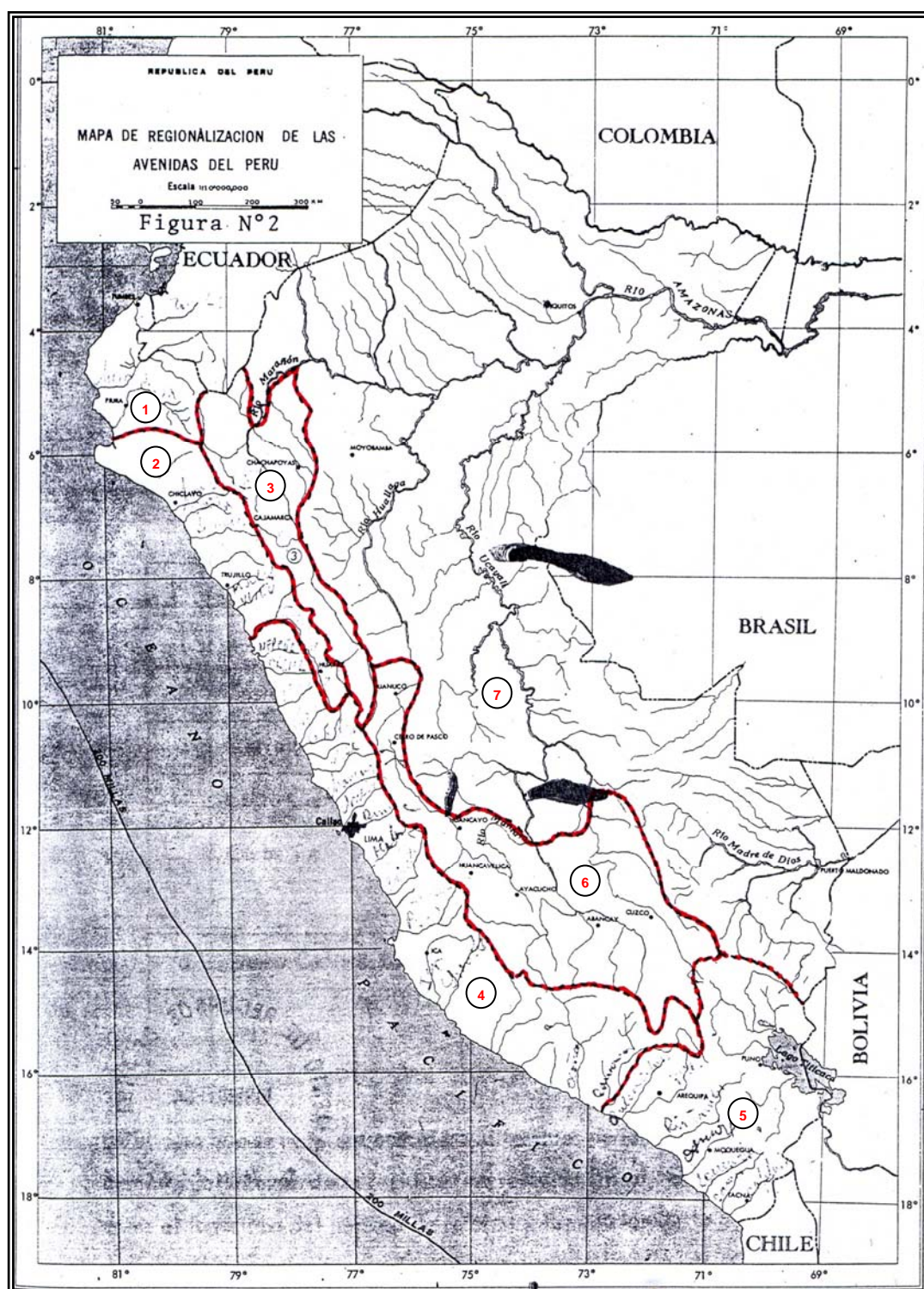
Los valores de las constantes C_1, C_2, m, n se presentan en el Cuadro 7.1. En el Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú, Figura 7.1, podemos observar la clasificación de regiones.

Cuadro 7.1: Constantes regionales del Perú para el método de Creager

Región	C_1	C_2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

*Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutierrez R.; 1979

Figura 7.1: Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú



***Fuente:** Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutierrez R.; 1979

La cuenca del río Ocoña se encuentra dentro de la región 4, según la [Figura 7.1](#), entonces podemos hallar fácilmente los coeficientes en el [Cuadro 7.1](#) y calcular el caudal máximo con la ecuación de Creager. Los resultados obtenidos para diferentes periodos de retorno se presentan en el [Cuadro 7.2](#).

**Cuadro 7.2: Caudales máximos instantáneos para la cuenca de Ocoña y subcuencas
Método de la envolvente de Creager**

Periodo de Retorno	Cuenca	Subcuencas			
T años	Ocoña m ³ /s	Ocoña m ³ /s	Arma-Chichas m ³ /s	Cotahuasi m ³ /s	Marán m ³ /s
10	1558,1	575,2	444,1	764,6	948,7
20	2027,2	748,4	577,8	994,8	1234,2
50	2647,2	977,3	754,6	1299,1	1611,8
100	3116,3	1150,5	888,3	1529,3	1897,3

7.1.2 Curvas envolventes – Método Grádex

El Método Grádex elaborado por Guillot y Duband, nos permite evaluar los caudales máximos de crecidas utilizando registros cortos de caudales conjuntamente con registros largos de precipitaciones. Este método consiste en extrapolar la curva de frecuencia de datos observados, a partir de cierto valor, mediante una recta paralela a las precipitaciones máximas diarias, donde se entiende por Grádex a la pendiente de la recta Precipitación – Probabilidad en un papel probabilístico de Gumbel.

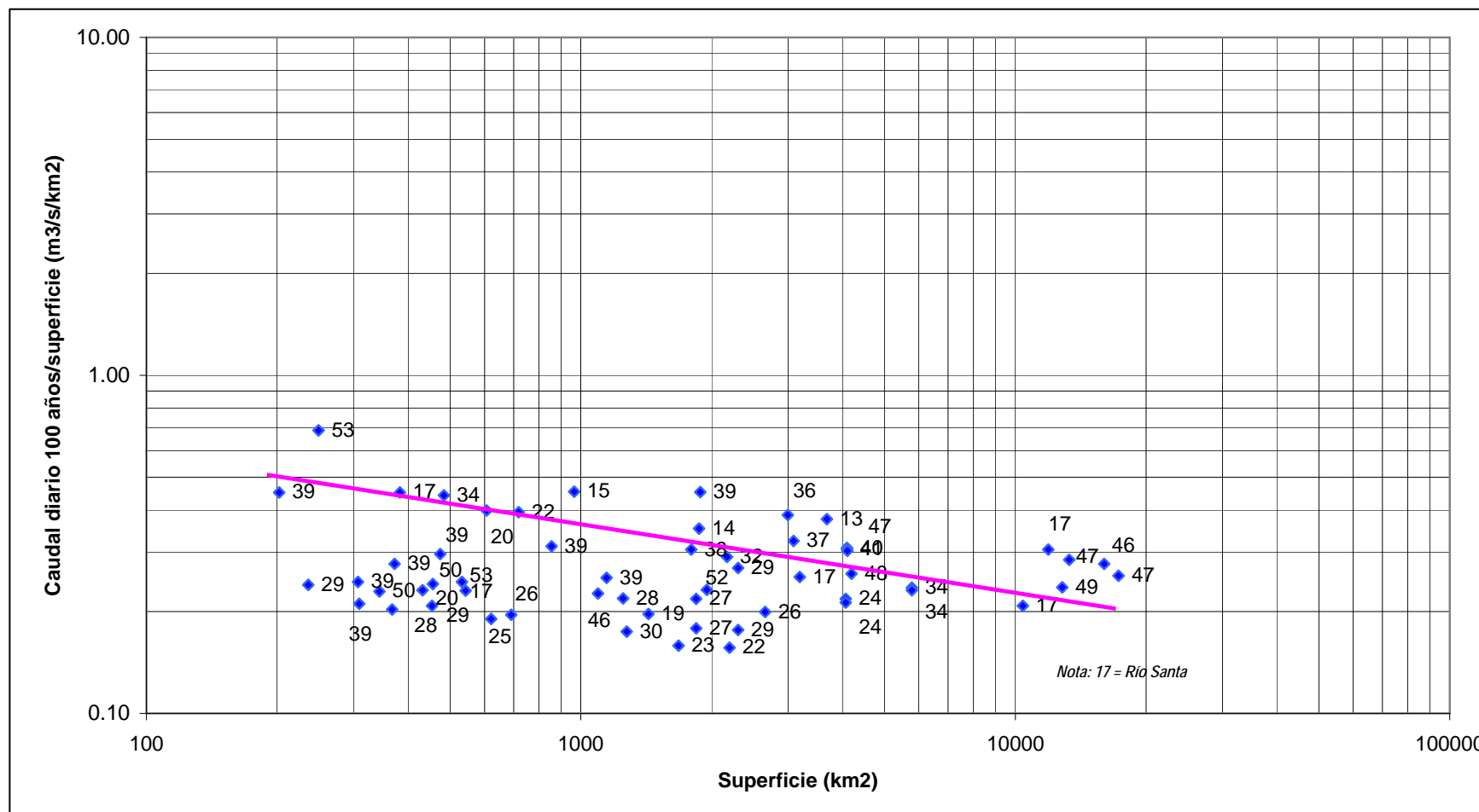
En el estudio “*Estudio hidrológico - meteorológico en la vertiente del pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno el niño para prevención y mitigación de desastres*”; elaborado por la asociación BCEOM – SOFI CONSULT S.A. – ORSTOM⁴ en 1999, se han elaborado curvas envolventes de caudales máximos instantáneos para periodos de retorno de 100, 20 y 10 años (Ver Figuras 7.2, 7.3 y 7.4), con la finalidad de disponer de una herramienta para poder evaluar caudales con una relativa confianza y un margen de seguridad de 80%.

Estas curvas son construidas a partir de valores de caudales diarios calculados por el método del Grádex, relacionándolos con la superficie del área de drenaje para homogeneizar los valores y con tomando en cuenta el límite superior de 80 % de los valores calculados para una zona homogénea, lo que permite tener un margen de seguridad en la evaluación de caudales para cuencas o subcuencas ubicadas en dicha zona.

En el uso de estas curvas se debe tener presente que el método del Grádex permite calcular un volumen de escurrimiento diario que ha de transformarse en caudal de pico, mediante un coeficiente caudal pico/caudal diario. Dicho coeficiente se puede evaluar según los valores indicativos siguientes:

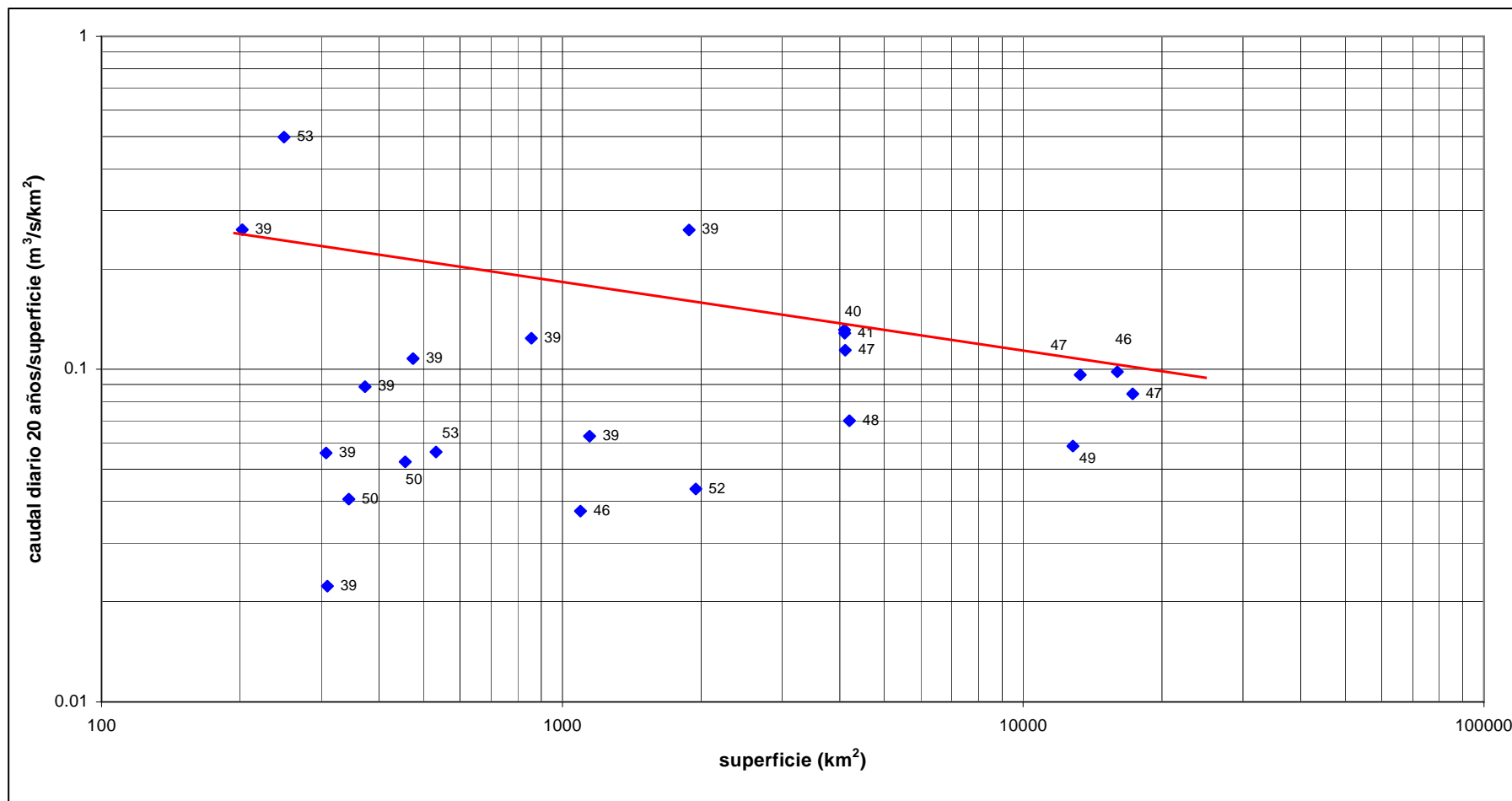
- Superficie mayor a 3000 km² : 1.2
- Superficie comprendida entre 1000 y 3000 km² : 1.3
- Superficie comprendida entre 800 y 1000 km² : 1.4
- Superficie comprendida entre 600 y 800 km² : 1.6
- Superficie comprendida entre 400 y 600 km² : 2.0
- Superficie comprendida entre 400 y 200 km² : 2.5
- Superficies menores a 200 km² : de 3.0 hasta 5.0 ó 6.0

⁴ IRD = Ex - ORSTOM



*NOTA: Las résumés en la figure representan los catálogos bibliométricos de esos libros en el estudio.

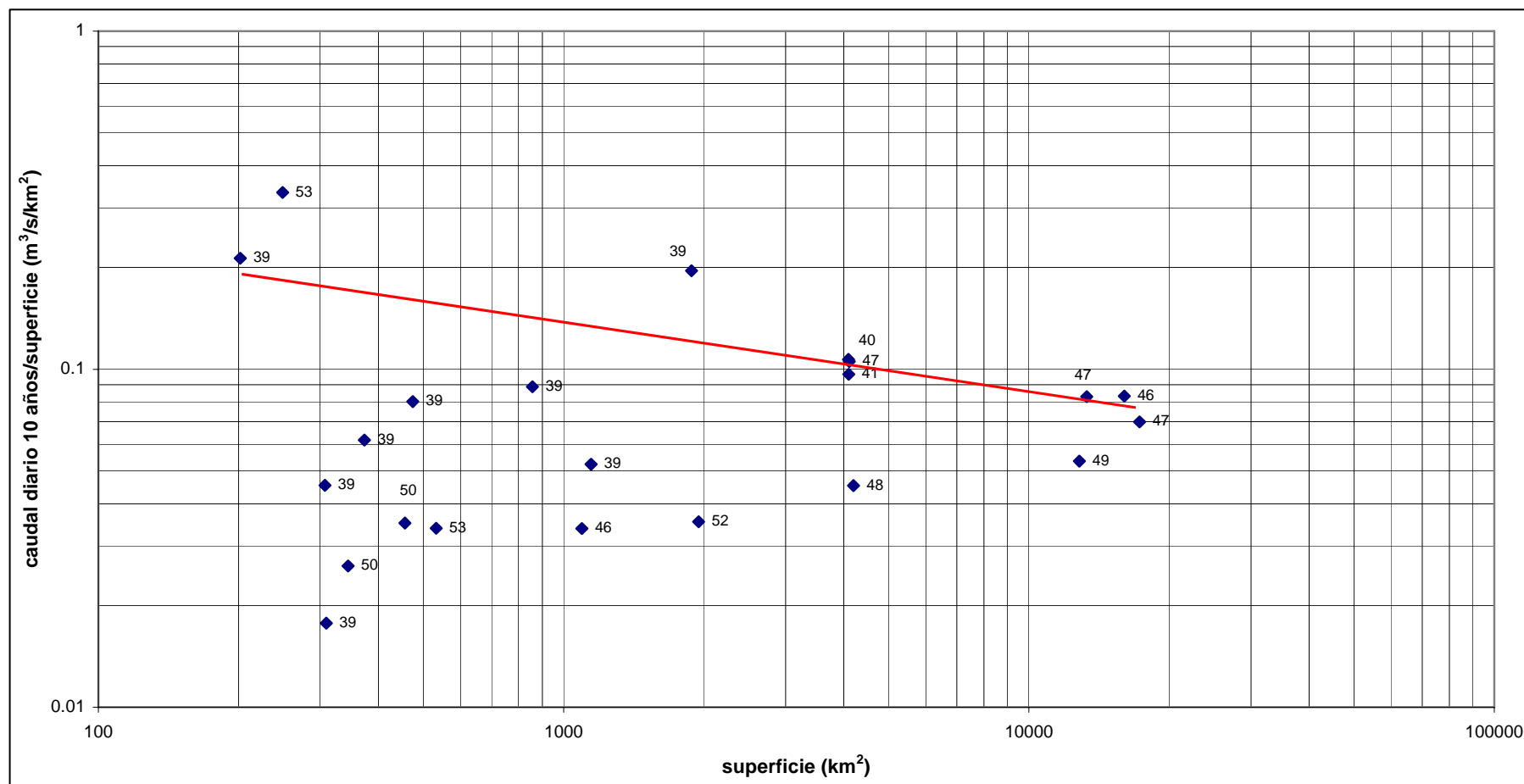
Figura 7.3: Caudales diarios con período de retorno de 20 años calculados por el método Grádex Cuencas: Grande a Caplina



*Fuente: Estudio hidrológico - meteorológico en la vertiente del pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno el niño para prevención y mitigación de desastres

*NOTA: Los números en la figura representan las estaciones hidrométricas disponibles en el estudio

Figura 7.4: Caudales diarios con período de retorno de 10 años calculados por el método Grádex Cuencas: Grande a Caplina



*Fuente: Estudio hidrológico - meteorológico en la vertiente del pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno el niño para prevención y mitigación de desastres

*NOTA: Los números en la figura representan las estaciones hidrométricas disponibles en el estudio

Teniendo en cuenta las curvas envolventes y los coeficientes caudal pico /caudal diario, hemos obtenido los valores de Caudales máximos para los períodos de retorno de 100, 20 y 10 años. Para calcular el periodo de retorno de 50 años la metodología propuesta propone aplicar un coeficiente de 0.7 a 0.8 al caudal de período de retorno 100 años. Para nuestro caso hemos decidido emplear el coeficiente mas conservador, es decir de 0.8. Los resultados obtenidos podemos observarlos en el [Cuadro 8.3](#)

**Cuadro 7.3: Caudales máximos instantáneos para la cuenca de Ocoña y subcuencas
Método de curvas envolventes -Grádex**

Periodo de Retorno	Cuenca	Subcuencas			
T años	Ocoña m³/s	Ocoña m³/s	Arma-Chichas m³/s	Cotahuasi m³/s	Marán m³/s
10	1535.8	464.3	331.7	581.5	729.2
20	2111.8	571.5	426.4	740.0	921.2
50	3225.2	857.3	663.3	1184.1	1596.7
100	4031.5	1071.6	829.1	1480.1	1995.8

Ambos métodos regionales utilizados (Creager o Grádex) para determinar los caudales máximos o caudal pico, son validos para la cuenca. Sin embargo encontramos que los valores calculados a partir de las curvas envolventes Grádex presentan valores más conservadores. El utilizar uno u otro método lo dejaremos al criterio y experiencia del diseñador de estructuras hidráulicas.

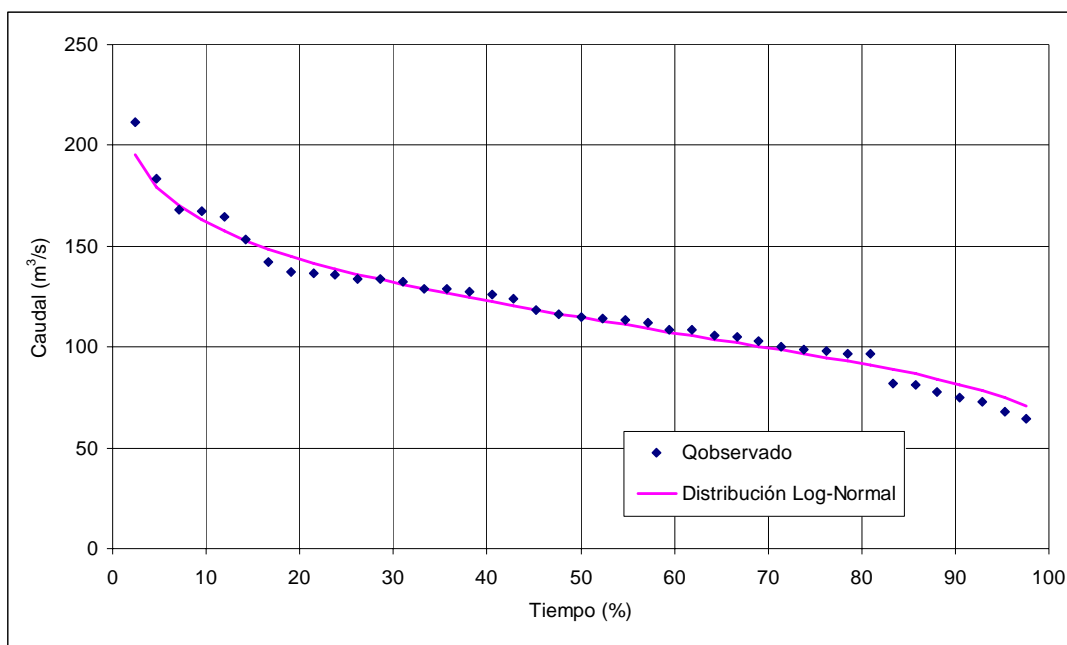
7.2 ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE VALORES MEDIOS

El análisis de frecuencias de valores medios, normalmente lo hacemos mediante una curva de duración, llamada también curva de persistencia., donde la curva indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Los valores medios (en nuestro caso caudales) se ajustan con una distribución Normal o Log-normal según sea el caso.

7.2.1 Distribución de caudales medios mensuales

Para nuestro estudio hemos evaluado la distribución de la serie de caudales 1965-2005 (Caudales calculados+observados), y hemos encontrado que la serie se ajusta mejor a una distribución de tipo Log-Normal. El límite de aplicabilidad de la serie se ha evaluado mediante el método del error medio cuadrático. Ver [Anexo VI](#).

Figura 7.5: Curva de duración de caudales medios anuales –Cuenca río Ocoña



Una vez construida la curva de duración podemos calcular el caudal de persistencia, por ejemplo el caudal de persistencia 75% significa que un caudal de 95.82 m³/s es igualado o excedido el 75% del tiempo. Los resultados para diferentes persistencias podemos observarlos en el [Cuadro 7.4](#)

Cuadro 7.4: Caudales medios anuales para diferentes persistencias – Cuenca río Ocoña

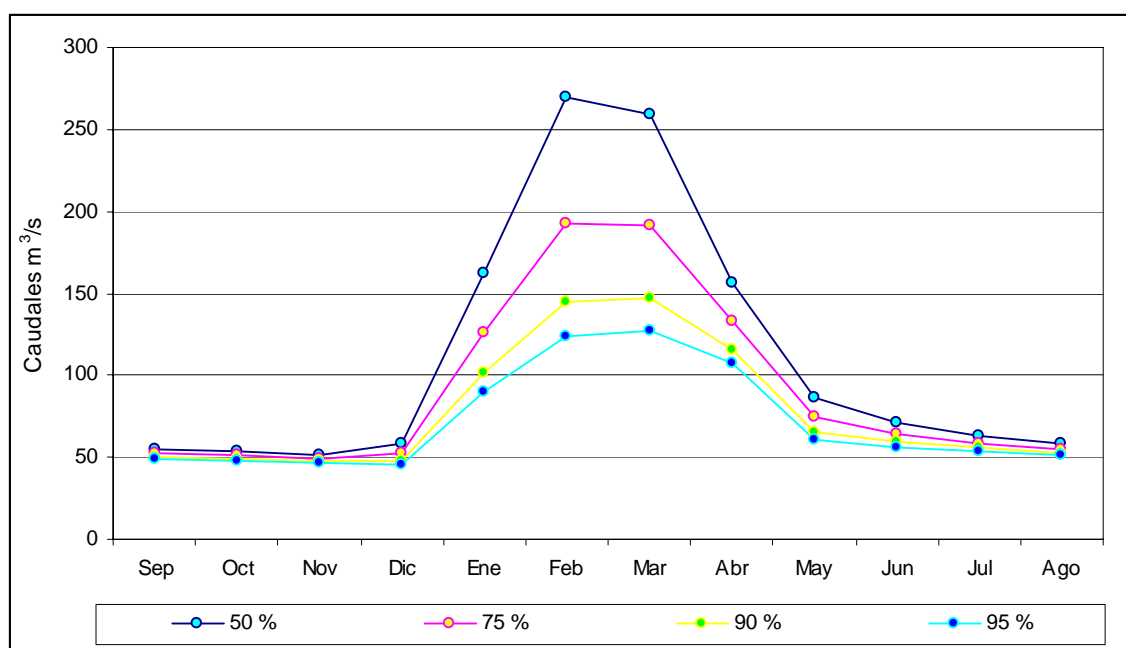
Persistencia %	Caudal medio Anual m ³ /s
50	114.63
75	95.82
60	82.11
95	75.45

Al igual que para los caudales medios anuales hemos construido las curvas de duración para caudales medios mensuales. Ver [Anexo VII.](#), luego hemos calculado los caudales al 50, 75, 90 y 95% de persistencia para cada mes. Los resultados obtenidos podemos observarlos en el [Cuadro 7.5](#) y [Figura 7.6](#).

Cuadro 7.5: Caudales medios mensuales para diferentes persistencias – Cuenca río Ocoña

Persistencia %	Caudales medios mensuales m ³ /s											
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
50	54.9	53.3	51.6	58.3	162.1	269.3	259.7	156.4	86.5	70.8	62.9	58.0
75	52.4	50.9	49.6	52.7	126.1	193.0	190.9	133.2	74.5	64.2	58.9	54.9
90	50.3	48.8	47.9	48.3	101.6	144.9	146.5	116.0	65.6	59.0	55.7	52.4
95	49.2	47.7	47.0	46.0	90.3	123.8	126.7	107.5	61.2	56.3	54.0	51.1

Figura 7.6: Persistencia de caudales medios mensuales - Cuenca río Ocoña



7.3 ANÁLISIS DE SEQUÍAS

Para el análisis de sequías en la cuenca del río Ocoña hemos asumimos como información básica la serie de caudales medios mensuales 1965 -2005 (Caudales calculados+Caudales Observados).

Para realizar la descripción de las sequías sucedidas en la cuenca consideramos apropiado definir una sequía basados en “Runs” negativos. Se define un Run, según Mood (1940), como la sucesión de eventos similares precedidos y sucedidos por eventos diferentes, con el número de elementos en un Run referido a toda su longitud. Los Runs negativos están definidos como la diferencia aritmética entre abastecimiento y demanda.

Asumiendo para nuestro caso que el abastecimiento es la disponibilidad hídrica (caudales medios mensuales) y que la demanda es el caudal medio histórico, definimos un Run como el valor normalizado de los caudales medios mensuales.

El valor normalizado lo calculamos a partir de la expresión:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\delta}$$

Donde:

Z_i : Valor normalizado del mes i

X_i : Caudal medio mensual del mes i

m : Media de la serie

d : Desviación estándar

Posteriormente podemos definir claramente los Runs Negativos y evaluar su duración (D); su magnitud (M) y su intensidad ($I=M/D$).

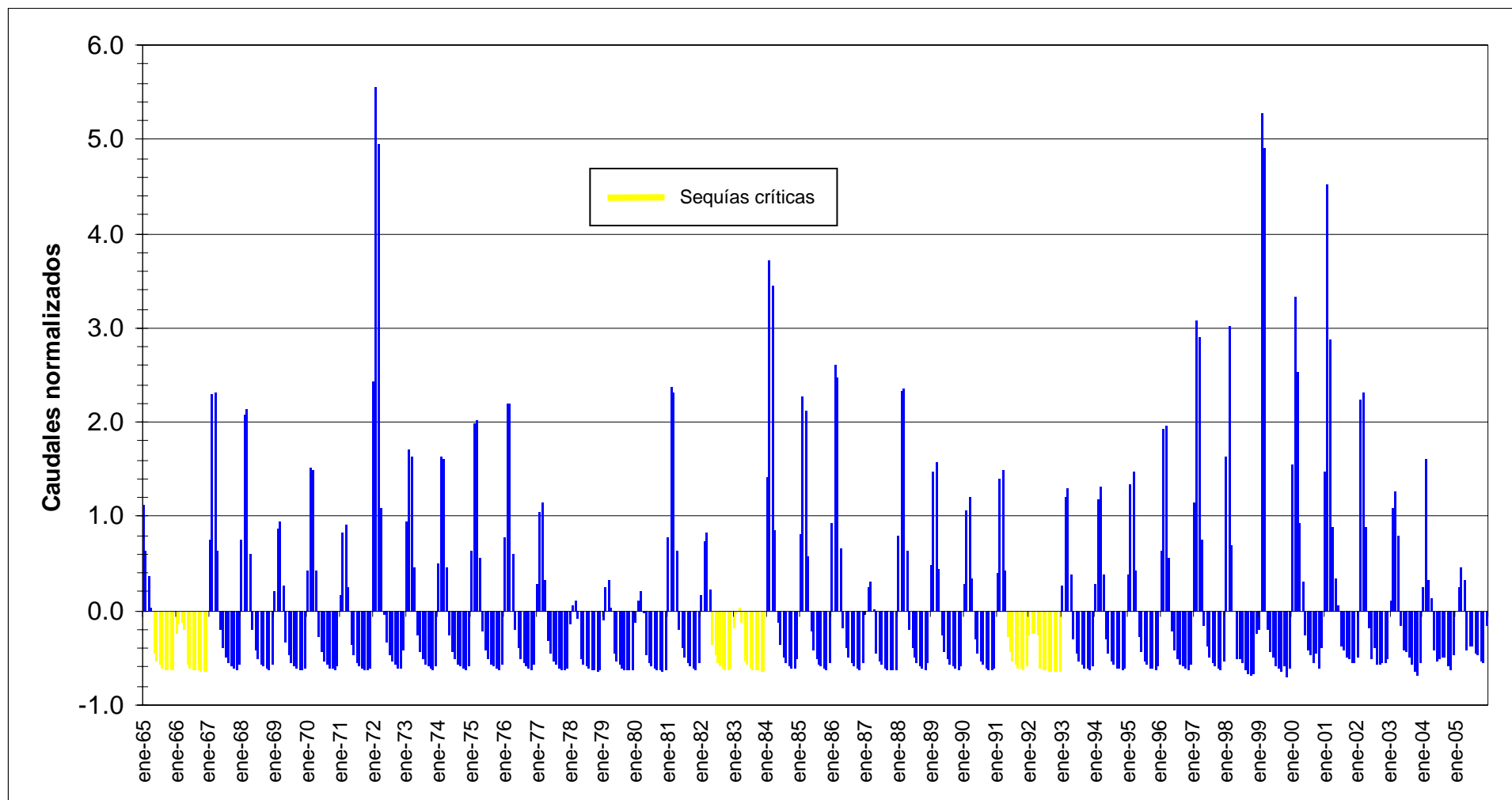
7.3.1 Cuantificación y descripción de las sequías críticas

A partir de los gráficos de la serie normalizada, [Figura 7.7](#), podemos identificar los Runs negativos y así mismo determinar sequías críticas (en color amarillo en el gráfico). Así hemos identificado una sequía más frecuente (periodo de estiaje) de Mayo a Diciembre y 3 sequías, Tal como podemos observar en el [Cuadro 7.6](#).

Cuadro 8.6: Análisis de sequías críticas – Método del Run negativo

Duración	Periodo		Magnitud			Intensidad MMC/mes	Observaciones
	Inicio	Fin	Q medio deficitario m³/s	Q total deficitario m³/s	V total deficitario MMC		
8	May	Dic	-54.5	-435.7	-1006.9	-125.9	Más Frecuente
20	may-65	dic-66	-55.4	-1107.4	-2769.8	-138.5	Más severa
20	may-82	dic-83	-51.4	-1028.5	-2572.5	-128.6	severa
20	may-91	dic-92	-55.2	-1103.8	-2765.7	-138.3	severa

Figura 7.7: Caudales medios mensuales normalizados (Runs) y determinación de sequías



VIII. USO Y DEMANDA HIDRICA DEL AGUA

8.1 DEMANDA DE AGUA AGRÍCOLA EN VALLE DE OCOÑA

En el Plan de cultivo y riego del año 2006-2007 (PCR) de cada comisión de regantes, facilitado por la Administración Técnica del Distrito de Riego Ocoña-Pausa, se muestran la cédula de cultivo para el valle ([ver Anexo VIII](#)), hemos calculado la demanda agrícola del valle de Ocoña. Para el cálculo de la demanda se procedió inicialmente a calcular la evapotranspiración potencial (ETP) en la subcuenca del río Ocoña (item 4.2.2) por el método de FAO Penman-Monteith. Posteriormente corregido estos valores con el factor de cultivo correspondiente (Kc) y la eficiencia de riego (20% de eficiencia según estudio de ONERN), teniendo como resultado los volúmenes de agua que representan las demandas de agua para cada cultivo por mes. [Anexo IX](#).

A continuación en el [Cuadro 8.1](#) presentamos la demanda anual de agua de los cultivos para el área bajo riego total anual en el valle de Ocoña, donde hemos calculado una demanda de 53.4 MMC/año, lo que equivalente a 17217 m³/Ha/año.

En cuanto a los cultivos con mayor presencia en el valle se tiene que en la campaña grande el Arroz es el más predominante con 1297,36 Ha declaradas y en la campaña chica es el Fréjol con 1089,0 ha.

Cuadro 8.1: Demanda anual de agua agrícola del valle del río Ocoña

Comisión de regantes	ÁREA* Ha	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL MMC
Anchalo Huacan	69,53	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9
Chorunga Alta	37,92	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
Chorunga Baja	13,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
El Alto	629,73	0,0	0,0	0,9	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,7	1,0	1,2	1,2	9,7
Huaca	37,79	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
Huantay	212,14	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	3,1
IQUIPI Ispana	148,34	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	3,8
Jaihuiche -La Tranca Platanal	85,77	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	1,4
La Valdivia	112,44	0,0	0,0	0,5	0,7	0,7	0,5	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,7	6,3
Mollebamba	407,72	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	1,7
Pampa la Barrera	107,55	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	3,3
Pampa Secocha - Bns. Ars. Taquila	79,12	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	2,2
Panarcana	229,61	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	3,2
Piucá	183,75	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	4,0
Pueblo Viejo	330,52	0,1	0,1	0,4	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	5,1
Santa Rita	219,54	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	3,0
Urasqui	41,39	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0
Zurita	158,33	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	2,3
	3104,3	1,0	1,2	3,2	4,9	5,3	5,5	5,4	5,5	4,9	5,0	6,0	5,7	53,4

*Área bajo riego total anual

8.2 DEMANDA DE AGUA POBLACIONAL

En el ámbito de la cuenca del río Ocoña, la demanda poblacional de agua es principalmente para satisfacer los requerimientos de consumo y aseo de las personas (agua potable y alcantarillado), ya que no son apreciables los requerimientos de agua de uso industrial e hidroenergético. Para el abastecimiento del agua poblacional en la zona del valle del río Ocoña se utiliza como fuente el agua superficial (manantiales) y agua subterránea.

En base a la información poblacional distrital de la cuenca ([ítem 2.4.2](#)), hemos estimado la demanda poblacional considerando una distribución de agua de 150 lt/hab/día, para el área urbana y 100 lt/hab/día para la población rural., obteniendo como resultado una demanda teórica de 2.43 MMC/año.

Cuadro 8.2: Demanda teórica poblacional para la cuenca del río Ocoña.

Departamento	Provincia	Distrito	Población Urbana	Población Rural	DEMANDA
			l/hab/día	l/hab/día	MMC/año
Apurímac	Aymaraes	Cotaruse	48300	48200	0,035
Arequipa	Camaná	Mariano Nicolás Valcarcel	31050	150600	0,066
		Ocoña	43800	66100	0,040
	Caraveli	Cahuacho	8100	13300	0,008
	Condesuyos	Andaray	36300	39700	0,028
		Chichas	28950	95500	0,045
		Río Grande	568350	99600	0,244
		Salamanca	122700	54600	0,065
		Yanaquihua	60900	293700	0,129
	La Unión	Cotahuasi	220050	161200	0,139
		Alca	89250	178400	0,098
		Charcana	67950	36900	0,038
		Huaynacotas	173250	164200	0,123
		Pampamarca	112500	97500	0,077
		Puyca	83400	210800	0,107
		Quechualla	8250	30600	0,014
		Sayla	11550	33500	0,016
		Tauría	31500	16200	0,017
		Tomepampa	58950	59300	0,043
		Toro	59400	104700	0,060
Ayacucho	Parinacochas	Coracora	581100	252700	0,304
		Chumpi	119850	60700	0,066
		Coronel Castañeda	10500	50600	0,022
		Pacapausa	8700	39000	0,017
		Pullo	4050	22400	0,010
		Puyusca	106950	180800	0,105
		San Franc.de Ravacayco	11250	40100	0,019
		Upahuacho	15000	68800	0,031
	Paucar del Sara Sara	Pausa	208650	164400	0,136
		Colta	27000	18600	0,017
		Corculla	71400	27700	0,036
		Lampa	168900	97700	0,097

	Marcabamba	57150	36400	0,034
	Oyolo	90300	40000	0,048
	Pararca	44550	36700	0,030
	San Jav. de Alpabamba	9750	38100	0,017
	San José de Ushua	17400	7300	0,009
	Sara Sara	90000	23600	0,041
TOTAL		3507000	3160200	2,43

8.3 DEMANDA TOTAL DE AGUA PARA EL VALLE DEL RÍO OCOÑA

La demanda total de agua en el valle será la suma de la demanda agrícola (53,45 MMC/año) y la suma de la demanda poblacional de los distritos ubicados en la zona del valle (Mariano Nicolás Valcárcel, Andaray y Ocoña = 0,134 MMC/año).

La demanda total anual calculada para la zona del valle es de 53,58 MMC/año.

Cuadro 8.3 Demanda media mensual de agua en el valle de Ocoña

TIPO DE DEMANDA	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	TOTAL MMC
Agrícola	1,15	3,19	4,92	5,25	5,46	5,40	5,54	4,88	4,97	5,99	5,68	1,02	53,45
Poblacional	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,13
Total	1,16	3,20	4,94	5,26	5,47	5,41	5,56	4,89	4,98	6,00	5,69	1,03	53,58

IX. BALANCE HIDRICO

El Balance Hídrico es la comparación entre la oferta y la demanda hídrica, es decir es el balance entre entradas y salidas. Para el caso de la cuenca del río Ocoña nos permitirá conocer la disponibilidad hídrica en cabecera de valle, por medio de un balance de masas o volúmenes.

$$VOLUMEN DE INGRESO = VOLUMEN DE SALIDA + VOLUMEN DEMANDADO$$

9.1 DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO OCOÑA

Definimos disponibilidad hídrica como el volumen medio anual que produce la cuenca a la largo de un año hidrológico.

En la cuenca del río Ocoña, tenemos que la estación de control hidrométrico (estación Puente Ocoña), que se encuentra en la parte baja de la cuenca muy cerca de su desembocadura al mar. Por lo tanto teniendo en cuenta que en la cuenca siempre se presenta un superávit, que la más importante demanda de agua superficial en la cuenca se da en la zona del valle de Ocoña (aguas arriba de la estación) y este depende exclusivamente de las aguas del río Ocoña podemos calcular la disponibilidad hídrica de la cuenca en cabecera de valle por medio del balance hídrico usando la siguiente expresión:

$$Volumen en cabecera de valle = Volumen de salida + Demanda del valle$$

Cuadro 9.1: Volúmenes disponibles para la cuenca del río Ocoña (estación Pte. Ocoña)

Persistencia %	Volúmenes medios mensuales MMC												TOTAL MMC
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	
50	142,3	138,2	133,7	151,2	420,1	698,0	673,1	405,5	224,1	183,4	163,1	150,4	3483,1
75	135,8	131,8	128,5	136,6	326,9	500,3	494,9	345,2	193,2	166,3	152,7	142,4	2854,7
90	130,4	126,5	124,2	125,2	263,4	375,6	379,8	300,6	170,1	152,9	144,3	135,9	2428,7
95	127,5	123,7	121,9	119,3	233,9	321,0	328,4	278,6	158,6	146,0	139,9	132,4	2231,2
Volumen Medio	142,7	138,6	134,0	153,1	449,7	784,0	743,1	416,6	229,7	185,4	163,9	150,9	3691,6

En el Cuadro 9.1 hemos calculado los volúmenes de salida de la cuenca del río Ocoña, tomando en cuenta el análisis de frecuencias de valores medios (curva de duración o persistencia), presentado en el ítem 7.2 y hemos determinado los volúmenes medios mensuales y así mismo los volúmenes medios mensuales generados para el 50, 75, 90 y 95 % de persistencia.

La demanda media anual del Valle del río Ocoña, se ha calculado en el ítem 8.3 el cual nos da como demanda total anual de 182.94 millones de metros cúbicos (MMC).

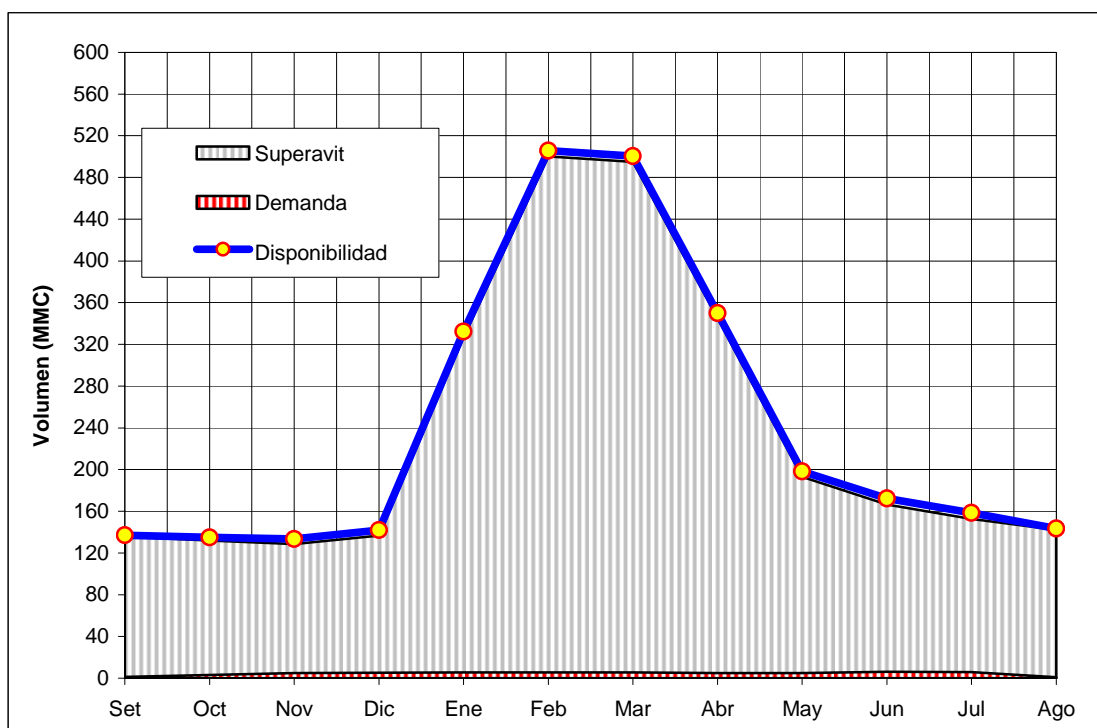
Entonces, tomando el volumen medio mensual a un 75 % de persistencia (como margen de seguridad); podemos calcular la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Ocoña en cabecera de valle. Los volúmenes disponibles en la cabecera de valle, podemos observarlos en el Cuadro 9.2

Cuadro 9.2: Disponibilidad hídrica en cabecera de valle – Cuenca del río Ocoña.

Mes	Demanda MMC	Volumen salida MMC	Volumen disponible MMC	Caudal disponible m ³ /s	Caudal específico l/Km ² /s
Set	1,2	135,8	136,9	52,8	3,5
Oct	3,2	131,8	135,0	52,1	3,4
Nov	4,9	128,5	133,5	51,5	3,4
Dic	5,3	136,6	141,9	54,7	3,6
Ene	5,5	326,9	332,3	128,2	8,5
Feb	5,4	500,3	505,7	195,1	12,9
Mar	5,6	494,9	500,5	193,1	12,8
Abr	4,9	345,2	350,1	135,1	8,9
May	5,0	193,2	198,2	76,5	5,1
Jun	6,0	166,3	172,3	66,5	4,4
Jul	5,7	152,7	158,4	61,1	4,0
Ago	1,0	142,4	143,5	55,3	3,7
TOTAL	53,6	2854,7	2908,3	----	----

La disponibilidad hídrica media anual para la cuenca del río Ocoña es de **2908,3 MMC**, presentando un caudal medio anual de 93,5 m³/s.

Teniendo en cuenta que el área de la cuenca hasta la cabecera de valle es de 15130,3 Km², podemos calcular el caudal específico medio anual, siendo de 6,2 l/s/ Km².

Figura 9.2: Balance hídrico para la cuenca del río Ocoña – Cabecera de valle

*Nota: Volúmenes calculados al 75% de disponibilidad

Como podemos observar en el gráfico, en la zona del valle del río Ocoña no se presenta en ningún mes del año un déficit, debido a que la demanda del valle representa en promedio un 2,2% del volumen mensual disponible en la cuenca.

Cuadro 9.3: Porcentaje de demanda y superávit en la cuenca del río Ocoña

MES	Demanda %	Superávit %
Set	0,8	99,2
Oct	2,4	97,6
Nov	3,7	96,3
Dic	3,7	96,3
Ene	1,6	98,4
Feb	1,1	98,9
Mar	1,1	98,9
Abr	1,4	98,6
May	2,5	97,5
Jun	3,5	96,5
Jul	3,6	96,4
Ago	0,7	99,3
MEDIA	2,2	97,8

9.2 DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LAS SUBCUENCAS DEL RÍO OCOÑA

En la cuenca del río Ocoña, no disponemos de controles hidrométricos en las subcuencas, por lo tanto debemos estimar el rendimiento hídrico de estas.

Existen diferentes métodos empíricos para estimar el rendimiento hídrico de una cuenca. Para nuestro caso hemos escogido el método de relación de volúmenes, que se trata de un método sencillo para estimar el aporte de una zona en función de otra que tiene información, consiste en la transposición de la misma afectándola por un factor igual a la relación de volúmenes precipitado sobre sus respectivas cuencas.

Por lo tanto tomando en cuenta que nuestra información mas extensa es la precipitación y el volumen total de la cuenca esta en relación directa con los aportes de cada subcuenca; este método es válido para nuestro caso. Entonces, calcularemos el factor de relación de volúmenes (K) para cada cuenca utilizando la siguiente expresión:

$$K = \frac{A_i * P_i}{A_c * P_c}$$

Donde

A_i : Área de la subcuenca i

A_c : Área de la cuenca del río Ocoña

P_i : Precipitación media en la cuenca i

P_c : Precipitación media en la cuenca del río Quillcay

Teniendo en cuenta las precipitaciones medias mensuales de cada subcuencas, (ítem 3.4.3), las áreas de cada subcuenca (ítem 2.9.2) y los caudales al 75% de persistencia hemos calculado la disponibilidad hídrica media mensual para cada subcuenca del río Ocoña, el rendimiento por unidad de área (caudal específico) y el volumen medio mensual para cada subcuenca. Los resultados se muestran en los Cuadros 9.4 al 9.6.

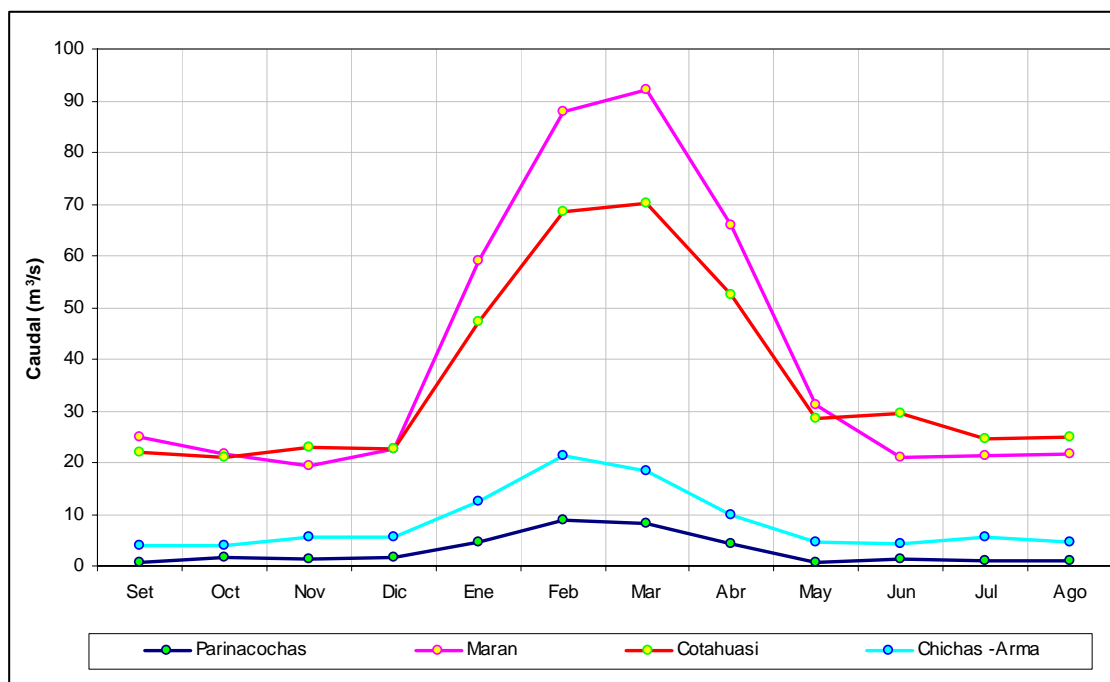
Cuadro 9.4: Caudal medio mensual por subcuencas del río Ocoña

Caudal (m ³ /s)	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	MEDIA
Parinacochas	0,6	1,7	1,2	1,6	4,7	8,7	8,3	4,3	0,8	1,3	0,9	0,8	2,9
Marán	24,9	21,7	19,5	22,6	58,9	87,8	92,0	65,8	31,2	20,9	21,3	21,7	40,7
Cotahuasi	22,1	21,1	23,0	22,6	47,3	68,4	70,2	52,6	28,4	29,6	24,5	24,8	36,2
Chichas -Arma	4,0	3,8	5,5	5,4	12,6	21,3	18,4	10,0	4,6	4,4	5,6	4,4	8,3

Cuadro 9.5: Caudal específico medio mensual por subcuenca del río Ocoña

Qesp (l/s/Km ²)	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	MEDIA
Parinacochas	0,9	2,8	1,9	2,5	7,5	13,9	13,3	6,8	1,3	2,0	1,4	1,3	4,6
Marán	3,9	3,4	3,0	3,5	9,2	13,7	14,4	10,3	4,9	3,3	3,3	3,4	6,4
Cotahuasi	5,0	4,8	5,2	5,1	10,7	15,5	15,9	11,9	6,4	6,7	5,6	5,6	8,2
Chichas -Arma	2,2	2,1	3,0	3,0	6,9	11,7	10,1	5,5	2,5	2,4	3,1	2,4	4,6

Figura 9.3: Caudales medios mensuales de las subcuencas del río Ocoña



Cuadro 9.5: Caudal específico medio mensual por subcuenca del río Ocoña

Volumen (MMC)	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	TOTAL
Parinacochas	1,5	4,7	3,1	4,2	12,6	21,1	22,3	11,1	2,1	3,3	2,3	2,2	90,6
Marán	64,4	58,1	50,4	60,6	157,8	212,5	246,4	170,6	83,6	54,3	57,0	58,2	1273,9
Cotahuasi	57,4	56,4	59,5	60,5	126,7	165,6	188,1	136,4	76,1	76,7	65,6	66,4	1135,3
Chichas -Arma	10,3	10,3	14,2	14,6	33,7	51,4	49,2	25,8	12,4	11,4	15,0	11,9	260,2

En los resultados obtenidos podemos observar que la subcuenca que aporta mayor volumen es la subcuenca del río Marán con 1273,9 MMC/año, con un caudal medio anual de 40.7 m³/s. (Ver [Figura 9.3](#) y [Cuadro 9.5](#)), seguida por la cuenca del río Cotahuasi con 1135,3 MMC/año.

Adicionalmente cabe resaltar que la cuenca del río Cotahuasi es la de mayor producción por unidad de área, con un caudal específico (Q_{esp}) de 8,2 l/s/Km².

Debemos recordar que la subcuenca Parinacochas es una cuenca endorreica, por lo tanto el volumen de agua producido en esta cuenca, tendrá como destino final principalmente la laguna Parinacochas. Esta cuenca produce un volumen anual de 90,6 MMC/año

9.3 BALANCE HÍDRICO POR SUBCUENCAS

Debido a que no contamos con datos suficientes para evaluar el balance hídrico, en función de la demanda, hemos decidido evaluar el parámetro de déficit hídrico tal como describimos a continuación:

El Déficit Hídrico o déficit de escurrimiento (DH)

Se define como la precipitación media (P) que cae sobre una cuenca, menos la lámina de escurrimiento (L_{esc}), por lo tanto el déficit hídrico representa: *la cantidad de agua que de cierta manera “queda” en la cuenca, ya sea en las lagunas, en el suelo, en los glaciares, en la vegetación; o que se evapora sin llegar a la desembocadura del río.*

Un déficit hídrico negativo indica que hay una cantidad de agua proveniente de una fuente de agua en la cuenca (manantiales, laguna, glaciar o capa freática). Podemos calcular el déficit hídrico mediante la siguiente expresión:

$$DH = P - L_{esc}$$

Donde

DH : Déficit Hídrico

P : Precipitación media en la cuenca (mm)

L_{esc} : Lámina de escurrimiento (mm)

La *Lámina de escurrimiento* (L_{esc}) se define como el volumen V_s de agua que sale de la cuenca por la desembocadura del río en un tiempo determinado, dividido por el área A de la cuenca, puede ser expresado en milímetros (mm) o en metros (m), y podemos calcularla con la expresión: $L_{esc} = V_s / A$.

Teniendo en cuenta estas definiciones hemos calculado el déficit de escurrimiento para las subcuencas Marán, Cotahuasi y Chichas-Arma. La subcuenca Parinacochas por ser una cuenca endorreica (no tiene salida), no podemos aplicar este concepto.

Cuadro 9.6: Lámina de escurrimiento media mensual para las subcuencas del río Ocoña

Le (mm)	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	TOTAL
Marán	10.1	9.1	7.9	9.5	24.7	33.2	38.5	26.7	13.1	8.5	8.9	9.1	199.1
Cotahuasi	13.0	12.8	13.5	13.7	28.8	37.6	42.7	31.0	17.3	17.4	14.9	15.1	257.7
Chichas –Arma	5.7	5.6	7.8	8.0	18.5	28.2	27.0	14.2	6.8	6.2	8.2	6.5	142.8

Cuadro 9.7: Déficit hídrico medio mensual para las subcuencas del río Ocoña

DH (mm)	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	TOTAL	TOTAL MMC/año
Marán	-1.6	1.8	2.1	25.9	73.2	74.1	67.7	0.5	-9.2	-6.9	-6.5	-4.0	217.2	138.95
Cotahuasi	-2.0	2.5	3.6	37.6	85.3	83.8	75.1	0.6	-12.2	-14.1	-10.9	-6.6	242.7	106.92
Chichas –Arma	-0.9	1.1	2.1	21.9	54.8	63.0	47.5	0.3	-4.8	-5.1	-6.0	-2.8	171.1	31.17

Los valores negativos de DH en los meses de estiaje (May-Set) significan que los escurrimientos son mayores que la precipitación, por lo tanto el agua proviene de otra fuente de agua como manantiales, lagunas, subsuelo o glaciares. Igualmente podemos observar que los déficit negativos mayores se dan en la subcuenca de Cotahuasi (ver Cuadro 9.7), esto es concordante debido a que es la cuenca que presenta mayor cantidad de manantiales en la cuenca (545 manantiales), y así como la presencia de dos nevados importantes (Firura y Solimana), y una serie de pequeños glaciares.

Figura 10.4: Déficit de escorrentía en la subcuenca Marán

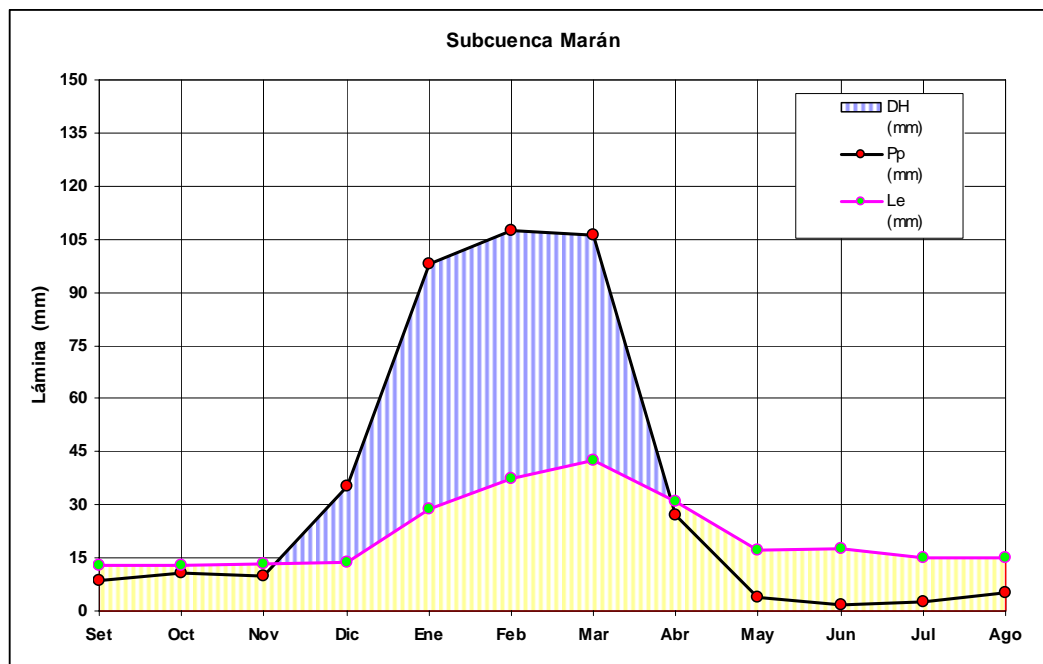


Figura 10.5: Déficit de escorrentía en la subcuenca Cotahuasi

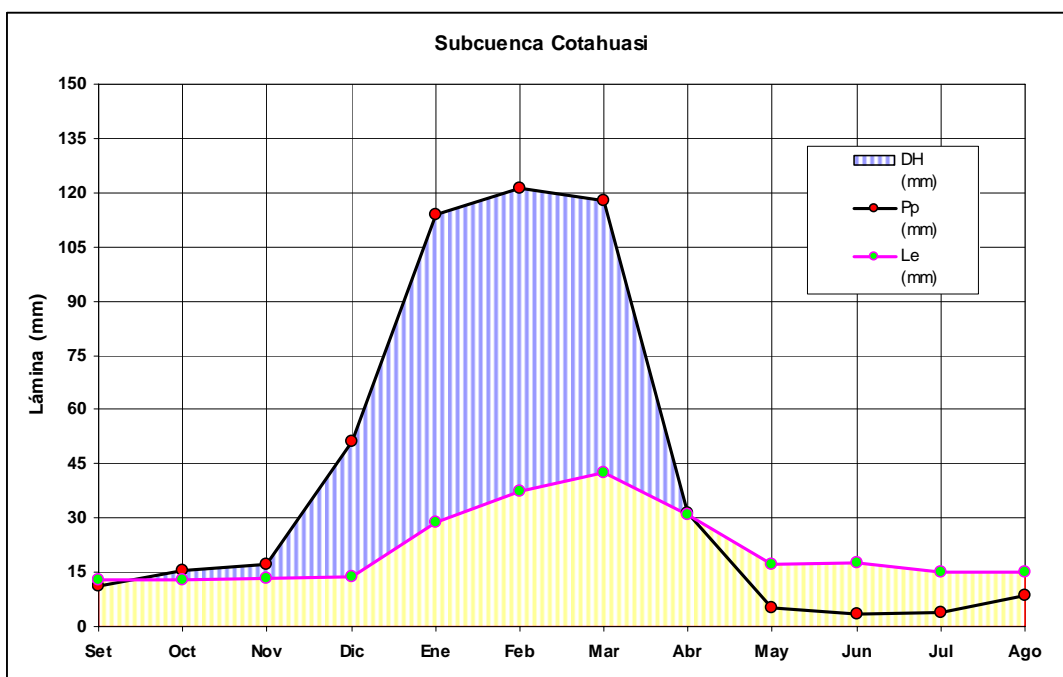
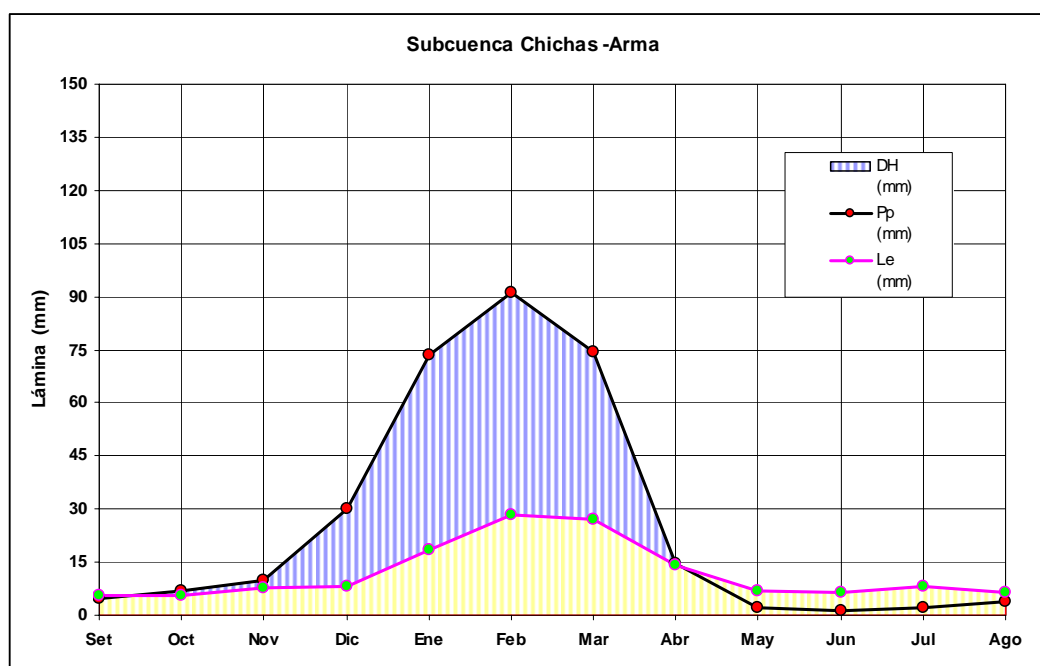


Figura 10.6: Déficit de escorrentía en la subcuenca Chichas-Arma





X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

- ✚ La cuenca del río Ocoña es una cuenca que presenta todo el año un superávit, es decir, la demanda de la cuenca se encuentra por debajo de la oferta. La mayor demanda de agua en la cuenca es de uso agrícola, y especialmente en la zona del valle, que usa exclusivamente las aguas del río Ocoña. Hemos visto que la demanda media mensual es solo del 2,2% de la oferta en la cuenca del río Ocoña.
- ✚ Hemos podido observar que el régimen hídrico del río Ocoña es un régimen permanente, el cual presenta un caudal mínimo mensual o flujo base de aproximadamente 50 m³/s durante todo el año. Gracias a este flujo base, la cuenca cuenta con importantes recursos hidrobiológicos (ejemplo: camarones), que son de gran importancia para la vida económica de la cuenca.
- ✚ La cuenca del río Ocoña tiene una geografía bastante accidentada, donde podemos observar pendientes bastante fuertes en los ríos y además tenemos uno de los cañones más profundos del mundo el Cañon de Cotahuasi. Esta condición geográfica hace que las áreas de cultivo en la cuenca no sean más extensas. Así mismo, muchas áreas de cultivo no puede hacer uso del agua directamente del río por encontrarse demasiado profundo.
- ✚ En lo que respecta a la red hidrometeorológicas podemos concluir que la red no es muy densa, es decir hay una escasez importante de estaciones pluviométricas, climatológicas e hidrológicas. No se cuenta con suficiente información para realizar estudios mas detallados, como elaborar balances hídricos a niveles de microcuencas o comisiones de regantes, especialmente en las partes altas de las cuencas donde los cultivos son principalmente en secano (solo aprovechan el agua de lluvias). Igualmente no se cuenta con información procesada de caudales instantáneos, o de tormentas lo cual no nos permite realizar un trabajo mas preciso en relación a la estimación de caudales máximos instantáneos, es por ello que hemos recurrido a metodologías regionales.
- ✚ Hemos encontrado que el rendimiento hídrico medio anual de esta cuenca es una de las mayores de la vertiente del pacífico, con un volumen media anual de 3037,7 millones de metros cúbicos (75% de persistencia), sin embargo solo el 6.0% de este volumen es utilizado para las demandas de la cuenca.
- ✚ Teniendo en cuenta que el cauce del río es bastante ancho (300 metros aproximadamente) en la parte más baja y el caudal máximo instantáneo calculado (2069,5 m³/s para un periodo de retorno de 20 años) y adicionalmente teniendo en cuenta que se trata de una cuenca con tiempo de respuesta rápida (cuencas encañonadas, fuertes pendientes en los ríos, etc) podemos concluir que los riesgos de inundaciones en esta cuenca son bastante altos, por lo cual es necesario hacer una evaluación más detallada respecto a este tema.

10.2 RECOMENDACIONES

- ✚ Debido a que la red hidrológica y meteorológica en la cuenca es básica, es necesario la instalación de estaciones pluviométricas en la zona, especialmente en la cuenca del río Marán y Chichas-Arma. Para ello se recomienda que en coordinación de la ATDR's y con la Junta de Usuarios o comisiones de regantes se evalúe la instalación de pluviómetros y pequeñas estaciones meteorológicas en las partes altas de la cuenca (por encima de los 2000 m.s.n.m). Podría iniciarse instalando algunas estaciones en los locales de las sub-administraciones de riego, o sectores de riego donde la ATDR Ocoña-Pausa cuente con personal técnico y profesional. Para la zona del valle para determinar con mayor precisión la demanda hídrica de los cultivos y evaluar las mejores condiciones climáticas para el desarrollo de los mismos es necesario la instalación de al menos una estación agroclimática.
- ✚ Como no se cuenta con información de caudales en los ríos más importantes como el Marán, Cotahuasi y Chichas-Arma, se recomienda realizar campañas de aforos trimestrales como mínimo para poder evaluar la variabilidad hídrica del río. De ser posible se podría instalar una regla limnimétrica, donde se realizarían observaciones diarias. Se recomienda la instalación de estaciones hidrométricas en algunos ríos principales. [Ver Mapa 19](#)
- ✚ En el presente estudio hemos logrado cuantificar la cantidad de agua que produce la cuenca e igualmente determinar los superávits a nivel mensual (volumen excedente), sin embargo, a este nivel del estudio no podemos entrar en mayores detalles como por ejemplo los problemas de falta de agua en pequeñas microcuencas, lo cual es de mucha importancia en el trabajo de la distribución del agua que realizan las ATDR's.

Por lo expuesto anteriormente se recomienda, que tomando como base el presente estudio (Inventario de fuentes de agua y estudio hidrológico), se elaboren estudios complementarios más detallados (caudales, tipo de suelo, infiltración, evaporación, coeficiente de escorrentía, etc.) para evaluar la disponibilidad hídrica en pequeñas microcuencas, las cuales deben ser las más representativas de la zona de estudio para luego poder realizar una extrapolación de estos resultados a otras microcuencas con similares características.
- ✚ La demanda agrícola se ha calculado usando, una eficiencia de riego de 20%, tomado en base a los estudios de ONERN (1975), sin embargo se recomienda evaluar en campo esta eficiencia que en la actualidad debe ser mayor debido a las infraestructuras de riego instaladas y mejoras en el riego.
- ✚ Los cálculos para la demanda se ha realizado tomando en cuenta las áreas registradas en el Plan de Cultivo y Riego 2006-2007, sin embargo esta información presenta una diferencia significativa (50% aproximadamente) con respecto al área registrada, por lo tanto se recomienda tomar en cuenta este factor para la elaboración de estudios más detallados con respecto a las demandas futuras.
- ✚ Un tema muy importante y merece especial atención es la evaluación de máximas avenidas y riesgos de inundación en la cuenca del río Ocoña, especialmente en la zona del valle. Se recomienda una evaluación más detallada en este tema para determinar las zonas con mayor riesgo de inundación de valle. Debemos señalar que el SENAMHI ha instalado una estación hidrológica automática desde el año 2001, con fines de prevención de crecidas e inundaciones, lo cual nos confirma la importancia de este tema en la cuenca de Ocoña.

XI. BIBLIOGRAFIA

- ✚ Asociación BCEOM – SOFI CONSULT S.A (1999). Estudio hidrológico - meteorológico en la vertiente del pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno el niño para prevención y mitigación de desastres, Programa de apoyo a la emergencia Fenómeno del Niño, Lima, Perú.
- ✚ Aparicio Mijares, F. (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa, México.
- ✚ Brunet-Moret (1971), Etude de l'homogénéité des précipitations par la méthode des doubles masses. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, Vol VIII, n°4
- ✚ Brunet-Moret (1977), Test d'homogénéité. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, Vol XIV, n°2
- ✚ Brunet-Moret (1979) Homogénéisation des précipitations. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, Vol XVI, n° 3 et 4
- ✚ Chereque Moran, W. (1989), Hidrología para estudiantes de ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, obra auspiciada por CONCYTEC, Lima, Perú.
- ✚ Chow, Ven Te; Maidment, D. y Mays, L. (1980) Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill Interamericana S.A., Colombia.
- ✚ Edijatno (1991). Mise au point d'un modèle élémentaire pluie-debit au pas de temps journalie (Elaboration of a simple daily rainfall-runoff model). Ph.D. dissertation, Louis Pasteur University (Strasbourg) / Cemagref (Antony), France.
- ✚ Estrela, T. (1992), Metodología y recomendaciones para la evaluación de los recursos hídricos, Centro de Estudios Hidrográficos – Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación, Madrid, España.
- ✚ FAO (1998), Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage paper 56. Roma.
- ✚ García Villanueva, J. (1994), Principios físicos de Climatología, Lima, Perú.
- ✚ Hiez (1977) L'homogénéité des données pluviométriques. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, Vol XIV, n°2
- ✚ Le Goulven, P. et Aleman M., (1992). Régionalisation climatique (Pluie et ETP) dans les Andes équatoriennes, Méthodologie, résultats et application. Cahiers ORSTOM, VIII journées hydrologiques.

- ✚ Linsley, R., Kohler, M. y Paulhus, J. (1977) Hidrología para Ingenieros. Editorial Mac Graw Hill Latinoamericana. México.

- ✚ Makhoul, Z. (1994). Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de Doctorat. Université de Paris XI Orsay / Cemagref (Antony), 228 pp.

- ✚ Mejía, M. (1999). Análisis de Máximas Avenidas. DRAT, UNALM, Lima, Perú.

- ✚ Ministerio de Energía y Minas (1982). Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional Volumen V, Lima, Perú.

- ✚ Muzy A (2000) Principes de modélisation, Cours d'hydrologie postgrade. Ed. Muzy, A., EPFL, Lausanne, 225 pp.

- ✚ Mouelhi, S., 2003. Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, ENGREF, Cemagref Antony, France, 323 pp.

- ✚ Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C. et Andréassian, V. (2006a) Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. J. Hydrol. 318(1-4), 200-214, doi:10.1016/j.jhydrol.2005.06.014.

- ✚ Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C. et Andreassian, V. (2006b) Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited. J. Hydrol. 328, 283-296, doi:10.1016/j.jhydrol.2005.12.022.

- ✚ ONERN (1975). Inventario, evaluación y uso racional de los recursos de la costa; Cuencas de los ríos Atico, Caraveli y Ocoña. Lima, Perú.

- ✚ Paulet, M. (1974). Análisis de Frecuencias de Fenómenos en Hidrología. DRAT. Lima, Perú.

- ✚ Perrin, C. (2000). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. INPG (Grenoble) / Cemagref (Antony), 530 p.

- ✚ Sánchez San Roman, J. (2001), El agua en el suelo. Web.usual.es/~javisan/hidro/temas/T040

- ✚ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI (2005), Balance hídrico Nacional, Lima, Perú

- ✚ UNESCO, 1982, Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur, Uruguay.
- ✚ Villeneuve J. P., Hubert P., Mailhot A. N., and Rousseau A. N. (1998) La modélisation hydrologique et la gestion de l'eau. Revue des Sciences de l'Eau, n° spécial, 19-39.
- ✚ Vauchel P. (2005), HYDRACCESS – Tutorial
www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess_sp.htm
- ✚ Wolfgang, T. Y Gutiérrez (1979), R, Análisis regional de la Avenidas del Perú, Comisión Multisectorial del plan de ordenamiento de recursos hidráulicos. Lima, Perú.