

ANEXO F: DATOS DE HIDROLOGÍA Y COSTOS VARIABLES POR SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

- F1: SERIE HIDROLOGICA DEL AÑO 2007
- F2: INFORMES DE HIDROLOGÍA
- F3: CAUDALES ECOLOGICOS EDEGEL
- F4: COSTOS VARIABLES POR SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DE LA C.H. CAÑÓN DEL PATO
- F5: INFORME DE INFOCLIMA

000642

F1: SERIE HIDROLOGICA DEL AÑO 2007

VALORES DE SERIES ACTUALIZADAS PARA EL AÑO 2007 PARA EL MODELO PERSEO

qn-ta1 2007	3.6377	2.8583	4.5319	2.0743	1.4778	0.7979	0.5414	0.4565	0.2094	0.2823	0.7776	1.1221
QN-ta2 2007	21.1624	22.0512	29.6005	23.2680	14.1728	9.6536	7.9493	6.8374	6.6621	7.2627	8.0215	9.1775
qn-sh1 2007	15.7499	12.3722	15.9621	10.4489	5.2416	2.8295	2.7439	2.4254	2.4159	2.1405	3.6920	4.6518
qn-sh2 2007	16.7627	17.3513	20.4370	15.2613	7.0584	4.3058	3.2016	3.1674	3.8186	3.9335	3.6345	3.5967
yanango 2007	28.8892	26.5961	38.5269	28.5083	13.9596	8.1392	7.2018	5.7432	5.9052	9.8922	10.6444	16.8559
chimay 2007	133.1123	136.9412	179.6714	117.0281	59.2273	34.7354	28.8608	24.9284	28.9427	51.5410	62.9479	80.8343
QN-301 2007	1.8800	Viconga 1.3300	2.3700	1.7000	0.6200	0.1900	0.2500	0.1400	0.1400	0.3000	1.7100	1.0800
QN-304 2007	62.2900	Cahua 56.7700	73.7400	71.7000	44.9000	19.6500	14.6400	13.5600	12.7500	15.4700	23.2300	22.4700
2007	60.4100	55.4400	71.3700	70.0000	44.2800	19.4600	14.3900	13.4200	12.6100	15.1700	21.5200	21.3900
QN-401 2007	2.2826	Paron 2.4414	2.4942	2.3118	1.8239	1.3744	1.0824	0.9565	1.0145	1.1080	1.3873	1.8204
QN-402 2007	0.6027	Cullicocha 0.6447	0.6586	0.6105	0.4816	0.3629	0.2858	0.2526	0.2679	0.2926	0.3663	0.4807
QN-403 2007	140.1507	Cañon del Pato 120.0830	290.4511	224.3080	72.4580	34.5152	25.3320	25.9402	24.1263	41.5808	62.2495	63.6999
2007	132.8684	112.0678	282.1364	217.0280	67.0504	30.5171	22.1901	23.1187	21.1019	38.1099	57.8480	57.9185
QN-405 2007	3.168	Pariac 3.391	3.46	3.21	2.529	1.904	1.501	1.334	1.403	1.542	1.932	2.529
2007	2.3454	2.5112	2.5611	2.3769	1.8717	1.4087	1.1109	0.9893	1.0374	1.1427	1.4320	1.8730
QN-406 2007	1.2310	Aguashcocha 1.5382	1.7018	1.1477	0.5730	0.3568	0.2726	0.2784	0.3390	0.5283	0.7158	0.9513
QN-408 2007	0.8226	Rajucolta 0.8798	0.8989	0.8331	0.6573	0.4953	0.3901	0.3447	0.3656	0.3993	0.5000	0.6560
QN-501 2007	40.6300	Gallito 32.2000	102.9600	92.8300	27.4400	8.6200	4.0600	2.4600	1.9200	5.2200	21.3800	8.9700
QN-603 2007	53.65	Cirato 47.51	114.12	112.63	57.61	16.18	7.66	6.78	5.49	17.73	50.04	19.71
2007	24.0000	24.0000	24.0000	24.0000	24.0000	16.1840	7.6582	6.7756	5.4883	17.7338	24.0000	19.7061
QN-605 2007	29.6535	Cirato Residual 23.5069	90.1235	88.6304	33.6123	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	26.0423	0.0000
QN-801 2007	54.1100	Lago Junin 38.1700	66.6300	76.4200	26.0200	12.3300	12.3200	12.8200	12.4400	7.4300	13.4000	13.6800
QN-802 2007	117.14	Malpaso 93.20	165.87	153.51	61.16	36.56	37.73	36.24	36.49	30.96	44.15	47.37
2007	53.30	46.53	83.91	65.18	29.71	20.49	21.49	19.80	20.34	19.90	26.00	28.49
QN-803 2007	161.8000	Tablachaca 137.0100	221.4100	169.0900	75.1400	48.8600	41.3900	38.5500	38.1200	40.4600	45.0800	59.1600
QN-804 2007	5.0803	Cut Off 4.3256	4.5131	4.2418	2.8065	1.7707	1.2923	1.3169	1.3712	1.6277	1.6671	1.9877
QN-805 2007	3.5623	Taza Vieja 3.0331	3.1645	2.9743	1.9679	1.2416	0.9061	0.9234	0.9615	1.1413	1.169	1.3938
QN-806 2007	3.1535	Pomacocha 3.0271	2.9982	2.1789	0.9823	0.8393	0.5598	0.5984	0.5901	0.7283	0.6981	1.0462
QN-807 2007	0.8197	Huallacocha Baja 0.7869	0.7793	0.5664	0.2553	0.2182	0.1455	0.1556	0.1534	0.1893	0.1815	0.2719
QN-809 2007	1.6575	Toma Rumichaca 1.4113	1.4724	1.3839	0.9156	0.5777	0.4216	0.4297	0.4474	0.5310	0.5439	0.6485

000645

VALORES DE SERIES ACTUALIZADAS PARA EL AÑO 2007 PARA EL MODELO PERSEO

QN-2003	Blanquillo											
2007	0.6687	0.3977	3.2191	0.3947	0.1684	0.0864	0.0575	0.0691	0.0532	0.1068	0.0591	0.0250
QN-2004	Colca											
2007	2.2128	2.4723	6.1157	3.1694	1.8553	1.5095	1.5993	1.2804	1.0675	1.4481	1.2233	1.4680
QN-2005	Antasalla											
2007	0.6355	0.6184	0.9946	0.4533	0.1240	0.0775	0.0728	0.0687	0.0746	0.0676	0.0747	0.0748
QN-2006	Sumbay (Aguada Blanca)											
2007	9.0640	9.8540	14.4990	4.9892	2.1929	1.2248	1.0357	1.1088	1.0979	0.5759	1.1405	1.2642
QN-2007	El Frayle											
2007	6.9258	4.1398	15.0002	4.3504	0.9340	0.6262	0.7917	0.7906	0.8218	0.8523	0.5601	0.3934
QN-2008	Pillones											
2007	0.4881	0.2648	0.7967	0.2451	0.0000	0.1112	0.1642	0.1572	0.1220	0.0274	0.0312	0.1305
QN-2009	Sumbay (Imata)											
2007	1.9922	1.1624	5.2703	2.0725	0.5201	0.6887	0.5346	0.6758	0.8993	1.2970	0.7481	0.3495
QN-2101	Laguna Aricota											
2007	5.2750	4.4330	6.7370	2.1040	1.7060	1.6820	1.5250	1.4640	1.4050	1.4690	1.5630	1.4400
QN-2301	Sibinacocha											
2007	6.6500	3.9700	4.2900	0.2700	0.2900	0.3100	0.2900	0.1200	0.8100	1.2900	1.5100	2.4200
QN-2302	km 105											
2007	238.4200	246.0400	347.2700	219.6100	79.2500	45.4300	37.0600	29.3100	30.0300	38.1900	45.8400	92.0800
QN-2401	Macusani											
	1.262	1.359	0.919	0.52	0.461	0.403	0.602	0.388	0.348	0.237	0.689	0.712
	1.545	1.276	0.89	0.503	0.193	0.075	0.095	0.165	0.272	0.187	0.103	0.367
	0.674	0.619	0.652	0.302	0.218	0.07	0.39	0.319	0.386	0.066	0.053	0.285
2007	3.4810	3.2540	2.4610	1.3250	0.8720	0.5480	1.0870	0.8720	1.0060	0.4900	0.8450	1.3640
QN-2402	San Gaban											
	78.4179	61.6321	64.3101	38.0579	15.1414	9.98	8.3534	8.5712	9.7483	11.2177	16.1509	31.6359
2007	73.0406	57.1799	60.3497	36.1316	14.0052	9.2347	7.1337	7.5905	8.6037	10.3857	14.9346	29.4129
QN-2403	Corani											
	34.88	22.04	27.58	11.06	4.86	3.63	2.44	2	2.55	6.29	6.83	15.8
2007	1.8983	1.1982	1.4994	0.6013	0.2642	0.1973	0.1327	0.1087	0.1386	0.3420	0.3713	0.8590
QN-2501	Huisca Huisca											
	1.519	1.707	3.56	1.105	0.313	0.247	0.29	0.302	0.215	0.19	0.25	0.216
	0.959	1.078	2.248	0.698	0.198	0.156	0.183	0.191	0.136	0.12	0.158	0.136
2007	2.4780	2.7850	5.8080	1.8030	0.5110	0.4030	0.4730	0.4930	0.3510	0.3100	0.4080	0.3520
QN-2502	Aporte intermedio											
2007	1.3110	1.4740	3.0720	0.9540	0.2700	0.2130	0.2500	0.2610	0.1850	0.1640	0.2160	0.1860
QN-2601	Panguana											
2007	0.6080	0.6830	1.4240	0.4420	0.1250	0.0990	0.1160	0.1210	0.0860	0.0760	0.1000	0.0860
QN-2602	Huarahuarco											
2007	3.1980	3.5940	7.4940	2.3270	0.6600	0.5190	0.6100	0.6370	0.4520	0.4000	0.5270	0.4540
QN-2603	Aporte intermedio											
2007	1.7590	1.9770	4.1220	1.2800	0.3630	0.2860	0.3350	0.3500	0.2490	0.2200	0.2900	0.2500
QN-2604	Vilafro											
2007	0.1600	0.1800	0.3750	0.1160	0.0330	0.0260	0.0300	0.0320	0.0230	0.0200	0.0260	0.0230

000646

F2: INFORMES DE HIDROLOGÍA

CAHUA
EDEGEL
EGASA
EGEMSA
EGENOR
EGESUR
ELECTROANDES
ELECTROPERU
SAN GABAN

INFORMES HIDROLÓGICOS

Se adjunta los informes de actualización de los datos hidrológicos de las siguientes empresas en medio magnético:

- CAHUA
- EDEGEL
- EGASA
- EGEMSA
- EGENOR
- EGESUR
- ELECTROANDES
- ELECTROPERU
- SAN GABAN

000648

F3: CAUDALES ECOLOGICOS EDEGEL

000619

087
ochentiseiete

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES

58

" AÑO DE LOS SEISCIENTOS MIL TURISTAS "

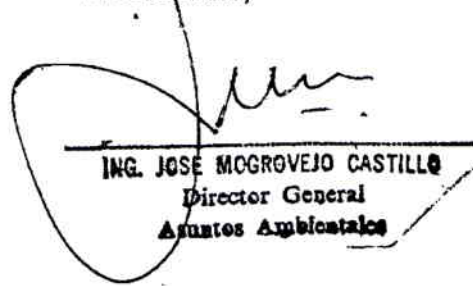
MEMORANDO N° 713-96-EM/DGAA

Al : Director General de Electricidad
Ref.- : Memorando N° 350-96-EM/DGE
Fecha : San Borja, 02 de octubre de 1996

En relación al EIA de la Concesión Definitiva de Generación de la Central Hidroeléctrica Yanango de Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A., este Despacho opina por su aprobación en razón que la empresa recurrente, cumple con las medidas adecuadas para mitigar los impactos que producirá el referido proyecto, conforme se indica en el Informe N° 086-96-DGAA/MG, que se adjunta.

Lo que se remite, para los fines de su competencia.

Atentamente,



ING. JOSE MOGROVEJO CASTILLO
Director General
Asuntos Ambientales

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
Dirección General de Electricidad
SECRETARIA
Lote: 6974 No. 96
Fecha: 96-10-07

*Se adj.- lo indicado
/sh.

INFORME N° 086-EM-DGAA/MG

Señor : Director General de Asuntos Ambientales

Asunto : Evaluación de EIA

Ref. : Memorandum N° 350-96-EM/DGE

Compañía Minera San Ignacio de Morococha, empresa dedicada a la actividad eléctrica, ha presentado un Estudio de Impacto Ambiental elaborado por la Consultora SVS Ingenieros S.A., autorizada por la DGAA; con la finalidad de cumplir con el Decreto Supremo N° 029-94-EM.

Del análisis efectuado se desprende lo siguiente:

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, Región Andrés Bello Cáceres, en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes.

- La central hidroeléctrica Yanango estará ubicada en el valle medio de río Tarma, entre las elevaciones 1710 y 1420 m.s.n.m., y aprovechará los recursos hídricos del río Yanango.
- El acceso a la zona se realiza mediante la carretera Lima-La Oroya-Tarma-San Ramón. Durante este último tramo, la carretera desciende hasta el valle de Chanchamayo siguiendo el curso mismo del río Tarma, y atraviesa el área del proyecto, 15 Km antes de llegar a San Ramón.
- El río Tarma se origina en las alturas de la cordillera de los Andes sobre los 4,000 m.s.n.m. y discurre hacia Este descendiendo con dirección a la selva baja Peruana.
- Geológicamente la zona del Proyecto se caracteriza por la presencia de macizos intrusivos de composición granítica a tonalítica con variación textural de fanerítica a gnéisica.
- El clima en la zona del proyecto es característico de la vertiente oriental.
- La quebrada Guayabal es otro importante afluente del Tarma, pero se localiza a unos 60 metros aguas abajo del punto de devolución de las aguas turbinadas al río. En general la cuenca del río Tarma, aguas arriba del proyecto, está conformado por rocas de los grupos Mitu, Tarma y Pucara.
- En la zona donde estará emplazada la casa de máquina (San José de Utcuyacu), se encuentra un afloramiento
- El clima en la zona del proyectos característico de la vertiente oriental de los Andes Peruanos, zona conocida también como caja de selva, con precipitaciones anuales de 1,500 a 2000 mm y temperatura medias que varían entre 20 y 30 °C. Los meses de mayor precipitación van de Enero a Marzo, mientras los más secos van de Junio a Setiembre. La humedad relativa no es muy alta, pero aumenta bruscamente durante las lluvias

Descripción del Proyecto

- La Central Hidroeléctrica Yanango tiene un esquema típico de "filo de río", en el que no se utilizan obras de regulación, aprovechando las condiciones topográficas para obtener un salto de gran altura.

- Características: Potencia = 37.5 Mw, Caudal es de 18m³/seg, caída cerca de 266.5 m, Energía media = 276.0 Gwh/año, Turbina tipo Francis eje vertical, Los números de grupos son 3.
- Una bocatoma de barrage y ventanas de captación en la margen derecha del río Tarma sobre la cota 1706 m.s.n.m. da inicio al esquema, seguida por un desarenador y cámara de carga al final de la cual se ingresa a un túnel de conducción de 5 Km de longitud. Una segunda bocatoma se ubica en el río Yanango, con cota de 1723 m.s.n.m., la cual se comunica con el túnel de conducción mediante un pozo de conexión. Al final del túnel se ubica la chimenea de equilibrio, y a continuación el conducto forzado de 430 metros de longitud, seguido por la casa de máquinas. Las aguas turbinadas se devuelven al río Tarma en la cota 1447 m.s.n.m.
- También el EIA contiene las características principales de las estructuras y equipos del proyecto en lo que corresponde a las Toinas, Túnel de conducción, Trampa de rocas, Chimenea de equilibrio, Conducto forzado, Casa de máquinas, Canal de descarga, Turbinas, Generadores, Transformadores.
- También en el estudio se incluye descripción del proceso constructivo para cada uno de los componentes del proyecto.

Evaluación de los impactos ambientales a generarse

- Disminución del caudal en el tramo del río Tarma entre la bocatoma y el canal de descarga, entre la bocatoma del río Yanango y su encuentro con el río mencionado.

Fase constructiva

- Desvío del río Tarma por un tramo de 50 mts. para la construcción de la bocatoma.
- Al avanzarse la perforación del túnel, se interferirá con el normal flujo de agua subterránea en las fallas y fracturas de la masa rocosa, alterando, los caudales de los manantiales que se encuentran en superficie.
- La calidad de agua de los ríos Tarma y Yanango se verá afectada durante la construcción de la central hidroeléctrica.
- La construcción de las estructuras en el cauce y en los bancos de estos ríos, como la bocatoma y el desarenador, causara contaminación del agua con cemento y otros tipos de materiales de construcción
- Contaminación por derrames de petróleo y aceite usados por la maquinaria a utilizar.
- Explosivos y compuestos químicos usados para la perforación del túnel serán vertidos a los cursos de agua.
- El material de desmonte previamente de la perforación del túnel, de la excavación para la casa de máquinas y del movimiento de tierras necesario para las demás estructuras será depositado en las orillas o cause del río Tarma o del río Yanango, por no existir prácticamente ningún espacio adicional en el área.

La roca residual de las excavación del túnel tendrá un tamaño máximo de 30 a 40 cm debido a las dimensiones de la sección del túnel y la baja capacidad, de los carrito mineros que se usarán para la evacuación.

Este material se espera sea arrastrado con relativa facilidad durante la época de avenida en la cual el río Tarma como el Yanango tiene gran capacidad de transporte de sedimentos de fondo y suspensión.

- La construcción originará la destrucción total del monte ribereño en la estación 1 sobre una superficie que se estima en aproximadamente 3 hectáreas. Tanto las plantas como los animales que sobre este hábitat se presentan desaparecerán. En el caso de algunos, la migración hacia el monte ribereño que se encuentra más arriba de la zona en construcción o más abajo de la misma es una posibilidad que atenúa este impacto. En relación a las plantas,

si bien es cierto que desaparecerán algunos individuos, el impacto será reducido en el área de trabajo.

Construcción del Túnel

- El impacto se darán en el monte ribereño que recibirá el material de construcción que el túnel genere. Las zonas localizadas que serán afectadas: Toma de agua (Estación 1), en la desembocadura del río Yanango (Estación 5) y en el río Tarma a la altura de la casa de máquinas (Estación 7). Obviamente, el impacto sobre estas zonas será muy fuerte. Otro tipo de vegetación que se verá afectado será el bosque ralo ubicado la entrada del túnel auxiliar en yanango (Estación 4). Las obras de construcción necesariamente eliminarán la vegetación existente. Esto parece, en términos de intensidad, un impacto mayor que perder el monte ribereño, ya que este bosque tiene mayor cobertura total y mayor riqueza y diversidad de especies. Lo que atenúa este efecto es el hecho de que se da sobre una zona muy pequeña (inferior a una hectárea). Un atenuante adicional es el hecho de que la flora presente en la zona es vegetación secundaria

Fase operacional

- La interferencia del túnel con el flujo de agua subterránea continuará afectando la disponibilidad de aguas de los manantiales superficiales.
- La operación de la Central Hidroeléctrica Yanango no ocasionará alteración en la composición química del agua utilizada. Pero al discurrir el agua captada a través de los desarenadores, el contenido de los sólidos en suspensión disminuirá drásticamente, estos se acumularán hasta ser devueltos al cauce del río unos metros aguas abajo de la toma, en el caso del Tarma en forma intermitente, y en el caso de Yanango en forma continua. Por lo tanto, es de esperar un incremento en el contenido de sólidos en suspensión en el tramo entre la bocatoma y el canal de devolución. La magnitud de este incremento depende de la cantidad de agua remanente en el río y los intervalos entre las devoluciones de sólidos en el desarenador de la bocatoma Tarma. Aguas abajo del canal de descarga, el contenido de sólidos en suspensión debe volver a la normalidad luego de un tramo de homogenización.
- Retirar el agua del río en la toma de agua para volverlo a la casa de máquinas, impacto al que se sumará el retiro de agua del río Yanango. Este retiro será mayor durante la época de estiaje. Los impactos potenciales que estos podrían generar son los siguientes:
Impactos sobre los peces -- En el caso de las truchas este impacto no es importante pues es poco probable que esta especie llegue más abajo de la toma de agua. Sin embargo es posible que existan peces bentónicos como los bagres, que usualmente viven debajo de las piedras. Estos peces podrían verse afectados, dependiendo la magnitud de la perturbación del tamaño de la población implicada. La carencia de agua implicaría la muerte de una parte importante quedando los charcos como única posibilidad de sobrevivencia hasta el advenimiento del siguiente período.
Impacto sobre los insectos -- La disminución del caudal del río generará múltiples zonas de aguas estancadas, lo que implica la multiplicación del hábitat de agua someras en donde se reproducen los dípteros de la familia Culicidae, Simulidae y Tabanidae. La primera de estas familias incluyen zancudos, algunos de los cuales son vectores de enfermedades como fiebre amarilla, el dengue, la malaria y alguna virosis como encefalitis. Lo que agrava el problema es lo siguiente:
La desecación sucesivas de los charcos, fenómeno que se registra conforme progresa la estación sin agua, induce a la oviposición de los adultos de las familias señaladas. De este modo, se acumula una gran cantidad de huevos, los mismos que eclosionan casi simultáneamente con la siguiente llegada de agua. En ese momento se registra una abundante población.

- Teniendo en cuenta que en la zona de trabajo se tiene la malaria y la fiebre amarilla como enfermedades endémicas, es éste un problema que requiere una cuidadosa atención a través del monitoreo.
Las otras dos familias incluyen especies que si bien es cierto no son vectores de enfermedad, son fuente de picaduras molestas.
- Impactos sobre otros organismos acuáticos: Convendría resaltar en este caso a las poblaciones de anfibios anuros. El secado del río puede tener doble efecto indicado abajo:
- Si bien puede implicar la desaparición de alguna especie, también los charcos que se generarán constituyen hábitat propicio para la reproducción, teniendo en cuenta el hábitat acuático de las larvas. De acuerdo a los registros, sólo se han encontrado renacuajos en el río Yanango; sin embargo, es posible que gran cantidad de charcos que se generen por el funcionamiento de la hidroeléctrica podría propiciar un crecimiento poblacional de algunas especies.

Impacto Socioeconómico

- Reubicación de viviendas y de la escuela de San José de Utcuyacu indicadas para la fase de construcción del proyecto se mantendrá durante la operación de la central y es posible que sea éste mayor impacto para los habitantes de la zona.
- Por otra parte, la operación de la central hidroeléctrica dará empleo a 25 personas en forma permanente. En general se tratará de personal calificado, y se estudiara incluir a algunos de los pobladores de la área de influencia puedan ser considerados.
- Cuando entre en operación la central hidroeléctrica habrá disponibilidad de energía eléctrica en el área de San Ramón y La Merced, por lo cual un mayor número de viviendas e industrias podrán ser abastecidas de electricidad.
- La conexión con la red eléctrica nacional aumentará la oferta de energía eléctrica en el país, aliviando la falta de energía.

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) contempla entre otros lo siguiente:

Fase Constructiva

- Durante la etapa de construcción, gran parte de las fracturas y fallas abiertas ubicadas a lo largo del túnel estarán conectadas hidráulicamente al flujo de agua subterránea. En este sentido, se tomara especial cuidado de no afectar o modificar el caudal natural de las fuentes de agua naturales (manantiales) ubicados en el margen derecho del río Tarma, debido a que es una fuente de abastecimiento de este elemento a las poblaciones ubicadas en caseríos locales.
- Durante la construcción del barraje y de las obras de la bocatoma y el desarenador, debe evitarse derrames de concreto y otros materiales de construcción en el lecho del río. Asimismo se evitará que éste se convierta en un lugar de depósitos de desechos.
- En lo que corresponde a la construcción del túnel, debe evitarse que los explosivos aceites y petróleo, contaminen los cursos de agua. Todo material líquido proveniente de la ventana de acceso debe ser recolectado y tratado adecuadamente. Este efluente debe conducirse mediante una tubería hasta su punto de descarga en el río.
- El agua limpia de los manantiales que afloran cerca a la ventana del túnel debe separarse en todo momento del agua contaminada.
Los desechos provenientes de las instalaciones sanitarias deberán ser tratados antes de su descarga, recomendándose la construcción de tanques sépticos en la casa de maquinas y en la bocatoma.
- En lo referido a la eliminación del material que el túnel genere: se buscará minimizar el impacto sobre el monte ribereño, lo que se puede conseguir depositando el material en área restringida, evitando su dispersión. Se supone que el río es el que transportará este material. Para que las acciones sean efectivas y se reduzca el impacto que se genere, se recomienda que los mayores volúmenes de material se depositen en época de lluvia, no sólo porque en

ese momento se dispone de mayor cantidad de agua, sino también porque los organismos acuáticos hacen frente usualmente a una mayor cantidad de material en suspensión en este periodo, lo que pone en situación de preadaptación a este tipo de fenómeno.

- En relación a la construcción del túnel auxiliar en yanango: También en este caso conviene reducir al mínimo la superficie de bosque ralo que se deforestará. En este caso es en donde se perderá una mayor cantidad de vegetación. En la construcción de la toma de agua del río Yanango se tendrá que evitar que las obras de ingeniería salgan del ámbito mismo de la quebrada. Al proceder así se aseguraría que no causará impacto a la vegetación, la misma que además ha mostrado ser la más diversa de todas las estaciones en las que se ha trabajado. Por el contrario, en la construcción de la toma de agua del río Yanango se tendrá que evitar que las obras de ingeniería salgan del ámbito mismo de la quebrada. Al proceder así se aseguraría que no causará impacto a la vegetación, ya que ésta se da solo en las laderas.
- En relación al campamento y la casa de máquinas donde la vegetación constituye un paisaje agrícola, la pérdida de la vegetación nativa será mínima. Sería recomendable que en el diseño del campamento se favorezca la presencia de áreas verdes, de preferencia la vegetación nativa del área.
- En área de la ventana del túnel y de la casa de máquinas deberá minimizar la destrucción de la vegetación existente y evitar cualquier derrame de petróleo y aceites sobre el terreno.
- Se dará prioridad a los trabajadores de la localidad para las obras de construcción. Los materiales e insumos deben adquirirse localmente.
- Se asegurará la adecuada reubicación de los pobladores de San José de Utcuyacu y de su escuela primaria, cuidando de no perjudicar a la localidad. Se verificará la conformidad de las familias desplazadas.

Fase operacional

- En la fase de operación, la calidad de agua no se vera afectada, excepto en lo que corresponde al contenido de los sólidos.
- Si se tendría que secar el agua y hubiese una población significativa de truchas por debajo del nivel de la toma de agua, habría que proceder a la captura de los peces y a su traslado aguas arriba. Esta medida se tomará también con los bagres y otras especies de peces.
- En relación a los insectos al registrar el crecimiento anormal de poblaciones de insectos que transmiten enfermedades, se implementarán una serie de medidas de control poblacional.
- Se recomienda evitar la formación de charcos mediante el encauzamiento con canales en los lugares en los que el agua se extiende demasiado. Como medida biológica sería conveniente favorecer el control biológico mediante de un estudio detallado de los controladores biológicos, evitándose el uso de control químico.
- Se reforestará todas las zonas que puedan volver a ser usadas al final del proceso constructivo, en especial la zona de la ventana del túnel y de la casa de máquinas.
- En el aspecto socio-económico es importante beneficiar a los habitantes de San José de Utcuyacu y demás caserios, brindándole las mejores oportunidades para obtener empleo con el funcionamiento de la central hidroeléctrica.

Además de lo indicado anteriormente, la empresa ha presentado lo siguiente:

1. Resultados de las pruebas in situ de la calidad de agua y resultados de los análisis de laboratorio de calidad de agua.
2. Límites máximos de concentración según las normas peruanas, estadounidense y canadienses.
3. Recomendaciones para realizar programas de monitoreo en el proyecto.
4. Adjunta al EIA el Plan de Contingencia y el Plan de Abandono

5.1.4 Uso del Terreno

En las zonas de la ventana del túnel y de la casa de máquinas deberá minimizarse la destrucción de la vegetación existente y evitar cualquier derrame de petróleo o aceites sobre el terreno.

Al final del proceso constructivo, las instalaciones temporales en estas zonas deberán ser eliminadas y la vegetación restaurada, a excepción de las áreas que tendrán algún uso durante la operación de la central. En el poblado de San José de Utcuyacu, el terreno y las instalaciones que puedan volver a ser utilizadas por los pobladores deberán ser también restaurados y puestos en condiciones de productividad, si fuera ese el caso.

5.1.5 Aspectos Socioeconómicos

Para promover el máximo beneficio para la zona, deberá darse preferencia a los trabajadores locales para las obras de construcción. Los materiales e insumos necesarios deben adquirirse localmente, siempre que sea posible, pues esto también tendría un efecto positivo para la comunidad y la economía de la zona.

Debe asegurarse la adecuada reubicación de los pobladores de San José de Utcuyacu y de su escuela primaria, cuidando de no causar un perjuicio mayor a la localidad. En todo caso, debe verificarse la conformidad de las familias desplazadas con el trato alcanzado.

5.2 FASE OPERACIONAL

5.2.1 Hidrología

Durante la época de estiaje de 1994 se ha determinado mediante aforos, un aporte natural de 0.3 m³/s hacia el río Tarma, en el tramo comprendido entre la bocatoma Tarma y la casa de máquinas. Mediante el análisis de la información hidrológico-estadística respectiva, se ha calculado un caudal mínimo de 0.2 m³/s para el mismo tramo, en épocas severas o de sequía.

Se debe conservar en la cuenca un caudal mínimo de aproximadamente 0.5 m³/s, el cual permita la permanencia de la flora y fauna silvestre, además del caudal necesario para el incipiente uso agrícola del tramo.

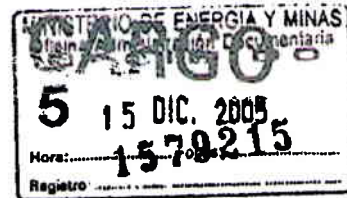
Esto significa que durante la operación del proyecto, para asegurar en todo momento un caudal mínimo de por lo menos 0.5 m³/s en el río Tarma, las bocatomas deben dejar pasar al menos 0.3 m³/s de agua.

000656



Lima, 15 de Diciembre del 2005

Economista:
IRIS CARDENAS PINO
Directora General
Dirección General Asuntos Ambientales Energéticos
MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
Presente.-



Asunto : **Informe Final**
"Estudio hábitat y propuesta caudal ecológico central Chimay"

Tengo el agrado de dirigirse la presente para alcanzarle el Informe Final del estudio de la referencia, que la firma CESEL viene desarrollando en la cuenca del río Tulumayo en el tramo comprendido entre la cabecera del embalse del mismo nombre y la descarga de la central Chimay. En esta última etapa del estudio, esperamos también que nos pueda alcanzar sus comentarios y observaciones que estamos seguros contribuirán al buen desarrollo del mismo. Así mismos le informamos que con el mismo propósito estamos alcanzando copia del presente informe final a la Gerencia de Fiscalización del OSINERG.

Esperando contar con su valiosa revisión, aprovechamos la ocasión para renovar nuestros cordiales saludos

Atentamente

Jorge Castañeda Sánchez
Auditor Ambiental Interno
Teléfonos : 385.2012 / 9670.0716
E-mail : jcastaneda@edegel.com

Adjunto los siguientes anillados:

1. Informe Final "Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológica en el embalse Tulumayo"
2. Anexos
3. Planos
4. Plan de Manejo del hábitat

000657



EDEGEL

Carta N° AA-72/2005

Lima, 15 de Diciembre 2005

Señor Ingeniero:
EDUARDO JANE LA TORRE
Gerente de Fiscalización Eléctrica - OSINERG
Presente

CARGO

Asunto : **Informe Final**
"Estudio hábitat y propuesta caudal ecológico central Chimay"

Tengo el agrado de dirigirme la presente para alcanzarle el Informe Final del estudio de la referencia, que la firma CESEL viene desarrollando en la cuenca del río Tulumayo en el tramo comprendido entre la cabecera del embalse del mismo nombre y la descarga de la central Chimay. En esta última etapa del estudio, esperamos también que nos pueda alcanzar sus comentarios y observaciones que estamos seguros contribuirán al buen desarrollo del mismo. Así mismos le informamos que con el mismo propósito estamos alcanzando copia del presente informe final a la DGAA-E del MEM.

Esperando contar con su valiosa revisión, aprovechamos la ocasión para renovar nuestros cordiales saludos

Atentamente

Jorge Castañeda Sánchez
Auditor Ambiental Interno
Teléfonos : 385.2012 / 9670.0716
E-mail : jcastaneda@edegel.com

15 DIC 2005

Adjunto los siguientes anillados:

1. Informe Final "Estudio de hábitat y propuesta de caudal ecológica en el embalse Tulumayo"
2. Anexos
3. Planos
4. Plan de Manejo del hábitat

000658

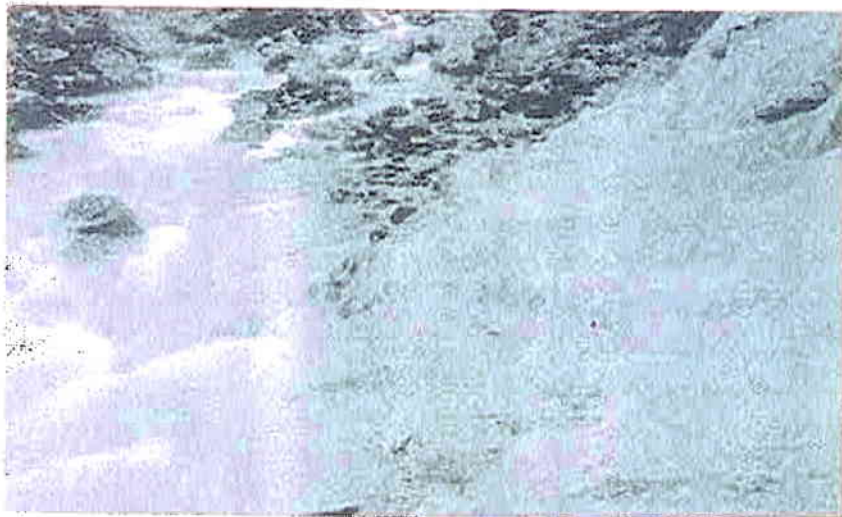
MUNICIPIO: _____
 CANTON: _____
5 15 de _____
 Hora: _____
 Registro: **1579215**



EDEGEL

**ESTUDIO DE HABITAT
 Y PROPUESTA DE
 CAUDAL ECOLOGICO
 EN EL EMBALSE
 TULUMAYO**

15 DIC 2005



**INFORME FINAL
 VOLUMEN I**

**ESTUDIO DE HABITAT Y PROPUESTA
 DE CAUDAL MÍNIMO ECOLÓGICO**

**DICIEMBRE 2005
 ORIGINAL**

**CESEL
 INGENIEROS**

Para la determinación del caudal de aporte por parte del embalse hablaremos de periodos donde deberá soltarse el caudal necesario para completar el caudal mínimo ecológico el cual es de 2,4 m³/s,

En el Capítulo 4, se ha dividido al año en tres periodos claramente definidos,

Periodo de Avenida,- 5 meses, diciembre a abril
 Periodo Medio 1,- 1 mes, mayo
 Periodo de Estiaje,- 5 meses, junio a octubre
 Periodo Medio 2,- 1 mes, noviembre

En el Cuadro 6,5,1-1, se puede observar, que el caudal de regulación se encuentra plenamente satisfecha en el periodo diciembre – abril, teniendo el periodo crítico en los periodos medios y de estiaje,

Cuadro N°: 6,5-1
Caudal en la Sección 2-2, m³/s

Periodo	Avenida				Medio	Estiaje					Medio	Avenida
	Ene	Feb	Mar	Abr		May	Jun	Jul	Ago	Sep		
Sección2	120	140	139	102	1,64	1,41	1,89	1,18	1,31	1,44	1,64	88

Descontando el aporte de las quebradas, el embalse Chimay aportara la diferencia para mantener el caudal mínimo ecológico de 2,4 m³/s. Tal como se observa en la figura anterior, la sección mas crítica es la sección 2, la misma que esta aguas abajo de la quebrada N°1 (Chacaybamba),

Cuadro N°: 6,5-2
Caudales Mínimos Ecológicos aportados por el Embalse Chimay, m³/s

Mes	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Aporte	0,76	0,99	0,51	1,22	1,09	0,96	0,76

El promedio de los aportes es de 0,9 m³/s, por consideraciones prácticas este valor se redondeará a 1.0 m³/s, el cuadro resultante es el siguiente.

Cuadro N°: 6,5-3
Caudales Mínimos Ecológicos aportados por el Embalse Chimay, m³/s

Mes	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Aporte	0.85	1.10	0.57	1.36	1.21	1.07	0.85

000660



CM-094-2008

CARGO

Generando
Futuro

COMUNIDAD METROPOLITANA DE LIMA
GOBIERNO REGIONAL DE LIMA DEPTO. LIMA
SUB-GERENCIA REGIONAL AGRARIA
TRAMITE DOCUMENTARIO

609 27 MAR 2008

RECIBIDO

Hora..... Reg.....

San Isidro, 25 de marzo de 2008.

Señor Ingeniero
Leonel Patiño Pimentel
Administrador Técnico
ADMINISTRACION TECNICA DEL DISTRITO DE RIEGO CHILLON-RIMAC-LURIN
Presente

**ASUNTO RELACION DE USUARIOS CON ACUERDOS PARA CAPTAR AGUA DE
LOS EXCEDENTES PROVENIENTES DE INSTALACIONES O
INFRAESTRUCTURA DE EDEGEL**

Referencia Oficio N° 234-2008-AG-SGRA/ATDR.CHRL

De nuestra consideración:
Mediante la presente nos es grato saludarlo y hacerle llegar adjunto a la presente la información solicitada en la referencia.

Sin otro particular, les reiteramos nuestro saludo.

Cordialmente,

Carlos Rosas
Sub Gerente de Comercialización

EDEGEL S.A.A.

Av. Víctor Andrés Belaúnde # 147
Real 4 - Lima 27
Telf: (511) 215-6300
Fax: (511) 215-6370

199000

DOTACION DE AGUA PARA REGANTES EN CCHH LIMA⁽¹⁾

SECTOR	DENOMINACION	UBICACION	COMUNIDADES QUE SE BENEFICIAN CON LA DOTACION DE AGUA DE LAS DIFERENTES TOMAS Y CANALES	DOTACION (lt/seg)	OBSERVACIONES	
Shoque - Ventana 6	Ventana 1	Pillihua		8.40		
	Ventana 2	San Juan		48.70		
	Ventana 3	Pomacocha	Comunidad Huachupampa	25.20		
	Ventana 4	Curya	Comunidad Huachupampa	82.30		
	Ventana 5	Huachupampa	Comunidad Casta	3.00		
	Ventana 6	Auquibamba		24.90		
	Sub Total de pérdidas:				20.50	
Huinco Callahuanca		Pueblo Huinco	Pueblo Huinco	20.60		
		Canal Huinco	Comunidad de Huinco	20.70		
		San Antonio	Comunidad de Casta	20.40		
		Cumpe	Comunidad de Casta	25.70	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
		Tamborey	Comunidad de Casta	41.80	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
		Coroman	Comunidad de Casta	73.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
		Sio Domingo	Comunidad de Callahuanca (Chauca)	250.60		
		Callahuanca	Comunidad de Callahuanca (Sta Rosa)	20.30		
		Lado Demasia	Comunidad de Callahuanca	9.50		
		Taza		28.50		
	Sub Total de pérdidas:			35.50		
Tambooraque - Matucana	Ventana 1	Ocatara	Patihua	100.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
	Ventana 2	Onturos (Ichoca)	Comunidad de Matucana	50.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
	Ventana 3	Payhua	Pueblo Payhua	243.80		
	Ventana 4	Patihuyco	Comunidad de Patihuyco	16.30		
	Ventana 5	Ayas	Comunidad de Ayas	82.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
	Ventana 6	Linday	Comunidad de Linday	29.50	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
	Sub Total de pérdidas:				27.80	
Surco - Callahuanca	Ventana 3	Pie Verrugas	Comunidad Santiago de Surco	158.60		
	Ventana 5	Reparticion	Comunidad San Mateo de Ojao	10.30		
	Ventana 6	Lurancayo	Pueblo Lurancayo, Comunidad Callahuanca	10.20		
	Ventana 7	Piedra Rajada	Pueblo Tucre, Comunidad Callahuanca	10.10		
	Sub Total de pérdidas:				8.00	
	Barbablanca - Moyopampa	Ventana 1	Lucumaseca	Pueblo Lucumaseca, Distrito de Santa Eulalia	50.10	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR
		Ventana 2	Santa Rosa	Distrito de Santa Eulalia	10.70	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR
Ventana 4		Petalosa	Comunidad Jilmarca	50.10	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
Ventana 5		Taza B. Ayres	Regadio de Arboles, Carretera de acceso a la Taza	99.40	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/ATDR.CHR	
		Taza Libertad	Comunidad Pueblo Joven Libertad			
	Taza Pedregal	Comunidad Pueblo Joven San Antonio y Nicolas de Pierola				
	Sub Total de pérdidas:					

DOTACION DE AGUA PARA REGANTES EN CCHH LIMA⁽¹⁾

SECTOR	DENOMINACIÓN	UBICACIÓN	COMUNIDADES QUE SE BENEFICIAN CON LA DOTACION DE AGUA DE LAS DIFERENTES TOMAS Y CANALES	DOTACION (l/seg)	OBSERVACIONES	
Saqueo - Ventana 6	Ventana 1	Pillinua				
	Ventana 2	San Juan				
	Ventana 3	Pomacocha				
	Ventana 4	Cunya	Comunidad Huachupampa	8.40		
	Ventana 5	Huachupampa	Comunidad Huachupampa	48.70		
	Ventana 6	Aquibamba	Comunidad Casta	25.20		
	Sub Total de pérdidas:			82.30		
Huinco Callahuanca		Pueblo huinco	Pueblo Huinco	3.00		
		Canal Huinco	Comunidad de Huinco	24.90		
		San Antonio	Comunidad de Casta	20.50		
		Cumpe	Comunidad de Casta	20.60		
		Tambo ray	Comunidad de Casta	20.70		
		Coroman	Comunidad de Casta	20.40		
		Sio Domingo	Comunidad de Casta (Chauca)	25.70	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
		Callahuanca	Comunidad de Callahuanca (Sia Rosa)	41.80	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
		Lado Demasia	Comunidad de Callahuanca	73.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
		Taza		250.60		
	Sub Total de pérdidas:		20.30			
Tamboraque - Matucana	Ventana 1	Ocalara	Pathua	9.50		
	Ventana 2	Orturos (Ichoca)	Comunidad de Matucana	28.50		
	Ventana 3	Payhua	Pueblo Payhua	35.50		
	Ventana 4	Patihuayco	Comunidad de Patihuayco	100.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
	Ventana 5	Ayas	Comunidad de Ayas	50.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
	Ventana 6	Linday	Comunidad de Linday	243.80		
	Sub Total de pérdidas:		16.30			
Surco - Callahuanca	Ventana 3	Pie Verrugas	Comunidad Santiago de Surco	82.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
	Ventana 5	Repartición	Comunidad San Mateo de Ojao	29.50	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
	Ventana 6	Lurancayo	Pueblo Lurancayo. Comunidad San Mateo de Ojao	27.80		
	Ventana 7	Piedra Rajada	Pueblo Tucre. Comunidad Callahuanca	155.60		
		Sub Total de pérdidas:		10.30		
	Barbablanca - Moyopampa	Ventana 1	Lucumaseca	Pueblo Lucumaseca. Distrito de Santa Eulalia	10.20	
		Ventana 2	Santa Rosa	Distrito de Santa Eulalia	10.10	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL
Ventana 4		Peñalosa	Comunidad Jicamarca	8.00	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
Ventana 5		Taza B. Aires	Regadio de Arboles. Carretera de acceso a la Taza	10.70	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
		Taza Libertad	Comunidad Pueblo Joven Libertad	50.70	Oficio N° 156-97-AG-AD.LC/IATDR.CHRL	
	Sub Total de pérdidas:		Taza Pedregal	99.40		

000602

000663

DOTACION DE AGUA PARA REGANTES EN CCHH LIMA⁽¹⁾

SECTOR	DENOMINACIÓN	UBICACIÓN	COMUNIDADES QUE SE BENEFICIAN CON LA DOTACION DE AGUA DE LAS DIFERENTES TOMAS Y CANALES	DOTACION (l/seg)	OBSERVACIONES
Galería - Canal Huampani	Canal Hm 1.45	La Rivera	Pasaje Los Platanos, Riego de Areas Verdes		
	Canal Hm 1.53	La Rivera	Pasaje Navidad, Riego de Areas Verdes		
	Canal Hm 1.72	La Rivera			
	Canal Hm 1.78	La Rivera			
	Canal Hm 1.82				
	Canal Hm 1.92				
	Canal Hm 2.02				
	Canal Hm 2.28				
	Canal Hm 2.4	N. de Pieroia	Pasaje Soledad, Riego de Areas Verdes	3.30	
	Canal Hm 2.45	N de Pieroia		3.20	
	Canal Hm 2.58				
	Canal Hm 2.78	Hare Krisma	Colegio y Viviendas de Hare Krisma y pasaje	6.80	
	Canal Hm 2.82	Santa Isabel	Riego de Areas Verdes	4.20	
	Canal Hm 2.85	Santa Isabel		19.60	
	Canal Hm 2.88	ESMON	Riego de Areas Verdes	51.20	
	Canal Hm 2.93	ESMON	Riego de Areas Verdes	6.10	
	Canal Hm 3.22	Santa Maria	Reservorio de Agua de la FAP		
	Canal Hm 3.25	Santa Maria	Riego de Areas Verdes en Vivienda, Pi. Las Lias N°143	6.00	
	Canal Hm 3.32	Santa Maria	Riego de Areas Verdes en Vivienda, Los Jazmines N°285	6.00	
	Canal Hm 3.34	Santa Maria			
	Canal Hm 3.58	Santa Maria	Riego de chacras y reservorio de agua		
	Canal Hm 3.65	Santa Maria			
	Canal Hm 3.72	Santa Maria			
	Canal Hm 3.73	Santa Maria	Lienan Tanques para Mz. A,B,C,D,F,G, de Pueblo Joven Bernardino Salguero		
	Canal Hm 3.78	Santa Maria			
	Canal Hm 3.82	Santa Maria	Riego de Areas Verdes en Vivienda, Los Geranios N°188		
	Canal Hm 3.83	Santa Maria			
	Canal Hm 3.88	Santa Maria	Riego de chacras en Pi. de Santa Maria		
	Canal Hm 4.0	Santa Maria	Riego de Areas Verdes en Vivienda Los Aleis N°242	21.20	
	Canal Hm 4.21	Yanacoto	Riego de Areas Verdes en Ministerio de Agricultura		
	Canal Hm 4.82		Pi. Yanacoto Alto	5.00	
	Ventana 1	Yanacoto	Riego de Areas Verdes en Adertei, El Bosque y Colegio Beata Inelda	323.40	
	Ventana 2	Chacrasana	Pueblo Joven Chacrasana	9.20	
	Taza	Huampani	Asentamiento Humano Huampani Alto	3.50	
	Sub Total de pérdidas:			468.70	
	TOTAL DE PERDIDAS DE AGUA			1300.40	

Nota -

(1) La mayoría de las dotaciones son acuerdos entre Electrolima (hoy EDEGEL) y la comunidad, asirismo, producto de las obras realizadas durante la etapa de construcción de los túneles.

000664

**F4: COSTOS VARIABLES POR SÓLIDOS
EN SUSPENSIÓN DE LA C.H. CAÑON
DEL PATO**

000665

COSTO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN PARA LA CH CAÑÓN DEL PATO

Se adjunta la información en medio magnético en el siguiente archivo:

- Costo-Solidos-CDP.xls

000666

F5: INFORME DE INFOCLIMA

000667

Infoclim@

Alcanfores 1245, Miraflores
Teléfonos: 444 5656 / 444 5660
infoclima.inform@ccion.com.pe
<http://www.informacion.com/infoclima>

Actualización de los Valores Normales de los Caudales Naturales en las Cuencas de Generación Hidroeléctrica del COES-SINAC, con Proyección por Cambio Climático para próximos 50 años

OCTUBRE 27, 2008

INDICE

	Página
I ANTECEDENTES	03
II OBJETIVO	04
III ENTORNO FISICO DEL CAMBIO CLIMATICO EN PERU	04
3.1 Cambio Climático y la PDO	04
3.1.1. Información Utilizada	06
3.1.2. Metodología de Análisis	07
3.2 Cambios Espaciales de Precipitación	08
3.3 Cambios Temporales de Precipitación. Satélite TRMM	10
3.4 Cambios Temporales de Precipitación. Proyecto "50YR"	14
3.5 Tendencias de Precipitación: Observaciones	17
3.6 Cambios Glaciares	20
3.7 La Deforestación Amazónica	24
3.8 Proyecciones Para Los Próximos 50 años	27
IV ANALISIS ESTADISTICO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA HIDROLOGIA DE PERU	29
4.1 Metodología	30
4.1.1 Definición de Periodos Húmedos y Secos	30
4.1.2 Pruebas Estadísticas	32
4.2 Resultados	33
4.3 Resumen Objetivo de los Resultados	38
V Operación Óptima de Sistemas Hidrotérmicos. Modelo Perseo	40
VI CONCLUSIONES	44
VII BIBLIOGRAFIA	46
Anexo 1.0	47
Anexo 2.0	58
Anexo 3.0	60
Anexo 4.0	62
Anexo 5.0	73
Anexo 6.0	78
Anexo 7.0	99

Actualización de los Valores Normales de los Caudales Naturales en las Cuencas de Generación Hidroeléctrica del COES-SINAC, con Proyección por Cambio Climático para próximos 50 años

I ANTECEDENTES

Por iniciativa del COES SINAC, INFOCLIMA recibió el encargo de elaborar el ESTUDIO DE EVALUACION DE LAS NORMALES CLIMATOLOGICAS UTILIZADAS PARA LAS CUENCAS DE GENERACION DEL COES SINAC; el mismo que fue entregado a la DOCOES el 01 de Octubre del 2007. Así mismo y en base a las preguntas y observaciones hechas por OSINERGMIN a dicho informe, se procedieron a entregar otros dos informes en respuesta con fechas 11 de Enero y 8 de Abril del 2008 respectivamente.

En Octubre del 2008 y de acuerdo al marco normativo vigente que establece que el subcomité de generadores presente el estudio tarifario correspondiente al año en curso a OSINERGMIN; INFOCLIMA ha sido encargada de actualizar todo lo actuado en torno a lo descrito en el párrafo anterior incorporando además información climática relevante en aspectos de Cambio Climático asociados al régimen de lluvias, procesos de desglaciación y deforestación cuyo impacto viene resultando en una limitante de la disponibilidad de recursos hídricos para las empresas de generación que los emplean.

INFOCLIMA ha ido más allá de los aspectos propiamente físicos vinculados a su quehacer científico y ha puntualizado algunos aspectos de la operación óptima de sistemas hidrotérmicos propios del Modelo Perseo que se utiliza en el cálculo tarifario y que entendemos deben ser revisados por ser incompatibles con los evidentes impactos que trae el Cambio Climático.

INFOCLIMA hace suya la política crecientemente adoptada globalmente por la comunidad científica de incorporar el discurso del Cambio Climático en la propia contabilidad de las variables hidrometeorológicas que representan los valores normales del equilibrio océano - atmosférico planetario.

En ese mismo sentido hemos incorporado una proyección de lo que sería el impacto proyectado del Cambio Climático para los próximos 50 años según dos escenarios propuestos en el IPCC (Panel Internacional de Cambio Climático). Ambos; uno optimista y uno pesimista, han sido elaborados bajo sendos modelos en el Instituto Max Planck de Alemania.

Todo lo anterior constituye el presente informe: "Actualización de los Valores Normales de los Caudales Naturales en las Cuencas de Generación Hidroeléctrica del COES-SINAC, con Proyección por Cambio Climático para próximos 50 años"

II OBJETIVO

El presente documento persigue el propósito de sustentar científicamente la disminución de la disponibilidad hídrica en las principales cuencas de generación hidroeléctrica en el país.

III ENTORNO FISICO DEL CAMBIO CLIMATICO EN PERU

3.1 Cambio Climático y la PDO

En las últimas décadas y particularmente en la más reciente, se están presentando a nivel mundial y nacional, significativos cambios en el clima que están afectando a casi todas las actividades económicas importantes. El objetivo del presente análisis es el de estudiar las causas físicas responsables de tales cambios y estimar su probable evolución en el corto y mediano plazo, especialmente en los Andes de Perú.

En el presente estudio también se presentarán resultados obtenidos usando sensores remotos para estimar los cambios en precipitación que se están presentando en los Andes de Perú, así como su relación con la denominada Oscilación Decadal del Pacífico PDO.

La Administración Aeronáutica y del Espacio de los EE. UU. NASA en cooperación con la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial han lanzado en 1997 el satélite TRMM o Misión para la Medición de Precipitación Tropical. A pesar de que inicialmente se pensó en que la misión solo iba a tener una duración de cinco años, TRMM ha seguido coleccionando datos durante siete años, principalmente debido a la confiabilidad de sus sensores y la alta calidad de sus mediciones.

Aunque inicialmente fue concebida como una misión orientada puramente a la investigación, TRMM ahora es usado en aplicaciones operacionales tales como el seguimiento de huracanes debido a que la información de sus sensores es disponible en tiempo real. En los EE.UU, la información de TRMM está también siendo utilizada operacionalmente por diferentes instituciones ambientales como el Centro Nacional de Predicción Ambiental e internacionalmente la información es también usada por la Organización Meteorológica Mundial OMM, el Centro Europeo de Pronósticos de Tiempo así como por centros de alerta de ciclones.

Para fines de interpretación de los resultados obtenidos en el presente estudio va a ser necesario analizar la llamada Oscilación Decadal del Pacífico (en ingles, PDO).

Las variaciones de la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) especialmente en el Océano Pacífico, ocurren en diferentes escalas de tiempo. Podemos apreciar las variaciones anuales con los cambios de verano a invierno, y las asociadas a El Niño o La Niña con cambios cada 3 a 7 años. Sin embargo existe otra variabilidad lenta en la escala de tiempo correspondiente a cambios en el lapso de algunas décadas (de allí el nombre de Decadal), la cual es denominada PDO.

La Figura 3.1 muestra el índice de la PDO obtenido en base a las variaciones lentas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Océano Pacífico.

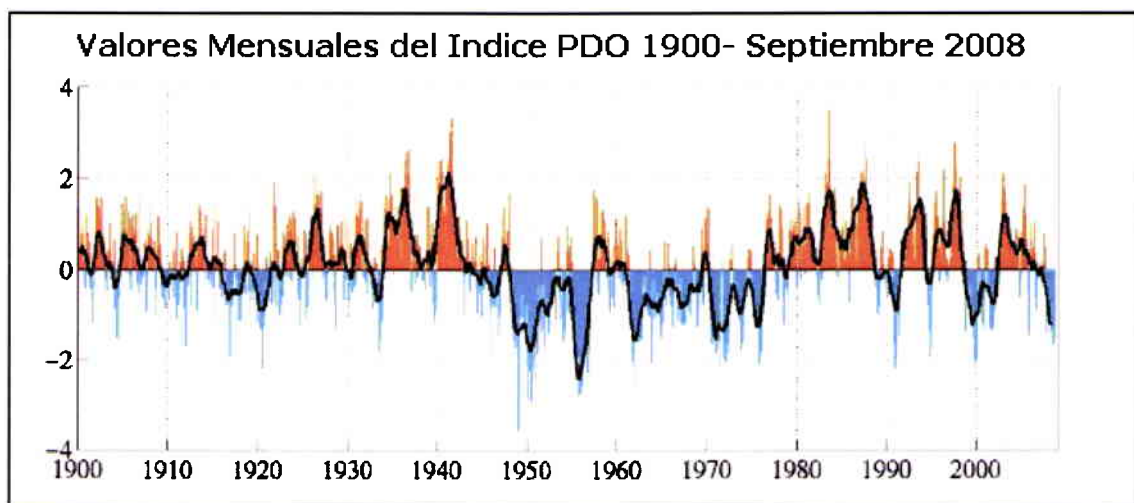
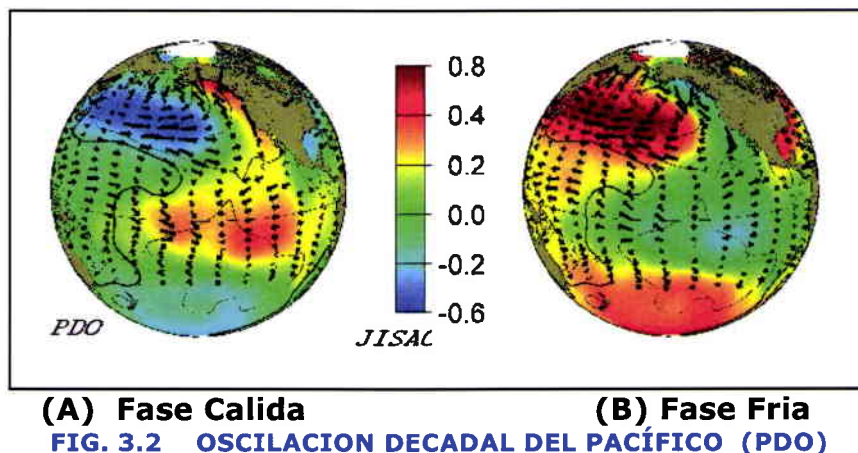


FIG. 3.1 INDICE DE LA OSCILACION DECADAL DEL PACIFICO (PDO)

La variación espacial correspondiente al índice de la Fig.3.1, se muestra en la Fig. 3.2, con dos patrones típicos del comportamiento de la TSM en el Pacífico. Cuando el índice PDO es positivo, la región tropical del Pacífico se encuentra relativamente caliente, y al mismo tiempo las zonas polares están frías (ver Fig. 3.2A).

Por otro lado cuando el índice PDO es negativo, la región tropical del Pacífico se encuentra relativamente fría, y al mismo tiempo las zonas polares están calientes (ver Fig. 3.2B).

La Fig.3.1 muestra que en el periodo 1900-1948, la PDO se encontraba en la fase positiva o cálida, indicando que la región tropical (polar) del Pacífico estuvo relativamente caliente (fría) (ver Fig. 3.2A). En el periodo 1949-1975 la situación se invirtió en el sentido de que el Pacífico tropical (polar) se encontraba relativamente frío (caliente). Posteriormente a partir de 1976 nuevamente el Pacífico tropical (polar) estuvo generalmente cálido (frío) (ver Fig. 3.2A).



Desde el año 1976, la PDO ha permanecido generalmente en el lado positivo de su variabilidad. Sin embargo, pueden apreciarse cambios temporales de relativa corta duración asociados al ciclo ENSO (El Niño/La Niña). Estos cambios que podrían sugerir un retorno a la fase fría y eventualmente al régimen de lluvias anterior a 1976 no apuntan en ese sentido.

Debido a la acción antropogénica que afecta desde la destrucción de la Amazonía hasta el calentamiento global, un retorno, ya sea al patrón de lluvias perdido o al escenario característico de la fase fría de la PDO previo al Calentamiento Global observado durante el último cuarto de siglo parece improbable. De hecho, durante los últimos años y con la presencia de un acentuado rango negativo de la PDO, tal como lo muestra el análisis TRMM las precipitaciones siguieron empobreciéndose en la sierra.

3.1.1 Información Utilizada

Evidentemente los satélites han cambiado drásticamente la manera de analizar los fenómenos meteorológicos. En los últimos años; nuevos y modernos equipos, así como sensores de última generación, están permitiendo medir con mayor precisión y con mayor frecuencia la precipitación; una de las variables más importantes de la Meteorología.

En el presente estudio hemos utilizado información proveniente del satélite TRMM para analizar el comportamiento espacial y temporal de la precipitación en la zona andina de Perú durante el periodo 1998-2007, en el que el satélite está en funcionamiento.

Adicionalmente otra fuente de información con menor resolución pero disponible desde 1948 también se usa en el presente estudio. Se trata de un Proyecto del Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP) de los EE.UU., el cual ha realizado el esfuerzo de analizar información de precipitación

proveniente de medidores con reportes de observaciones locales. El análisis de precipitación resultante es conocido como "50YR".

El proyecto "50yr" produjo estimados de precipitaciones basadas en toda la información disponible de mediciones de precipitación a nivel mundial. La metodología para la estimación ha sido descrita por Chen y otros (2001). Ver Anexo 7. Sin embargo para enfatizar las características de la estimación vamos a indicar algunas de las más importantes.

La información de sensores remotos empieza operativamente en 1976 con una resolución de alrededor de 200km, es decir datos de precipitación cada 200 km. En una región como la sierra peruana con una topografía tan variada, esa resolución no es de gran ayuda. Recién con la operación de nuevos satélites como el TRMM se pudo tener una resolución mas apropiada para nuestra región.

En vista de ello tenemos que recurrir a la información obtenida a partir de mediciones directas de precipitación, que es el único otro método disponible y es el desarrollado por Chen y otros (2001). La característica mas notable es que los autores han comparado sus estimaciones con otras bases de datos aunque mas cortas y fundamentalmente obtenidas a partir de satélites y otros con la combinación de satélites y mediciones directas.

Otra de sus características importantes es que sus patrones están asociados con los correspondientes a los de El Niño - La Niña, los cuales en nuestras cuencas tienen mucha vinculación con ese ciclo dual.

Más aun, la resolución de su estimación es adecuada para nuestras cuencas y se ha probado que concuerda con los cambios ocurridos en 1976, los que han sido probados que son correctos en base a las pocas estaciones de medición disponibles en nuestro medio.

Con el fin de obtener mayor soporte a los cambios de precipitación detectados por los satélites y/o mediciones locales, se hace uso de más información meteorológica producida por el NCEP de los EE.UU. en su denominado Proyecto Reanálisis.

Adicionalmente algunas observaciones de precipitación son conjugadas, para su análisis conjunto, con las estimaciones de satélite.

3.1.2 Metodología de Análisis

Con la información obtenida de diversas fuentes, se analiza la precipitación en la zona andina de Perú con el objetivo de estimar las tendencias durante los últimos cincuenta años ("50YR") para poder apreciar los cambios temporales. Adicionalmente se procede a analizar las precipitaciones de TRMM para explorar las tendencias durante los últimos diez años con mayor precisión.

Las mediciones de precipitación en algunas estaciones de algunas cuencas hidrográficas son analizadas para complementar las estimaciones de satélite.

3.2 Cambios Espaciales de la Precipitación

En la Figura 3.3 se presenta el mapa de diferencia de precipitaciones obtenida con la base de datos del Proyecto "50YR", entre ambas mitades del periodo total del proyecto. Esto es comparar como cambió el periodo 1978-2007 frente al periodo de referencia 1948-1977.

Regiones con amarillo, naranja o rojizo, representan cambios positivos indicando que la precipitación se ha incrementado, tal como ocurre en la región noroeste de Perú. Sin embargo en todo el resto de nuestro país, los cambios son negativos indicando que la lluvia ha disminuido respecto al periodo inicial. Particularmente la cuenca del Santa y casi toda la mitad sur del Perú muestran tal disminución de precipitación.

En la sierra central de Perú las diferencias de precipitación corresponden al rango -5% a +5% (color blanco) sugiriendo que no habría ningún cambio mayor. Sin embargo las series de tiempo en cada cuenca presentadas en las figuras 3.5 a 3.12 confirman los cambios en la última década ó más. Ellos inclusive son substanciales más al sur en Vilcanota y Chili.

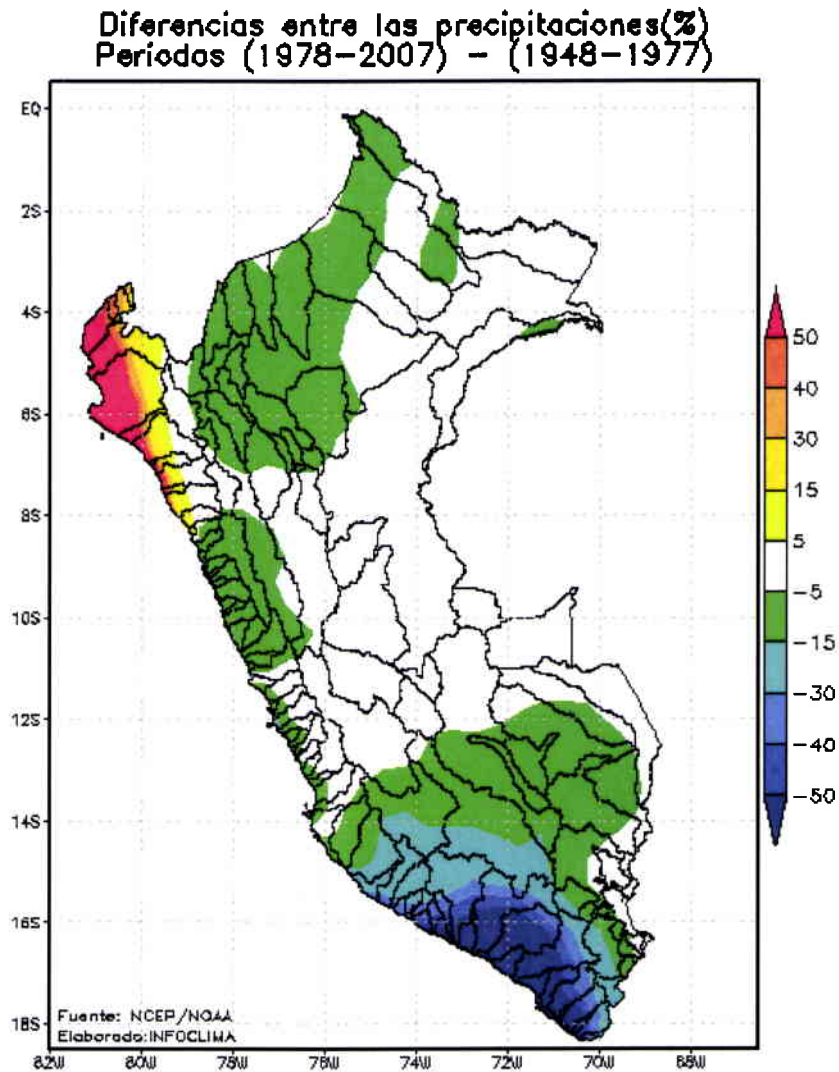


FIG. 3.3 Diferencia de Precipitación (1978-2007)-(1948-1977) Proyecto 50YR

En la Figura 3.4 se presenta el mapa de diferencia de precipitaciones obtenida con la base de datos del satélite TRMM. Salvo la región ecuatorial Amazónica todo el Perú tiene en líneas generales una caída de lluvias si se compara periodo 2003-2007 con el periodo 1997-2002. Comparando las Figuras 3.3 y 3.4 podemos concluir que la disminución de precipitación se ha visto acelerada durante los últimos años.

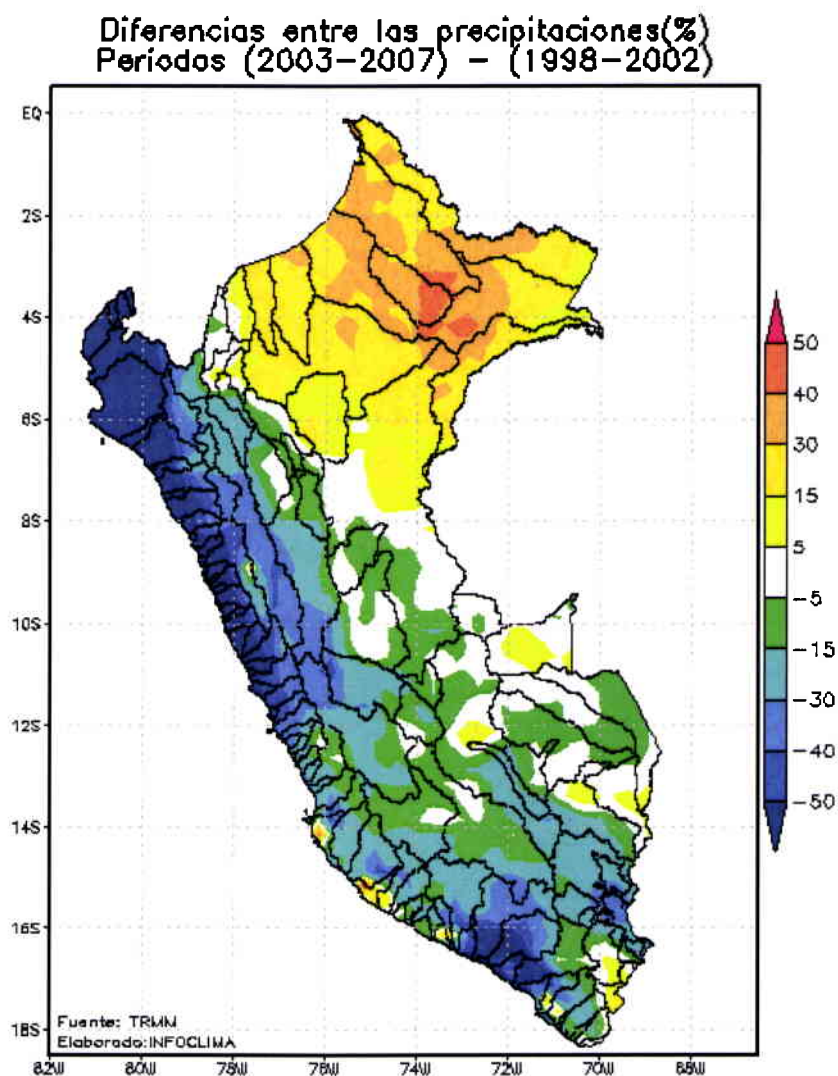


FIG. 3.4 Diferencia de Precipitación (1998-2002)-(2003-2007) Satélite TRMM

3.3 Cambios Temporales de la Precipitación. Satélite TRMM

La Figura 3.5 muestra la evolución temporal de los cambios en precipitación del 2004-2008 en porcentaje respecto al periodo base 1998-2003 para los meses de Enero, Febrero y Marzo en la cuenca del Rímac en base a información proveniente del satélite TRMM. El principal aspecto que podemos resaltar es el correspondiente a la disminución de la precipitación durante el periodo 2002-2008 con valores máximos del orden del 38%.

En las Figuras 3.5 a la 3.11 se presentan los cambios de precipitación TRMM para las principales cuencas de generación hidroeléctrica en Perú. La conclusión es similar; es decir, disminuciones importantes en las precipitaciones se están presentando en la actualidad.

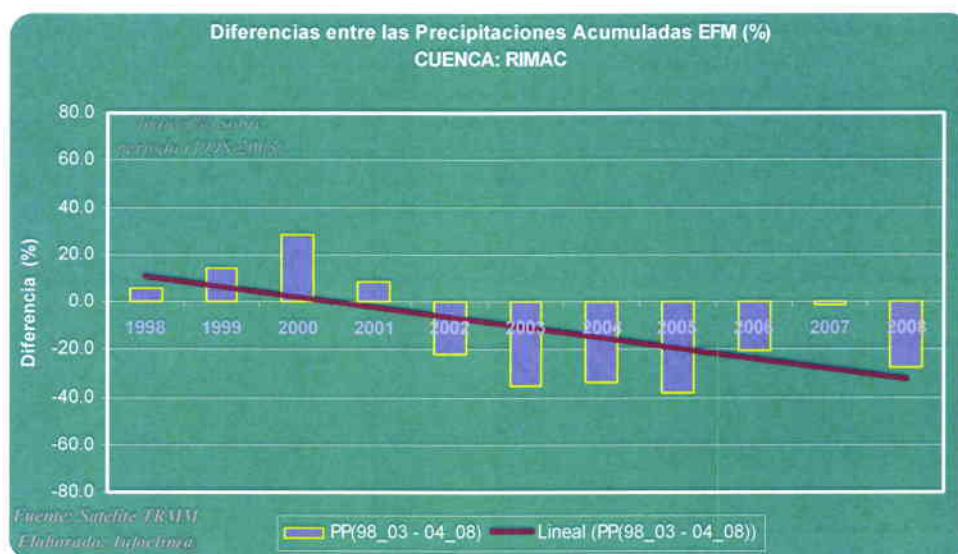


Fig. 3.5 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Rímac. TRMM

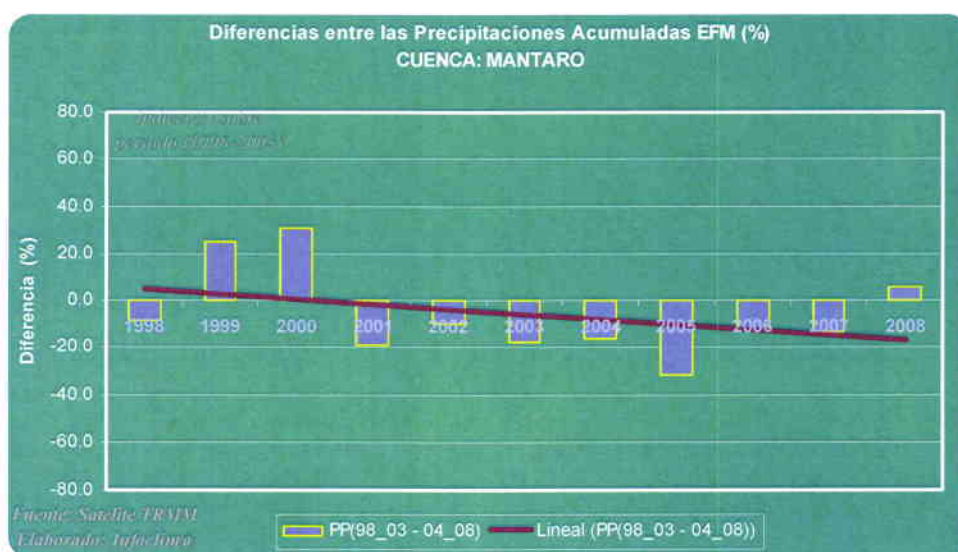


Fig. 3.6 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Mantaro. TRMM

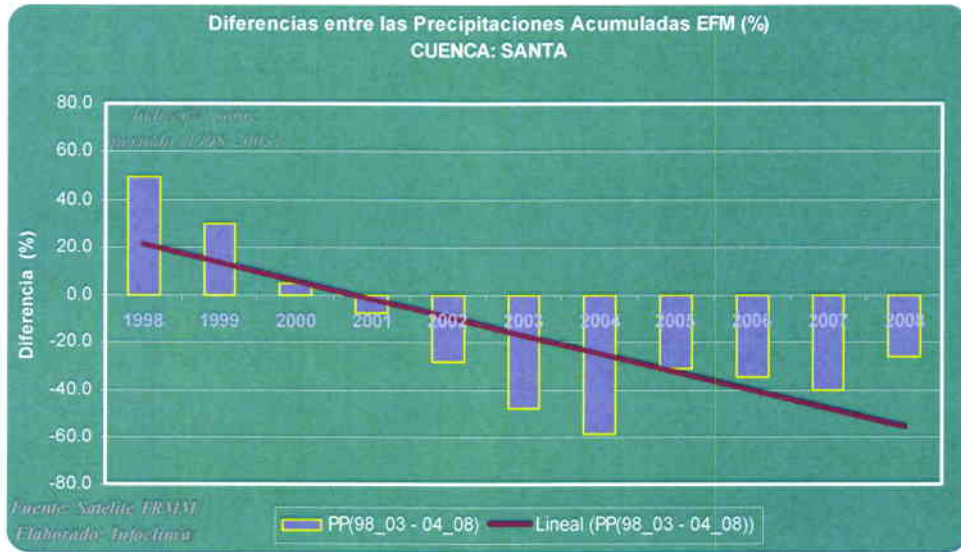


Fig. 3.7 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Santa. TRMM

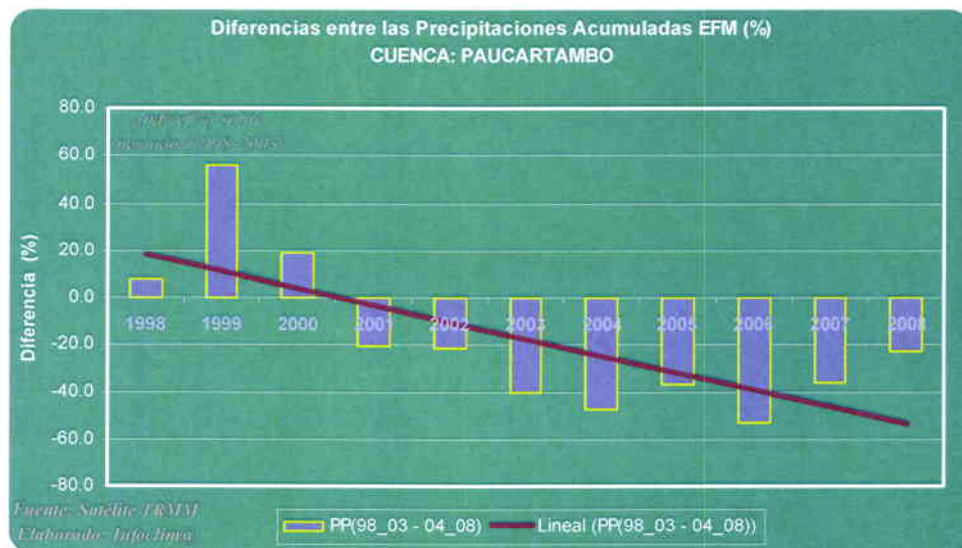


Fig. 3.8 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Paucartambo. TRMM

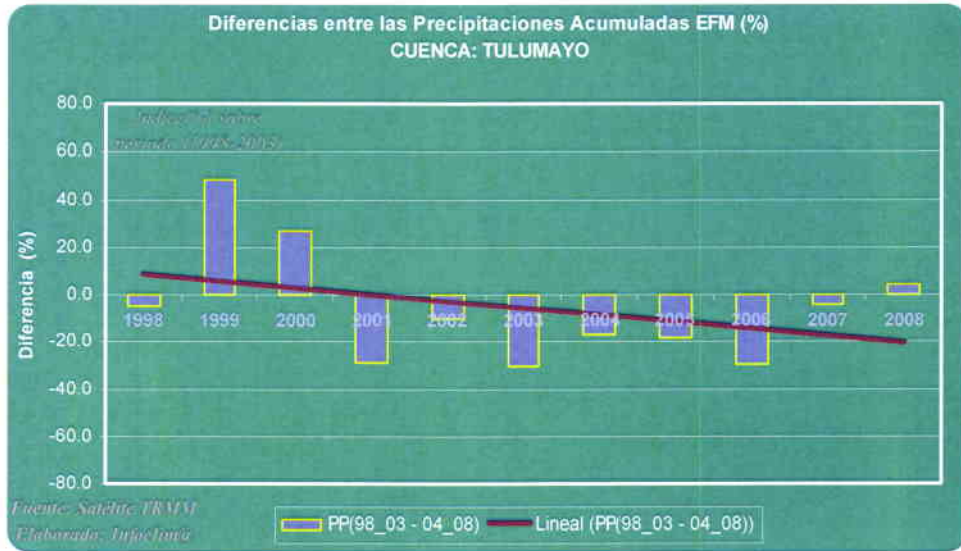


Fig. 3.9 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Tulumayo. TRMM

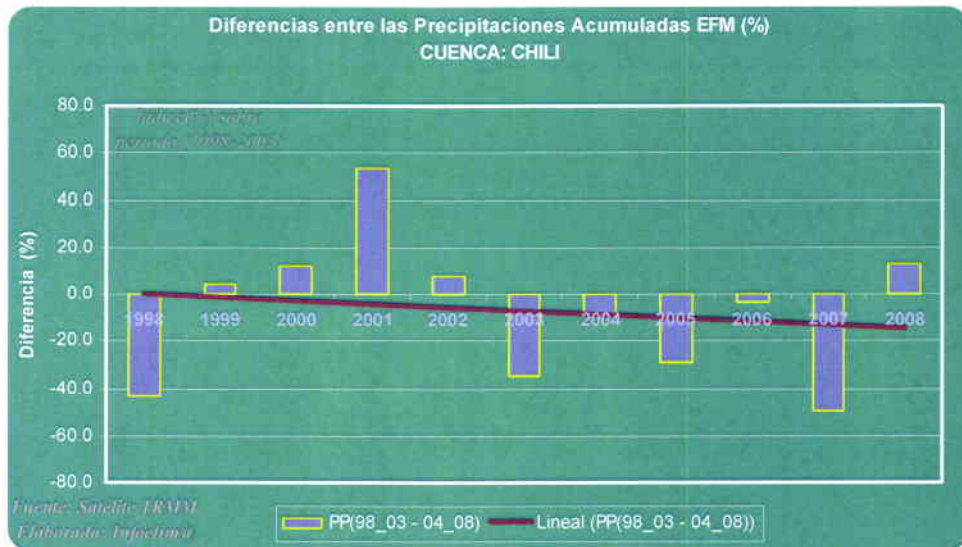


Fig. 3.10 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Chili. TRMM

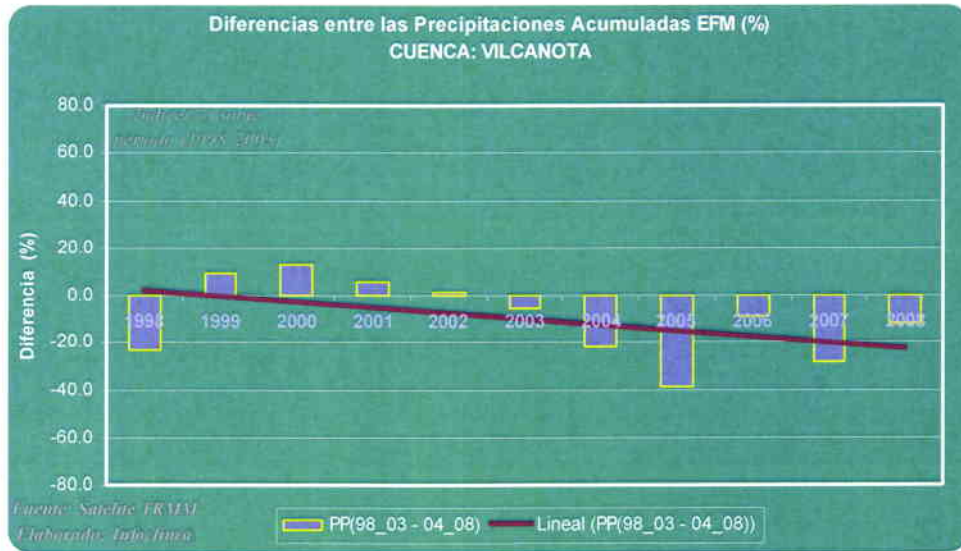


Fig. 3.11 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Vilcanota. TRMM

3.4 Cambios Temporales de la Precipitación. Proyecto "50YR"

La Figura 3.12 muestra los cambios de precipitación estimados en base al proyecto "50YR" para los meses de Enero, Febrero y Marzo entre 1978-2007, respecto al periodo Base 1948-1977.

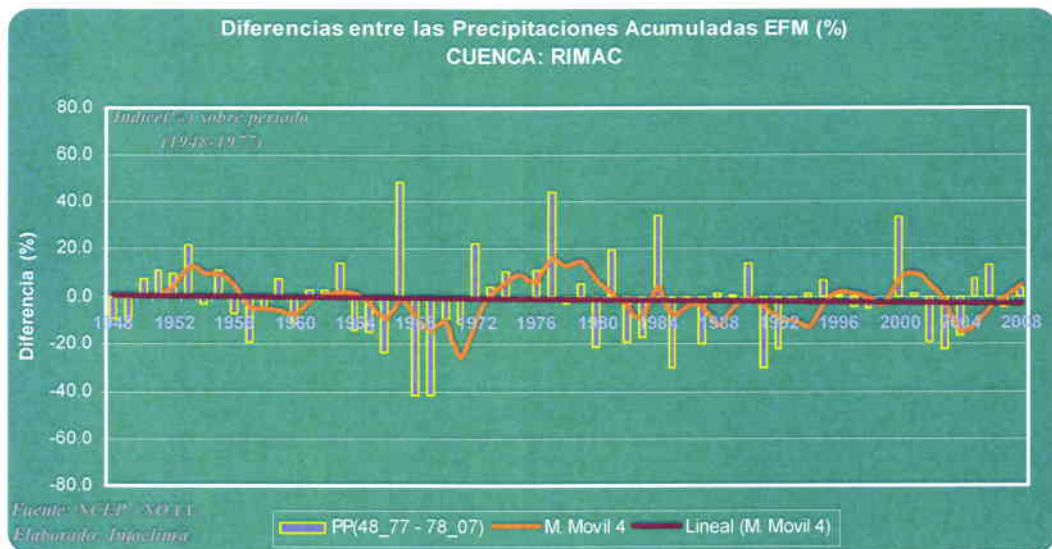


Fig. 3.12 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Rímac. "50YR"

La característica más notable corresponde a la disminución de precipitación ocurrida a partir del año 1976, fenómeno que también se manifiesta en

otros aspectos del clima mundial y que no es coincidencia que ocurra simultáneamente con el cambio de fase en la PDO (ver Fig. 3.1). Es posible demostrar mediante análisis más profundos la existencia de una conexión atmosférica entre la PDO y la precipitación en la sierra de Perú. En otras palabras, el régimen de lluvias en la sierra de Perú tiene variaciones cíclicas en escalas de tiempo de décadas.

En las Figuras 3.13 a 3.16 se muestran los correspondientes cambios de precipitación en las principales cuencas de generación hidroeléctrica de Perú. Los cambios son similares a los observados en la Fig. 3.12 para el Rímac. Sin embargo para las cuencas Vilcanota y Chili, ellos son mucho más significativos.

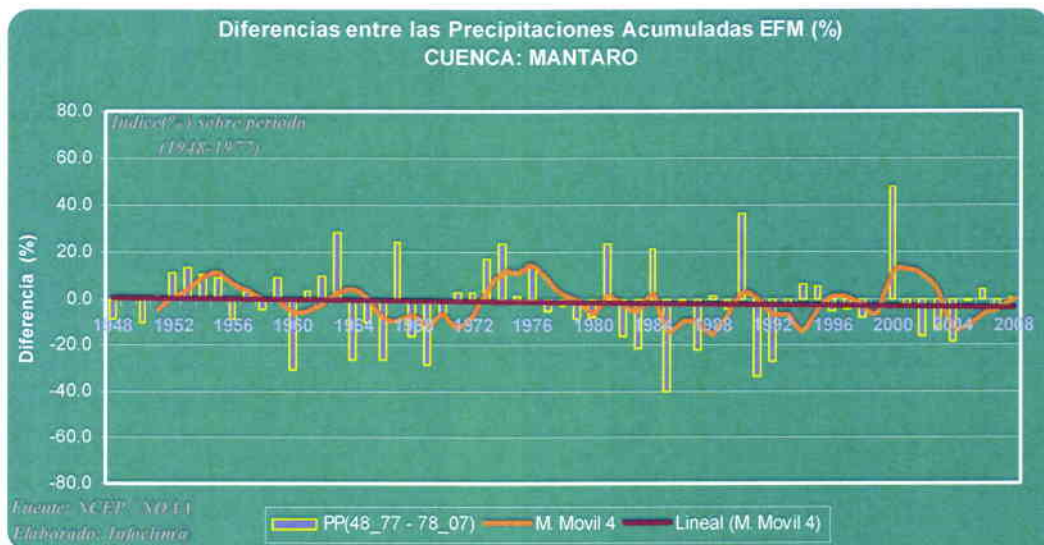


Fig. 3.13 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Mantaro. "50YR"

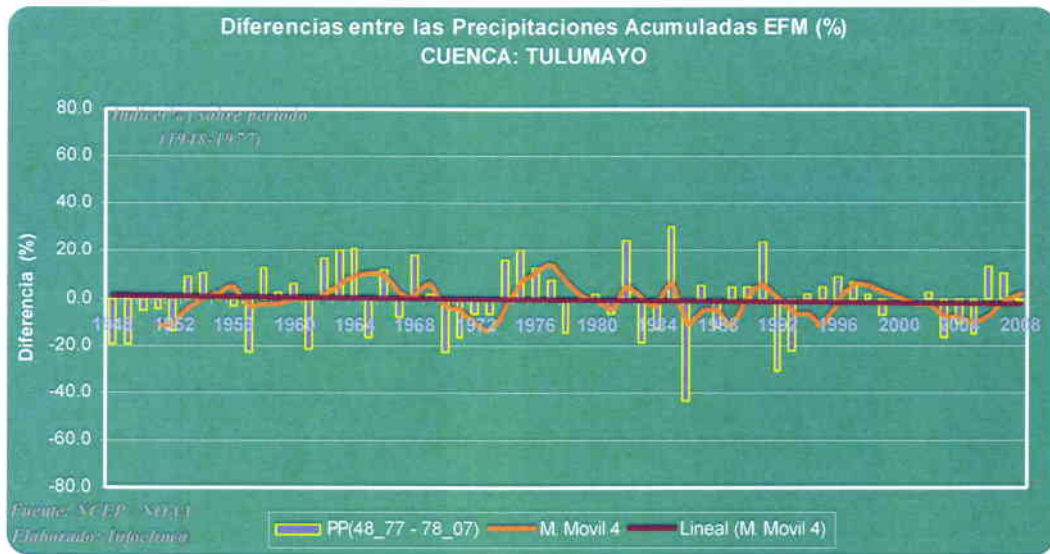


Fig. 3.14 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Tulumayo. "50YR"

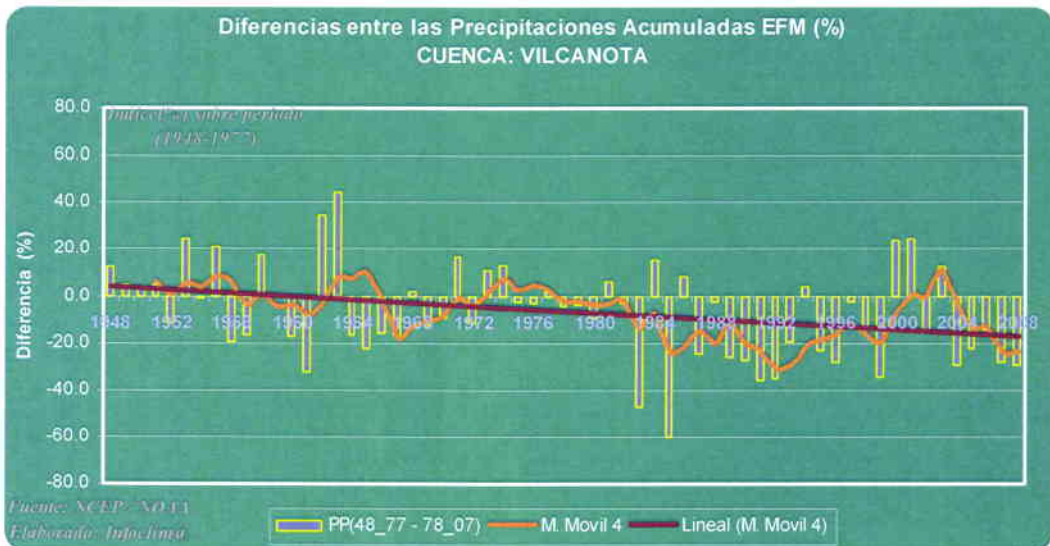


Fig. 3.15 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Vilcanota. "50YR"

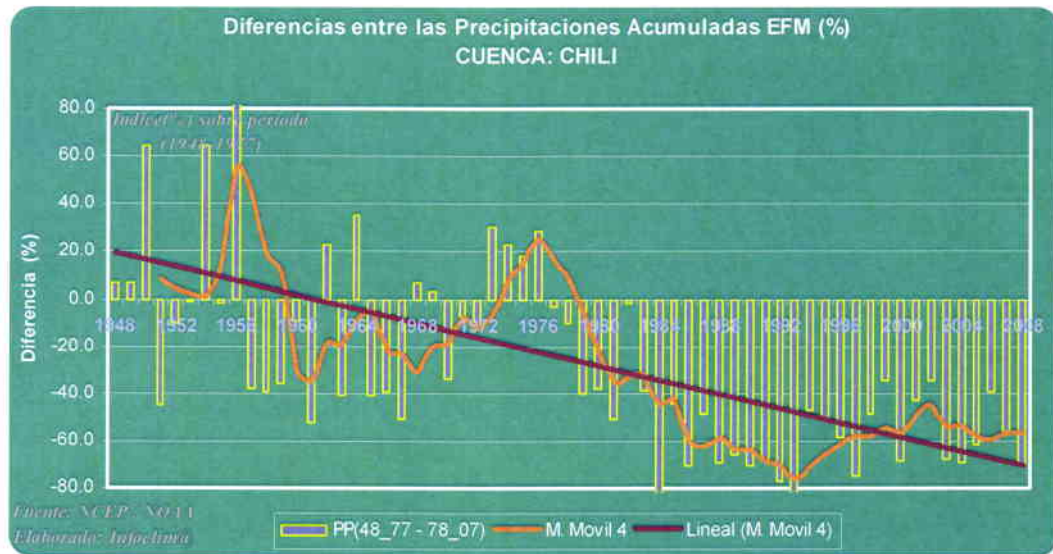
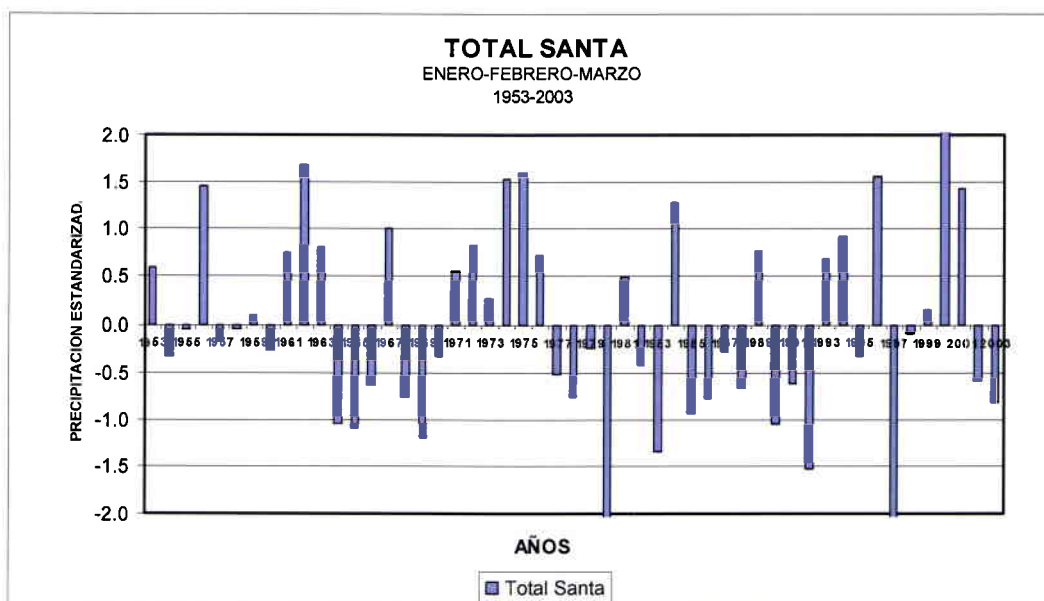


Fig. 3.16 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Chili. "50YR"

3.5 Tendencias de la Precipitación: Observaciones

Seria ideal contar con observaciones de precipitación en todas las cuencas de interés para el presente estudio; sin embargo solo se dispone de datos de algunas estaciones en algunas de las cuencas, las cuales presentaremos a continuación. La Figura 3.17 muestra la evolución temporal de la precipitación total estandarizada sobre la cuenca del río Santa.



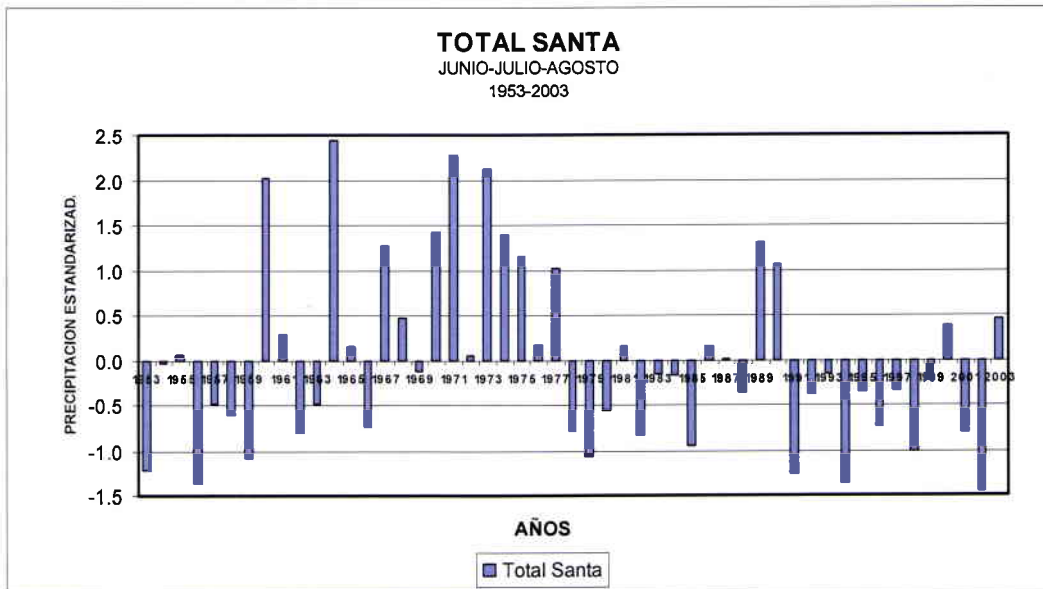
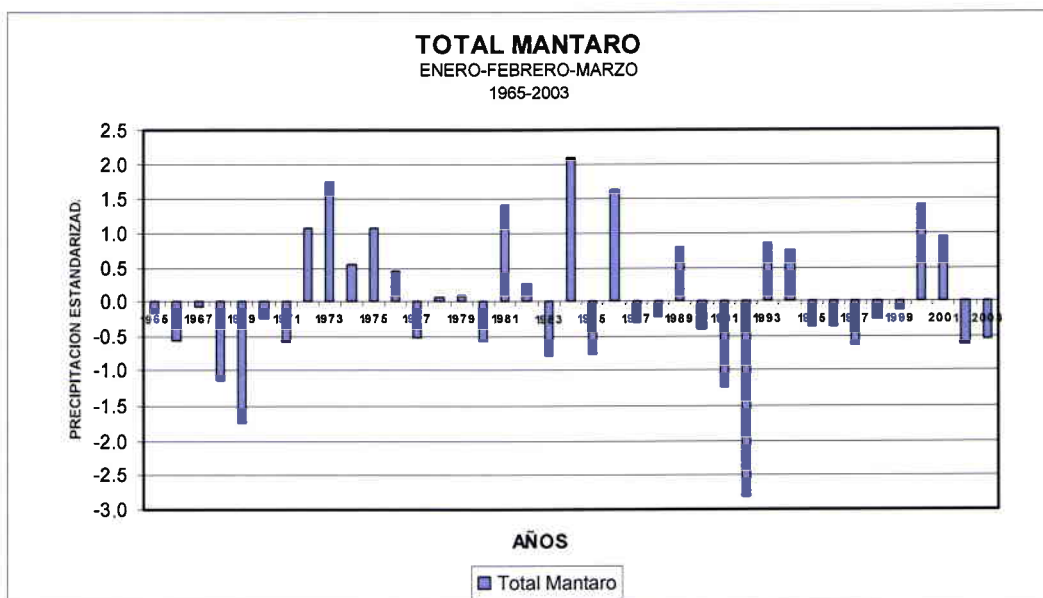


Fig. 3.17 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Santa.

Nuevamente la característica más saltante es el cambio dramático de la precipitación ocurrido alrededor de 1976 con lluvias reducidas principalmente en la parte final de la serie. Cambios similares pueden apreciarse en otras cuencas importantes tales como Mantaro (Fig. 3.18) y Vilcanota (Fig. 3.19)



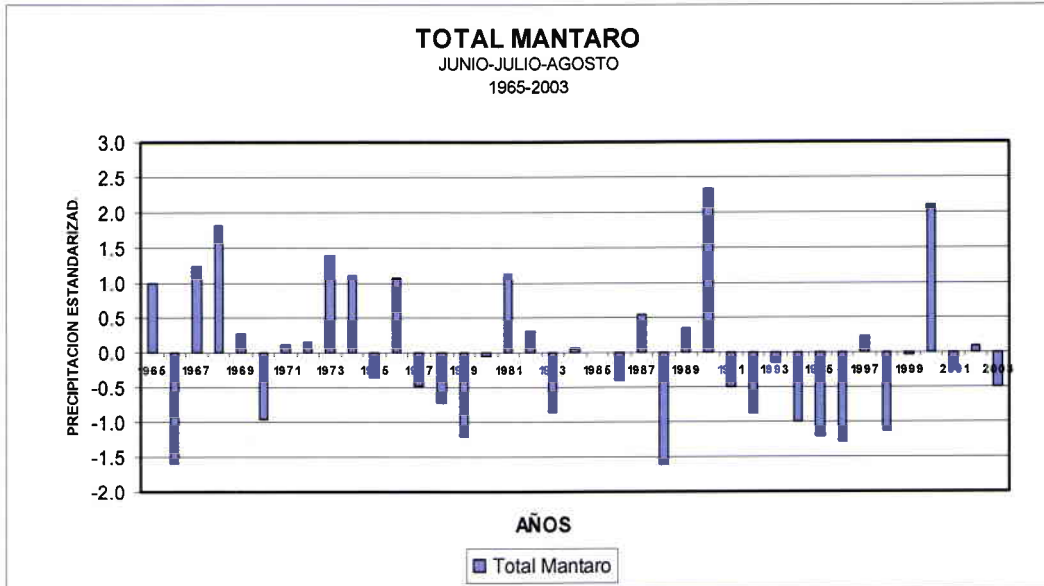
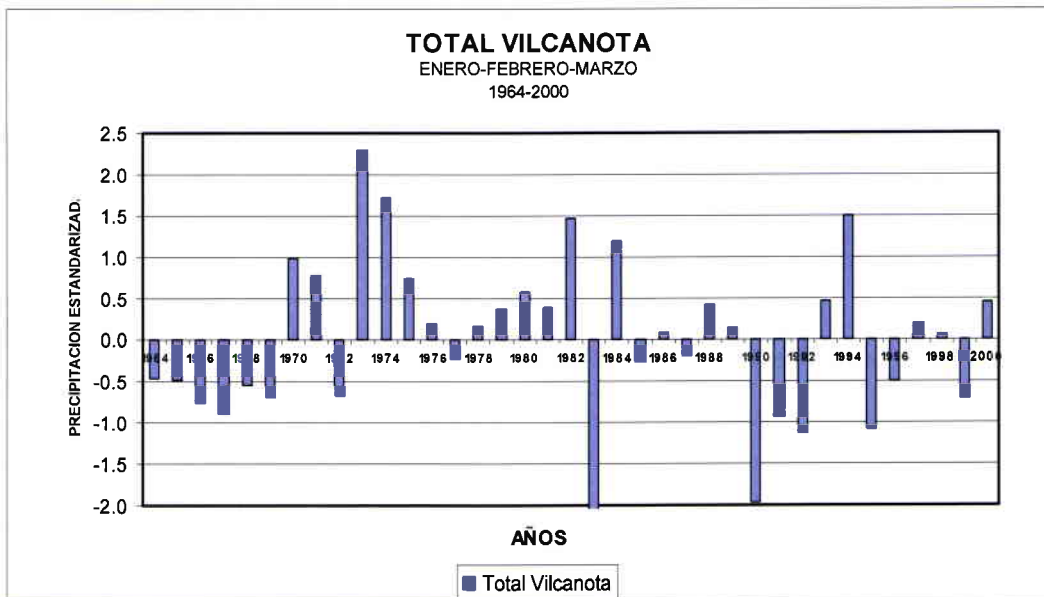


Fig. 3.18 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Mantaro.



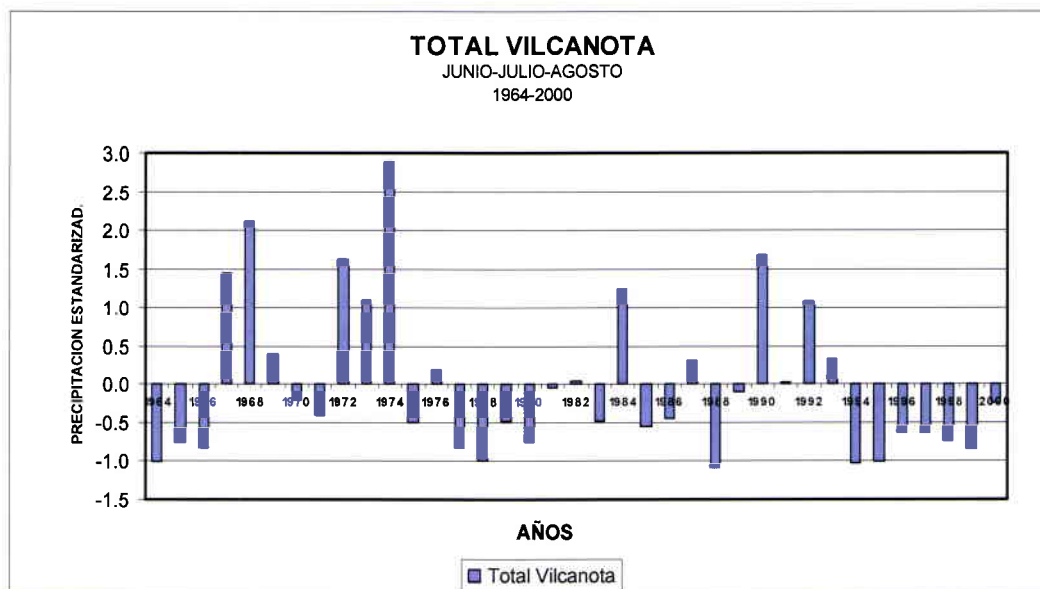


Fig. 3.19 Cambios Temporales de Precipitación. Cuenca Vilcanota.

3.6 Cambios Glaciares

Toda la argumentación de este estudio no es otra cosa que mostrar el vínculo que el Cambio Climático ha establecido con la modificación de los estándares de disponibilidad de recursos hídricos para la generación hidroeléctrica nacional.

El calentamiento global ha sido reconocido como una realidad científica por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC). Este calentamiento genera cambios diferenciados en el clima en todo el planeta, los mismos que se observan en las principales variables climáticas y afectan a la atmósfera e hidrosfera en lo fundamental.

El IPCC encontró que Perú es uno de los 3 países más vulnerables al cambio climático por ser poseedor del 75% de los glaciares tropicales; gran parte de los cuales está en franca desaparición.

No admite mayores dudas un estudio de la relación de las precipitaciones observadas en Marcapomacocha en la cuenca alta del río Yauli y el volumen de agua almacenada en las Lagunas del Sistema Marca I y III entre 1997 y el 2008. Es claro (ver Fig. 3.20) que menos lluvia se requiere de modo progresivo para almacenar la misma cantidad de agua en las lagunas. Los glaciares simplemente no recongelan o lo hacen decrecientemente año a año.

Millones de Metros Cúbicos Almacenados en Marca I y III y Milímetros de Lluvia Observados entre Enero y Marzo			
AÑO	MMC	mm	Promedio
1997	38.3	871.3	22.74
1998	43.5	811.1	18.65
1999	55.0	974.5	17.73
2000	97.9	1243.3	12.70
2001	76.9	981.9	12.76
2002	48.5	758.8	15.64
2003	63.3	825.4	13.04
2004	38.4	383.2	9.97
2005	54.0	350.5	6.49
2006	56.5	474.9	8.41
2007	66.3	465.5	7.02
2008	61.3	432.4	7.05

Fig. 3.20 Pérdida de Congelamiento en Marcapomacocha

En el presente estudio se presentan evidencias de que alrededor del inicio de la década de los años 90 se han presentado cambios en las masas anuales de caudales en las principales cuencas de generación hidroeléctrica nacional. En la presente sección se discutirán los principales soportes físico-matemáticos a este respecto.

Más adelante en este estudio se concluirá que existen algunas cuencas en las que el salto climático que ocurre alrededor de 1992 es significativo. Subrayamos el hecho de que solo en algunas y no en todas las cuencas del país ocurre el Cambio Climático significativo. No obstante ello, en poco tiempo se alcanzaría la significancia estadística en virtud de que el calentamiento en la región NIÑO 4 tiene una importante correlación inversa con la precipitación en la región andina (INFOCLIMA EOF-2).

En las Figuras 3.21 y 3.22 se muestran las series de tiempo de las descargas de la cuenca del río Mantaro para la época de lluvias y de estiaje respectivamente. Puede apreciarse que aproximadamente en el periodo 1980-1987, se presentó un aumento casi continuo de los caudales para posteriormente entre 1987 y 1992 observarse una disminución muy rápida. A pesar que estamos mostrando en el presente estudio solo la serie de tiempo del Mantaro, las mismas características pueden notarse en la mayoría de las cuencas. Lo mismo puede decirse del caudal total obtenido sumando las descargas de todas las cuencas.

El año 1976 fue un año de cambio de estado asociado a la PDO. Podríamos entonces preguntarnos sobre la razón por la cual recién en 1980 se presenta el incremento de descargas. La respuesta está en la Figura 3.23, en la que se aprecia los valores de la temperatura a unos 5,000 msnm (500 hPa) sobre un sector que comprende el grueso del parque Glaciar peruano (Long: 77.7W - 76.7W, Lat: 8.5S - 9.7S). Allí se aprecia que si bien en 1976 comienza a aumentar la temperatura en las cotas correspondientes al pie de los glaciares; recién aproximadamente en 1980 se podrían haber alcanzado temperaturas del aire suficientemente elevadas en la región Andina para que se produzcan cambios notables en las componentes de nieve de las descargas. Ello al saltar en ese lapso más de 1°C la temperatura media en las cotas al pie de los glaciares para el mes de Febrero.

El siguiente hecho importante que debemos tratar de explicar es la disminución brusca de la descarga a partir de 1987. Nosotros proponemos la siguiente hipótesis: Desde 1980 hasta 1987 con altas temperaturas en los glaciares, el área de nieve debe haber disminuido significativamente.

En la literatura científica existen varios artículos que soportan la hipótesis de que en el periodo indicado ocurrió la disminución sugerida. Por ejemplo la Tabla 3.1 cuantifica la disminución de área de nieve en los nevados del Santa (Mark y Seltzer, 2005).

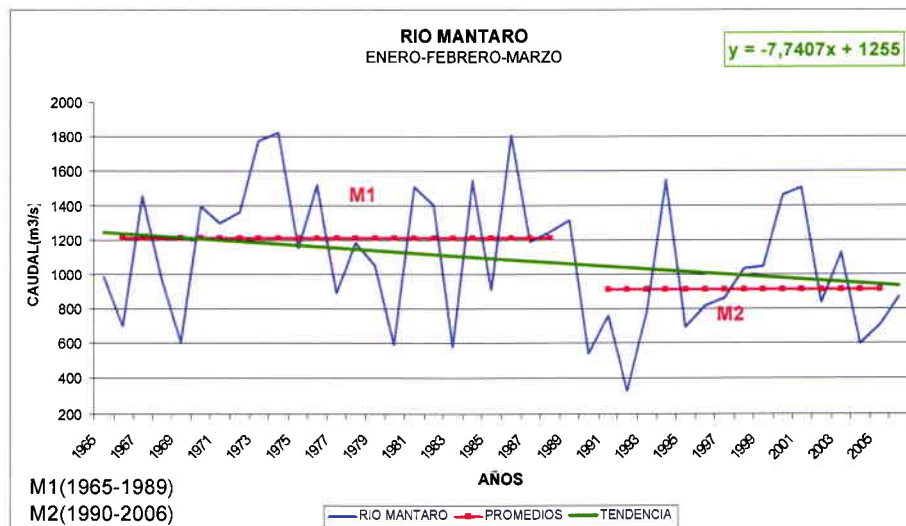


Fig. 3.21 Río Mantaro Caudales Enero-Febrero-Marzo

000639

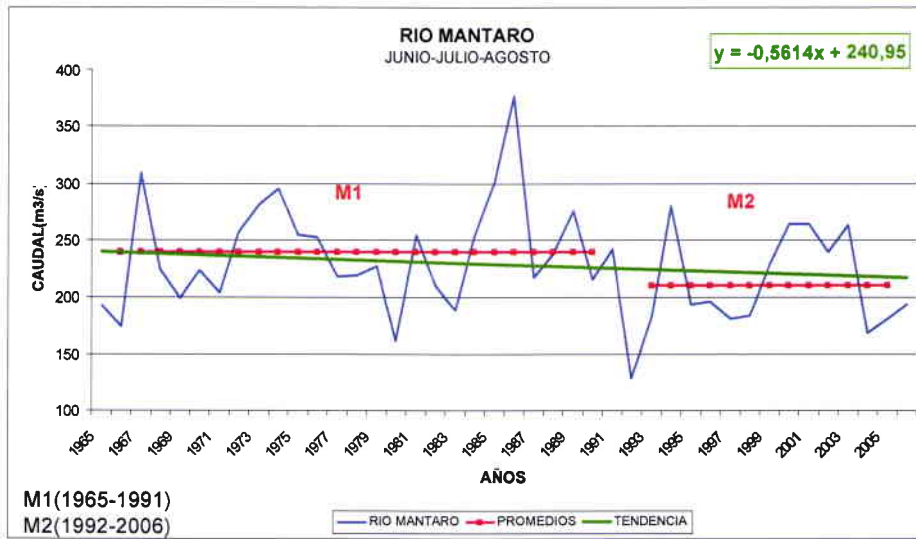


Fig. 3.22 Río Mantaro Caudales Junio-Julio-Agosto

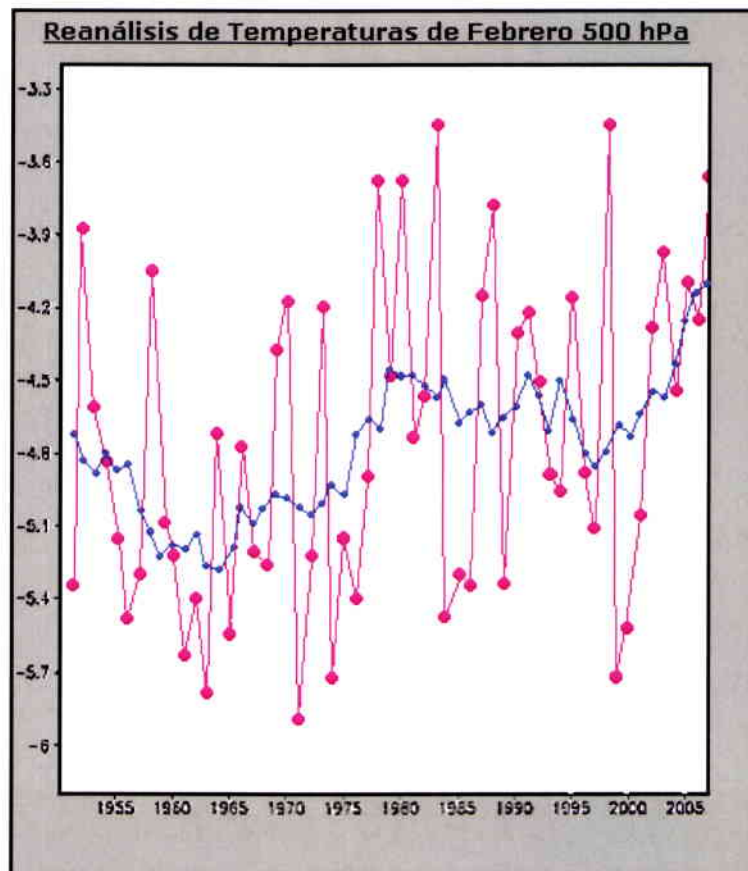


Fig. 3.23 Temperatura a nivel de 500 h-Pa (Aprox. 5,000 msnm.)

Glaciar	Orientación	Área 1962*	Área 1999*	Cambio*	Cambio %
Qeshque	Sur Oeste	2,666	1,728	938	35
Qeshque Este	Este	509	305	204	32
Mururaju	Sur	1,305	852	453	35

*Área en 1000 Mt²

TABLA 3.1 Disminución Área Glacial Cuenca Santa

En conclusión la disminución del área de nieve debido a la presencia de temperaturas del aire más altas durante los años 1980-1987 explicaría la disminución de los caudales a partir de finales de la década de los 80, lo cual justificaría el cambio de estado que estadísticamente se ha probado que existe significativamente en algunas de las principales cuencas de generación hidroeléctrica de Perú.

3.7 La Deforestación Amazónica

El Cambio Climático tiene una probabilidad mayor al 90% de ser antropogénico según las conclusiones del IV informe multianual de Cambio Climático del IPCC emitido en el año 2007.

INFOCLIMA elaboró un estudio en el año 2005 que buscaba profundizar sobre los impactos que la Deforestación Amazónica tendría en el cambio del régimen de lluvias Sudamericano. Para ello se elaboró una matriz o grilla de 2.5° por 2.5° de Latitud/Longitud sobre el área continental sudamericana con el íntegro de la data de OLR o radiación de onda larga cuya correlación con el contenido húmedo de las nubes de precipitación es intrínseca. A mayor radiación de la superficie; habría menos nubosidad y consecuentemente menos lluvias.

Dado que la data de OLR satelital se empezó a recolectar en Junio de 1974 con satélites en órbita; el estudio completó la data a Septiembre del 2005 y separó para un análisis ulterior la magnitud de los valores medios de OLR en cada sector de la grilla en tres lapsos de tiempo que corresponden al tercio inicial, al central y al final en el que se puede dividir al espacio de tiempo que corre desde Junio de 1974 hasta Septiembre del 2005.

Los resultados fueron espectaculares al haberse observado valores positivos o menos lluvias, al restar el más reciente tercio -aquel que finalizó en Septiembre del 2005- de aquel que si inició en Junio de 1974, en todas las área continentales y tropicales que han sido deforestadas. Valores próximos a cero o lluvias constantes se observan en áreas donde aun existe bosque tropical en medio de un entorno deforestado y valores negativos o más lluvias se han observado en el tercio más reciente a nivel ecuatorial. Destacan, para darle mucha coherencia al estudio, que las áreas más lluviosas están en la costa norte del Perú y la ecuatoriana tras las

extraordinarias lluvias de 1997 al 2001 con los sendos extremos eventos de El Niño y La Niña entonces registrados.

La causa detrás de la pérdida de lluvia en latitudes más altas corresponde al hecho de que menos selva trae menos hojas y ello a su vez reducida evapotranspiración.

Parte de la lluvia en el Perú es aportada por la humedad de la Amazonía en sus procesos biológicos. Si se sustituye un árbol frondoso con los miles de centímetros cuadrados de hojas con superficie pasible de evapotranspirar, por cultivos como la soya u otros de escasa superficie de hojas, es claro que ello resta un aporte húmedo a la atmósfera como el que refiere cualquier proceso de desertificación.

Las Figuras 3.24 y 3.25 muestran respectivamente los resultados del estudio de INFOCLIMA del año 2005 como la actualización del mismo estudio pero sobre la base de la comparación de toda la secuencia de OLR hasta el año 2007 inclusive. En este último caso se ha corrido un punto decimal la data para fines de claridad gráfica.

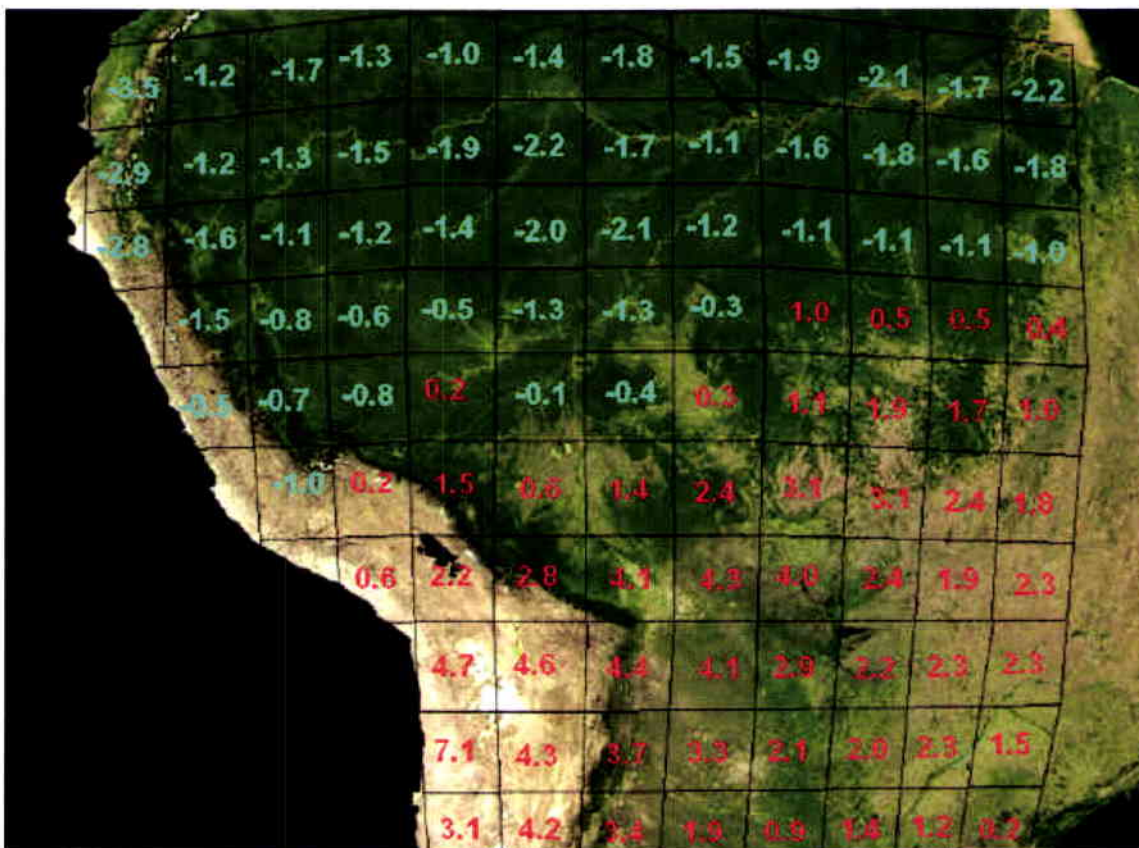


Fig. 3.24

000692

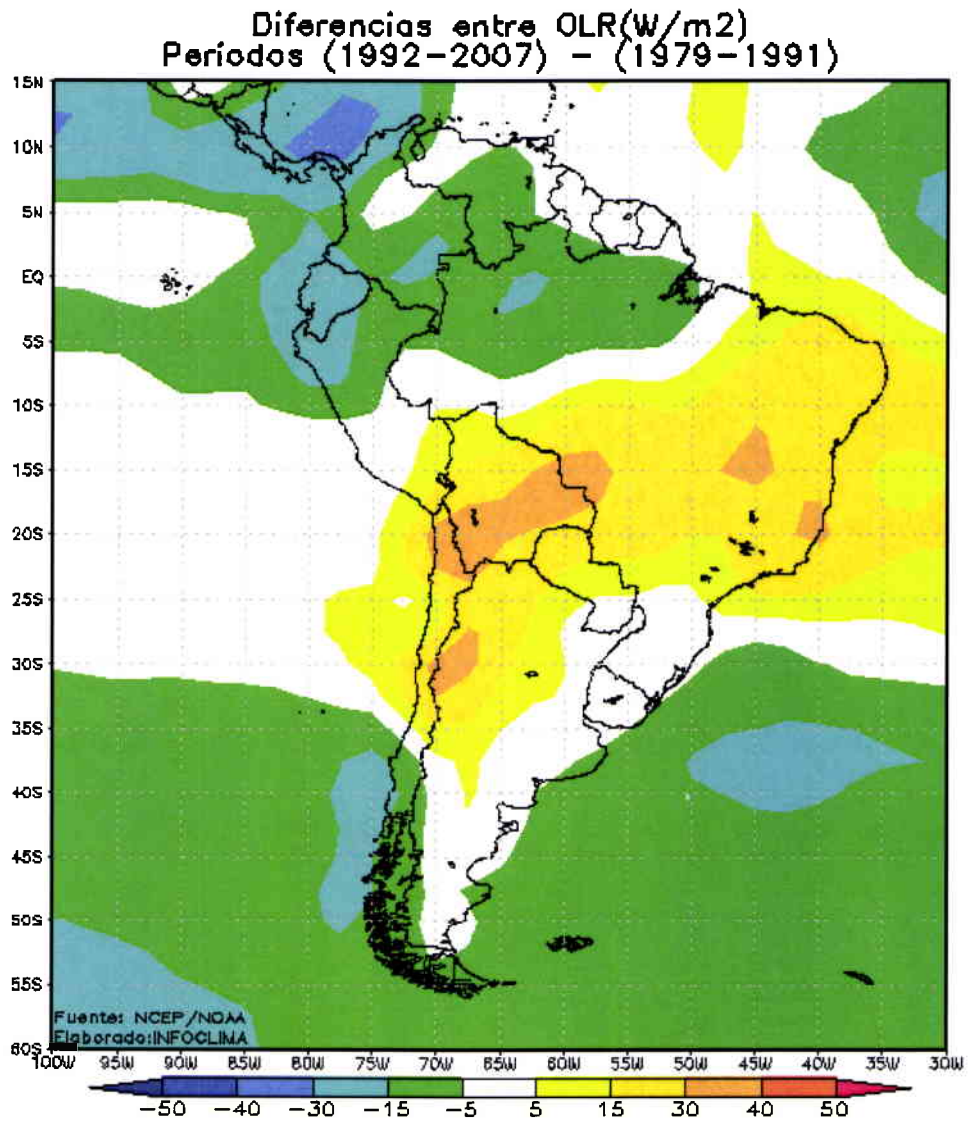


Fig. 3.25

3.8 Proyecciones Para Los Próximos 50 años

Las Naciones Unidas a través del denominado Panel Intergubernamental de Cambio Climático han analizado los cambios que se están produciendo y presumiblemente seguirán dándose en el ámbito global del equilibrio entre la hidrosfera y la atmósfera y su impacto en el clima. Adicionalmente han organizado un grupo de instituciones técnico-científicas que están procesando sofisticados modelos climáticos para tratar de determinar posibles escenarios asociados. Una de las instituciones con mayor credibilidad en el modelamiento climático en el IPCC es el Instituto Max Planck de Alemania. Hemos considerado adecuado ensayar algunas soluciones a los cambios en precipitación que secuencialmente comparen las lluvias de 1980 con las de los años 2020 y 2050.

1980 fue un año pobre en lluvias. Los caudales observados en las principales cuencas de Generación Hidroeléctrica muestran una disminución marcada ese año frente al promedio de todos los siguientes hasta el 2007 como se aprecia en la Figura 3.26

	PROMEDIO ANUAL 1980	PROMEDIO ANUAL 1981-2007	1980 Vs. 1981-2007
RIMAC	22.21 Mt3/Seg.	27.43 Mt3/Seg.	-19.05%
SANTA	84.49 Mt3/Seg.	122.50 Mt3/Seg.	-31.03%
MANTARO	116.26 Mt3/Seg.	169.56 Mt3/Seg.	-31.43%
TARMA	18.03 Mt3/Seg.	20.68 Mt3/Seg.	-12.82%
TULUMAYO	72.03 Mt3/Seg.	83.67 Mt3/Seg.	-13.91%
VILCANOTA	117.13 Mt3/Seg.	128.32 Mt3/Seg.	-8.73%
PATIVILCA	29.67 Mt3/Seg.	38.97 Mt3/Seg.	-23.86%
PAUCARTAMBO	32.04 Mt3/Seg.	38.60 Mt3/Seg.	-17.00%
CHANCAY	19.78 Mt3/Seg.	32.90 Mt3/Seg.	-39.89%
JEQUETEPEQUE	7.29 Mt3/Seg.	30.76 Mt3/Seg.	-76.29%
ARICOTA	1.16 Mt3/Seg.	2.00 Mt3/Seg.	-42.12%
TOTAL	520.08 Mt3/Seg.	695.39 Mt3/Seg.	-25.21%

Fig. 3.26 Caudales Naturales Medios Anuales 1980 y Promedio 1981-2007.

Aun así, los escenarios A y B (Figuras 3.27 y 3.28) del modelo ECHAM4, los mismos que define el Instituto Max Planck como Pesimista y Optimista en cuanto a las variables de desarrollo humano que produzcan un forzamiento sobre el cambio climático; en este caso intenso en el escenario A y moderado en el B; muestran que el estado general de las precipitaciones en el centro del país donde se ubica el corazón de la generación hidroeléctrica nacional continuará disminuyendo en ambas alternativas para el 2020 y tendría una leve mejora sobre los bajos valores de 1980 recién para mediados del siglo que hemos iniciado. Los modelos consistentemente

muestran una mejoría en la sierra sur asociada fundamentalmente a un desplazamiento más hacia el sur de la selva del canal de ingreso de los frentes que normalmente ingresan al Perú entre Madre de Dios y Ucayali. Consistentemente con el calentamiento oceánico esperado, las lluvias en la costa norte - más proclives a condiciones regionales del tipo El Niño - tienden a aumentar en todos los modelos y en todos los plazos. En la razón de esto último radica la disminución del régimen de lluvias del centro de la sierra por el efecto compensatorio que mayores flujos húmedos convergentes sobre el norte los hacen divergentes desde el centro.

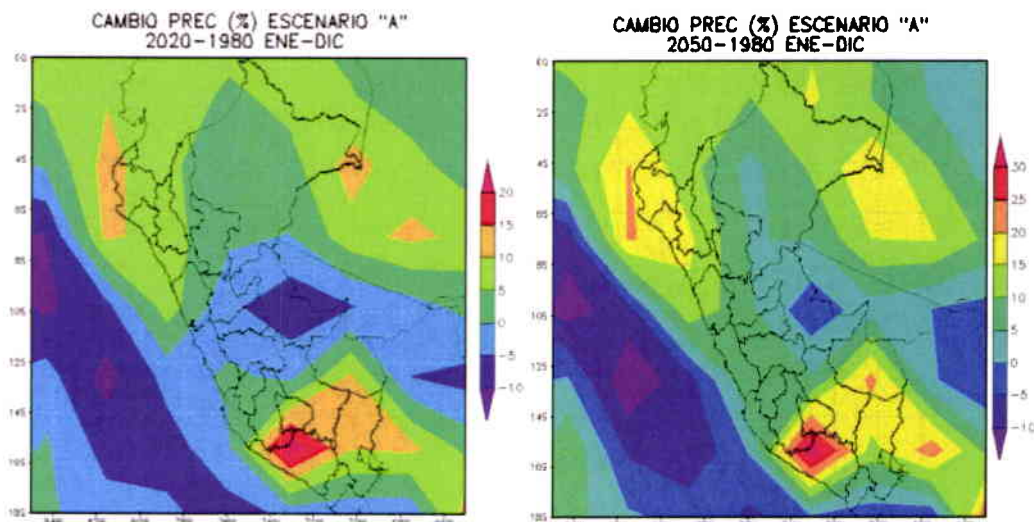


Fig. 3.27 Cambios Espaciales de Precipitación Modelo ECHAM4 entre 1980, 2020 y 2050 en un Escenario Pesimista de Calentamiento Global.

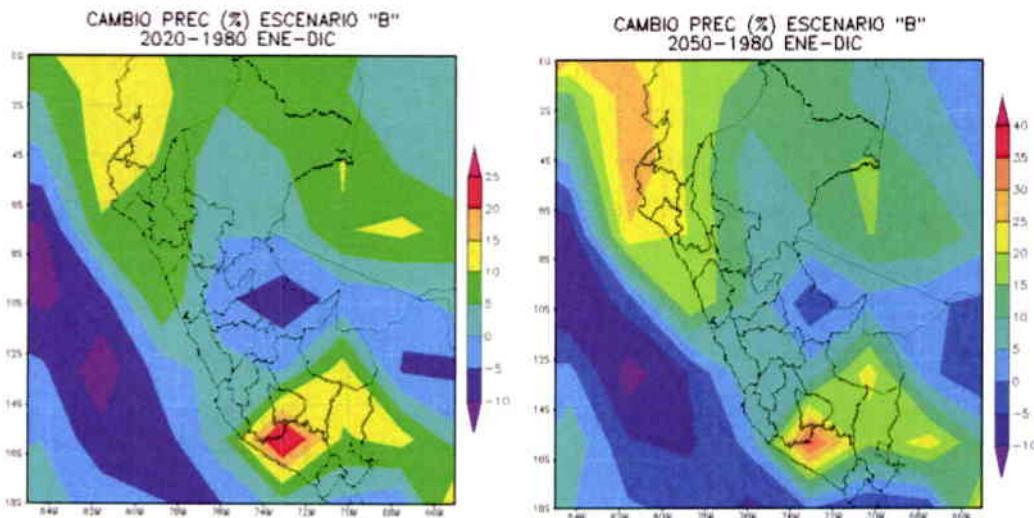


Fig. 3.28 Cambios Espaciales de Precipitación Modelo ECHAM4 entre 1980, 2020 y 2050 en un Escenario Optimista de Calentamiento Global.

IV ANALISIS ESTADISTICO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA HIDROLOGIA DE PERU

Para el análisis del presente estudio, se han utilizado los caudales naturales anuales de 11 cuencas de generación hidroeléctrica donde operan empresas integrantes del COES SINAC. Esta data es recibida periódicamente desde las diferentes empresas generadoras.

Todas las series analizadas cuentan por lo menos con 44 años de datos de caudales naturales; periodo que es razonablemente aceptable para el estudio de cambio de medias de caudales naturales. La disponibilidad de estos datos se muestra en el Cuadro 4.1, la ubicación geográfica de las cuencas se ha presentado en la Figura 4.1.

CUENCAS	PERIDO DE REGISTRO	
RIO RIMAC	1965 a 2008	44 AÑOS
RIO SANTA	1954 a 2008	55 AÑOS
RIO MANTARO	1965 a 2008	44 AÑOS
RIO TARMA	1965 a 2008	44 AÑOS
RIO TULUMAYO	1965 a 2008	44 AÑOS
RIO PAUCARTAMBO	1965 a 2008	44 AÑOS
RIO VILCANOTA	1958 a 2008	49 AÑOS
RIO PATIVILCA	1965 a 2008	44 AÑOS
RIO JEQUETEPEQUE	1936 a 2008	73 AÑOS
RIO CHANCAY	1957 a 2008	52 AÑOS
LAGUNA DE ARICOTA	1965 a 2008	44 AÑOS

Cuadro 4.1



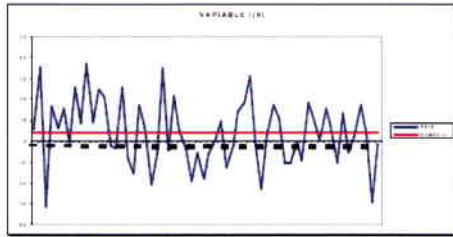
Figura 4.1

4.1 METODOLOGIA

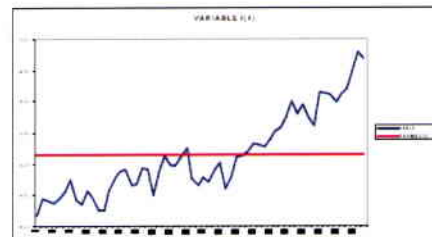
4.1.1 Definición de Periodos Húmedos y Secos

Sobre la prueba de cambio de caudales (saltos climáticos), se analizará la homogeneidad y la existencia de tendencias en las series de caudales para las diferentes cuencas que son de interés del COES SINAC.

Como primer paso se requiere que las series sean de carácter estacionario. Esto lo establece el hecho de tener tanto una media como una varianza constantes. El siguiente conjunto gráfico lo ejemplifica.



Serie Estacionaria



Serie No Estacionaria

Las series de caudales muestran un elevado comportamiento estacional como es comúnmente conocido. Ergo, se toma como niveles representativos de escorrentía individualmente a las épocas de lluvia y de estiaje para un adecuado análisis de cambio. De esta manera filtramos la señal estacional de los datos.

En la época de lluvias, se tomó los meses de enero, febrero y marzo como meses más representativos, dado que los caudales mensuales de las diferentes cuencas presentan sus máximos niveles de escorrentía entre esos meses. Operativamente, se suman los caudales naturales de los tres meses para cada uno de los años de todas las series disponibles. Para la época de estiaje se efectúa el mismo procedimiento, pero se toma como meses más representativos a junio, julio y agosto donde los caudales mensuales de las distintas cuencas presentan sus mínimos niveles de escorrentía.

La siguiente secuencia muestra este procedimiento antes descrito

	EPOCA DE LLUVIAS			Suma: Enero+Febrero+Marzo
	Enero	Febrero	Marzo	
1954	239.4	133.6	200.7	573.6
1955	100.2	280.4	304.3	685.0
1956	103.0	193.3	204.6	500.9
.
.
.
.
2005	151.2	155.3	248.7	555.2
2006	76.4	110.7	84.5	271.6
2007	103.3	110.7	157.9	371.9
2008	86.1	130.2	238.0	454.3

Una vez obtenidas las series de caudales totalizadas de las estaciones, tanto para la época de lluvias como para la de estiaje; competirá se proceda a realizar las pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas disponibles. Ello; con el propósito de probar y determinar cambios en las propiedades estadísticas de las series de tiempo de los caudales naturales. Ciertamente se trata de detectar la falta de homogeneidad y las tendencias como señales para un posible cambio en las medias de caudales naturales.

4.1.2 Pruebas Estadísticas

Prueba de Autocorrelación

Se consideraron las posibilidades de autocorrelación en la determinación de los grados de libertad de las series de caudales (ver anexo 1.0)

Prueba de Cambio de Media (Saltos climáticos)

- **Prueba de Distribución Normal. Método de Kolmogorov – Smirnov**

Para saber si las series de caudales naturales de las diferentes cuencas en estudio tienen una distribución normal se realiza el método de Kolmogorov – Smirnov (ver anexo 1.0).

- **Prueba de Tendencia**

En el análisis de tendencia se aplicó el método de mínimos cuadrados (regresión lineal) a cada una de las series temporales de caudales naturales de las diferentes cuencas en estudio para ambas épocas del año (lluvias y estiaje). Para establecer su significancia estadística se utiliza el método de Mann – Kendall (ver anexo 1.0).

Prueba T - Student

Habiéndose visualizado en las series de tiempo de las descargas algunos cambios aparentemente importantes en los promedios de algunos subperiodos (ver figura 4.2); nos interesará examinar estadísticamente si tales cambios son estadísticamente significativos.

Para escoger los subperiodos M1 y M2 (ver figura 5.1) se analizan visualmente aquellos con un aparente cambio en las medias (salto climático). Las hipótesis o asunciones para poder aplicar el método de T-Student son las siguientes

- En cada grupo la variable estudiada debe seguir una distribución normal.
- La dispersión en ambos grupos debe ser homogénea.

Finalmente, se procede con el cálculo de la prueba "T" - Student (ver anexo 1.0).

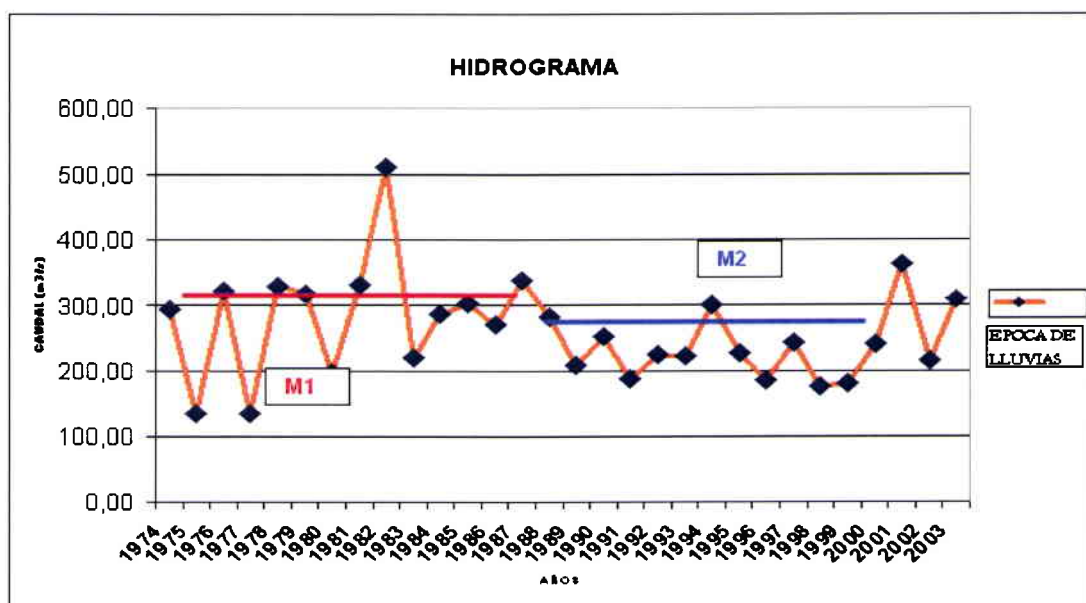


Figura 4.2

4.2 RESULTADOS

Todos los cálculos estadísticos están presentados en el Anexo 1. Sin embargo en este punto presentamos la prueba estadística más relevante para la verificación de los cambios.

Prueba T-Student

Luego del análisis visual para la identificación de los subperiodos M1 y M2 para ambas épocas del año (ver Tabla 4.1 y Anexo 2.0), se determinó la existencia de un posible salto climático aproximadamente entre los años 1988 y 1993 en casi la totalidad de las cuencas.

CUENCAS	LLUVIAS		ESTIAJE	
	SUB PERIODOS		SUB PERIODOS	
	M1	M2	M1	M2
CUENCA DEL RIO CHANCAY	1957-1991	1992-2008	1957-1984	1985-2008
CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE	1936-1977	1978-2008	1936-1977	1978-2008
CUENCA DEL RIO SANTA	1954-1978	1979-2008	1954-1975	1976-2008
CUENCA DEL RIO PATIVILCA	1965-1989	1990-2008	1965-1989	1990-2008
CUENCA DEL RIO RIMAC	1965-1990	1991-2008	1965-1990	1991-2008
CUENCA DEL RIO MANTARO	1965-1989	1990-2008	1965-1991	1992-2008
CUENCA DEL RIO TARMA	1965-1987	1988-2008	1965-1994	1995-2008
CUENCA DEL RIO TULUMAYO	1965-1990	1991-2008	1965-1993	1994-2008
CUENCA DEL RIO PAUCARTAMBO	1965-1989	1990-2008	1965-1991	1992-2008
CUENCA DEL RIO VILCANOTA	1958-1989	1990-2008	1958-1987	1988-2008
LAGUNA DE ARICOTA	1965-1992	1993-2008	1965-1992	1993-2008

Tabla 4.1

Como se aprecia en la Tabla 4.2 y mediante las estadísticas obtenidas con el método T- Student, las cuencas del Jequetepeque, Rímac y Vilcanota, no presentan diferencias estadísticas en las medias de caudales naturales para los subperiodos M1 y M2 en ambas épocas del año. Todo lo contrario se observan en las cuencas del Mantaro y Tarma donde sí se aprecian diferencias estadísticas para los subperiodos en ambas épocas del año. Las diferencias estadísticas, también se dan en las cuencas del Santa, Paucartambo, Tulumayo y en la laguna de Aricota en la época del estiaje, correspondiéndoles a las del Santa y Tulumayo, así como a la laguna de Aricota las de mayor significancia.

En las cuencas de Pativilca y Chancay, se detectaron significancias en las medias de caudales naturales de los subperiodos M1 y M2 en época de lluvias (ver Tabla 4.2); mientras que durante el estiaje resultan siendo homogéneas al ser sus medias de caudales naturales iguales estadísticamente.

PRUEBAS DE CAMBIO DE MEDIAS EN SUB PERIODOS AL 5% (M1 Y M2)

CUENCAS	PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS METODO F FISHER		PRUEBA DE CAMBIO DE MEDIAS (SALTO) METODO T- STUDENT		PRUEBA DE CAMBIO DE MEDIAS (SALTO) METODO T- STUDENT (Tcal / Ttab*100)*	
	LLUVIAS	ESTIAJE	LLUVIAS	ESTIAJE	LLUVIAS	ESTIAJE
CUENCA DEL RIO CHANCAY	1.70	2.63	2.46	0.07	122.6%	3.5%
CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE	2.94	3.49	0.70	1.08	34.6%	53.7%
CUENCA DEL RIO SANTA	2.33	2.05	0.31	5.74	15.4%	282.4%
CUENCA DEL RIO PATIVILCA	1.66	1.98	2.60	0.53	129.1%	26.5%
CUENCA DEL RIO RIMAC	1.18	2.16	0.47	1.75	23.5%	85.2%
CUENCA DEL RIO MANTARO	1.31	1.19	2.83	2.36	140.3%	116.9%
CUENCA DEL RIO TARMA	2.03	2.85	2.22	3.85	109.4%	182.6%
CUENCA DEL RIO TULUMAYO	2.08	1.07	0.79	5.42	38.7%	268.8%
CUENCA DEL RIO PAUCARTAMBO	1.19	1.53	1.11	2.35	54.9%	116.6%
CUENCA DEL RIO VILCANOTA	0.91	2.10	1.11	0.73	55.2%	35.9%
LAGUNA DE ARICOTA	1.31	5.07	1.09	5.56	54.0%	264.8%

* Tcal = Valor calculado de T Student
Ttab = Valor Teórico de Tabla

Estadísticas obtenidas de las Pruebas F de Fisher y T-Student para los subperiodos M1 y M2.

Nota: Rojo (Azul) indican significancia 5% (no significancia).

Tabla 4.2

Al realizar el mismo procedimiento de T- Student cambiando el nivel de significancia a 10% (ver Tabla 4.3), se observa un incremento en el porcentaje de significancia y en algunos casos la refuerza. Es así que se tiene cambio en la significancia en la cuenca del río Rímac (en la época de estiaje).

PRUEBAS DE CAMBIO DE MEDIAS EN SUB PERIODOS AL 10% (M1 Y M2)

CUENCAS	PRUEBA DE CAMBIO DE MEDIAS (SALTO) METODO T- STUDENT		PRUEBA DE CAMBIO DE MEDIAS (SALTO) METODO T- STUDENT (Tcal / Ttab*100)*	
	LLUVIAS	ESTIAJE	LLUVIAS	ESTIAJE
CUENCA DEL RIO CHANCAY	2.46	0.07	146.9%	4.2%
CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE	0.70	1.08	41.5%	64.4%
CUENCA DEL RIO SANTA	0.31	5.74	18.4%	339.4%
CUENCA DEL RIO PATIVILCA	2.60	0.53	154.9%	31.7%
CUENCA DEL RIO RIMAC	0.47	1.75	28.2%	102.6%
CUENCA DEL RIO MANTARO	2.83	2.36	168.3%	140.3%
CUENCA DEL RIO TARMA	2.22	3.85	131.4%	221.4%
CUENCA DEL RIO TULUMAYO	0.79	5.42	46.6%	322.4%
CUENCA DEL RIO PAUCARTAMBO	1.11	2.35	65.9%	139.9%
CUENCA DEL RIO VILCANOTA	1.11	0.73	66.2%	43.2%
LAGUNA DE ARICOTA	1.09	5.56	64.7%	320.9%

* Tcal = Valor calculado de T Student

Ttab = Valor Teórico de Tabla

Estadísticas obtenidas de la Prueba T-Student para los subperiodos M1 y M2.

Nota: Rojo (Azul) indican significancia (no significancia) al 10%.

Tabla 4.3

Los niveles de significancia comúnmente empleados son de 10% y 5%. En casos que se quisiera poner una restricción muy fuerte, se ha añadido un test con un nivel de significancia de 2% (ver Tabla 4.4).

PRUEBAS DE CAMBIO DE MEDIAS EN SUB PERIODOS AL 2% (M1 Y M2)

CUENCAS	PRUEBA DE CAMBIO DE MEDIAS (SALTO) METODO T- STUDENT		PRUEBA DE CAMBIO DE MEDIAS (SALTO) METODO T- STUDENT (Tcal / Ttab*100)*	
	LLUVIAS	ESTIAJE	LLUVIAS	ESTIAJE
CUENCA DEL RIO CHANCAY	2.46	0.07	102.5%	2.9%
CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE	0.70	1.08	28.9%	44.8%
CUENCA DEL RIO SANTA	0.31	5.74	12.9%	235.1%
CUENCA DEL RIO PATIVILCA	2.60	0.53	107.7%	22.1%
CUENCA DEL RIO RIMAC	0.47	1.75	19.6%	70.7%
CUENCA DEL RIO MANTARO	2.83	2.36	117.1%	97.6%
CUENCA DEL RIO TARMA	2.22	3.85	91.1%	150.1%
CUENCA DEL RIO TULUMAYO	0.79	5.42	32.1%	224.3%
CUENCA DEL RIO PAUCARTAMBO	1.11	2.35	45.8%	97.3%
CUENCA DEL RIO VILCANOTA	1.11	0.73	46.1%	29.9%
LAGUNA DE ARICOTA	1.09	5.56	45.0%	218.0%

* Tcal = Valor calculado de T Student
Ttab = Valor Teórico de Tabla

Estadísticas obtenidas de la Prueba T-Student para los subperiodos M1 y M2.

Nota: Rojo (Azul) indican significancia (no significancia) al 10%.

Tabla 4.4

Para el periodo de estiaje los saltos en Aricota, Santa, Tarma y Tulumayo son significativos a 5% y 2%. Paucartambo y el Mantaro son significativos a 5% y están muy cerca de serlos a 2%.

Los saltos en Mantaro y Paucartambo no son significativos al 2% en la época de estiaje. Sin embargo están muy cerca de serlo. En nuestra opinión con los acelerados cambios climáticos que están ocurriendo a nivel mundial, en pocos años los saltos en estas cuencas alcanzarán el nivel de significancia en este periodo.

4.3 RESUMEN OBJETIVO DE LOS RESULTADOS

Sobre "Entorno Físico del Cambio Climático en Perú"

Los análisis sobre los cambios en precipitación obtenida a partir de mediciones directas, no son lo completas que hubiéramos querido. Con el número tan pequeño de estaciones de medición y con falta de información en muchos periodos, no ha sido posible el realizar los análisis espaciales y temporales de los cambios de precipitación.

Es allí donde los satélites y formulaciones matemáticas de interpolación han permitido obtener estimaciones que han probado ser de utilidad en el análisis de los cambios en los patrones de lluvias.

Obviamente con los análisis de un periodo tan corto 1997-2008 de operación del satélite TRMM no es posible analizar cambios climáticos de una mayor extensión en el tiempo.

Sin embargo consideramos que la precipitación del satélite TRMM puede funcionar como una especie de extensión de la información más extensa del proyecto "TRMM". Analizando ambas informaciones podemos concluir que la PDO estuvo asociada a cambios observables en las series de precipitación en Perú durante 1976, no solo apreciables en las estimaciones del proyecto "50yr" sino también en las pocas estaciones de medición. Ello nos indica que la PDO no es solo una referencia en los cambios de precipitación en Perú sino que es uno de los factores principales.

Por supuesto que no es la única causa, la otra influencia es el ciclo ENSO. La lluvia dependerá de la acción conjunta de ambas oscilaciones.

Podría pensarse que podríamos estar ad portas de cambio de fase de la PDO hacia una más favorable para las lluvias en Perú, incluso durante los últimos años y actualmente se tienen valores negativos de la PDO. Sin embargo las precipitaciones en las cuencas de Perú durante esos últimos años con el Fenómeno La Niña en acción y la PDO con valores negativos, las precipitaciones en Perú son muchísimo mas pequeñas que las ocurridas en similares condiciones durante por ejemplo 1999.

Eso sugiere que otros factores, tales como la acción antropogénica están alterando los flujos atmosféricos, los que en última instancia son los responsables de la precipitación.

La relación entre la PDO y la precipitación en Perú sugerida en el presente estudio, tiene que ser probada a nivel de los mecanismos físicos responsables de tal relación. Tal estudio ya ha sido realizado por Cornejo (2008) Ver Anexo 6 y será presentado para publicación en una revista científica adecuada.

Sobre Análisis Estadístico.

Con un 10% de nivel confianza:

Las cuencas de los ríos Tarma y Mantaro presentan rupturas de homogeneidad o saltos climáticos en ambas épocas del año.

La cuenca de los ríos Santa, Tulumayo, Paucartambo y Rímac más la Laguna de Aricota presentan ruptura de homogeneidad o salto climático en la época de estiaje.

Las cuencas de los ríos Jequetepeque y Vilcanota no presentan cambios o saltos en sus medias de caudales naturales en ninguna de las épocas del año.

Las cuencas de los ríos Pativilca y Chancay, presentan cambios en las medias solo en época de lluvias.

Las cuencas que presentan significancias son aquellas que contribuyen con la mayoría de la generación hidroeléctrica de todo el sistema.

La mayoría de rupturas o cambios de medias de caudales naturales se presentan entre el periodo 1988-1993, el cual antecede en importancia y sucede en el tiempo al periodo 1975-1979.

La serie total de caudales sólo presenta continuidad sin saltos significativos a partir de 1992.

V OPERACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS HIDROTÉRMICOS. MODELO PERSEO

En la presente sección nos referiremos continuamente al documento Manual Técnico: Metodología del Modelo PERSEO publicado por OSINERG (Camac, Uribe y Ormeño, 2006). En el presente texto indicaremos con letra cursiva aquellos párrafos extraídos de dicha publicación.


En la formulación de PERSEO, encontramos que *"El Despacho Económico de sistemas eléctricos, en general, tiene **como objetivo minimizar el costo total de producción para el sistema, y consecuentemente la menor tarifa de corto plazo para el consumidor.** Determina, entre otros, la magnitud de la generación (potencia y energía) de cada grupo térmico en cada una de las etapas del horizonte de estudio.*

*El costo de producción está compuesto de los **costos de operación de los grupos térmicos** y del **costo de déficit** (falla en el abastecimiento de la demanda)."*

1.2.2 Formulación Matemática del Despacho Térmico

Con respecto a la operación de plantas térmicas, la función objetivo se puede expresar en términos del costo de operación "co_j".

"La formulación típica del despacho económico considera al déficit como una planta adicional de generación térmica con un altísimo costo de operación (costo de falla). En programación lineal, generalmente se usa el siguiente modelo:

	MANUAL TÉCNICO METODOLOGÍA DEL MODELO PERSES	Código : GART-DGT-MT-01
		Revisión : 01
		Fecha : 13 Jul 06
		Página : 6 de 33

$$z = \text{Min} \sum_{j=1}^{N_j} \left[\sum_{t=1}^{N_T} (c_{o,j,t} g_{j,t}) \right]$$

s/ a

$$\sum_{j=1}^{N_j} g_{j,t} = d_t \quad t = 1, \dots, T \quad \pi_d^{cp}$$

$$g_{j,t} \leq \overline{g}_{j,t} \quad j = 1, \dots, N_j \quad t = 1, \dots, T \quad \pi_{g_{j,t}}^{cp}$$

(3.1)

donde:

j índice de las plantas de generación térmica

t índice de las etapas

N_j número de plantas de generación térmica

N_T número de etapas del horizonte de estudio

$c_{o,j,t}$ costo de operación de la j -ésima planta térmica en la etapa t

$g_{j,t}$ generación de la j -ésima planta térmica en la etapa t

$\overline{g}_{j,t}$ capacidad disponible de generación de la j -ésima planta térmica en la etapa t

d_t demanda del mercado de energía en la etapa t

Además:

π_d^{cp} multiplicador dual que expresa la *sensibilidad* del costo de producción a la variación de la demanda en la etapa t

$\pi_{g_{j,t}}^{cp}$ multiplicador dual que expresa la *sensibilidad* del costo de producción a la variación de la capacidad disponible de generación de la j -ésima planta térmica.

Estas sensibilidades representan los costos marginales de corto plazo y se usan en la elaboración de estructuras tarifarias de los sistemas eléctricos.

1.3 Operación de Sistemas Hidrotérmicos

La característica más importante en la operación de los sistemas hidrotérmicos lo constituye el manejo de la energía hídrica almacenada en los embalses del sistema, buscando evitar así los gastos de combustible que ocasionaría la generación térmica.

Si bien es cierto que el agua embalsada no tiene un precio directo, la disponibilidad de esta energía gratuita está restringida **por la capacidad de almacenamiento de los embalses y por la incertidumbre de los caudales afluentes al sistema, introduciéndose entonces una dependencia entre la decisión operativa presente y los costos**

operativos futuros. En otras palabras si se utilizan las reservas de agua para evitar costos por generación térmica en la actualidad y en el futuro ocurriese una sequía, podrían ocurrir costos por racionamiento muy elevados. Si por otro lado, se decide almacenar agua incurriendo en un mayor uso de generación térmica en la actualidad y ocurre una afluencia futura elevada, ocurrirán vertimientos en los embalses con el consiguiente desperdicio de energía y ocasionando un aumento de los costos operativos. Esta situación se sintetiza en la figura 1.3.

Como consecuencia para determinar una política de operación confiable es necesario considerar múltiples escenarios de afluencia hidrológica, y considerar como política óptima los valores de operación más probables, es decir el promedio de todos los escenarios hidrológicos que se consideren."

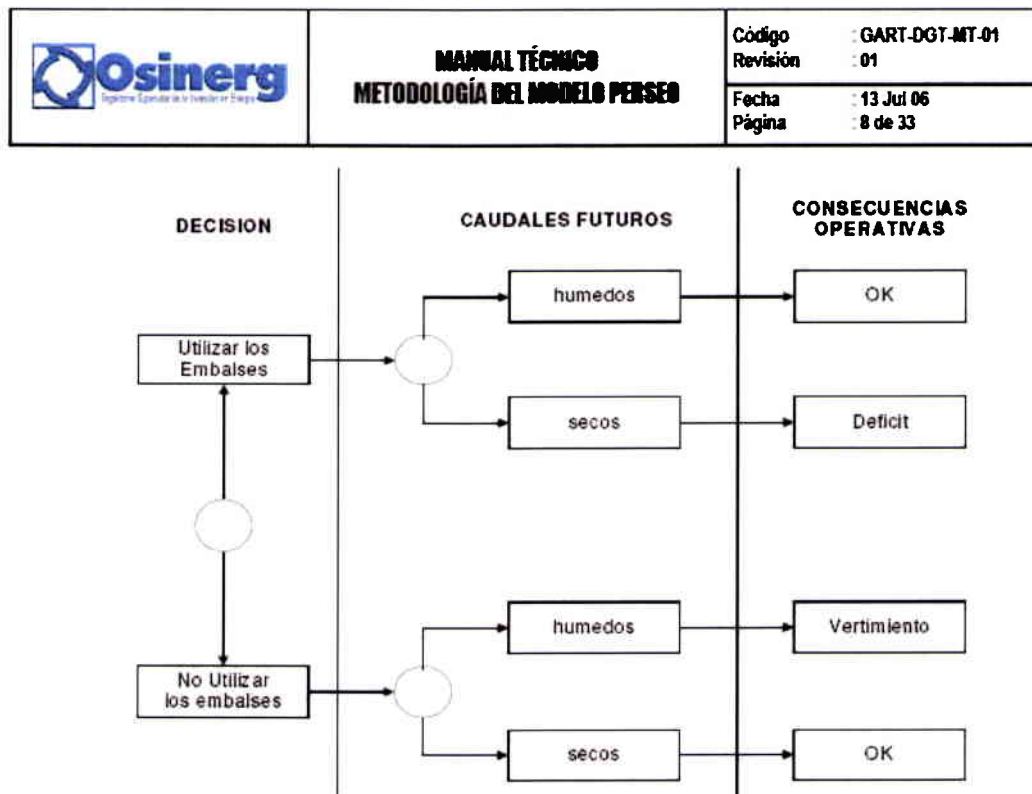


Figura 1.3 Proceso de decisión de Sistemas Hidrotérmicos.

En el contexto de la aplicación del modelo PERSEO en la determinación de tarifas eléctricas, es necesario determinar el rol de la hidrología en el cálculo tarifario. De acuerdo con OSINERGMIN (2008) el referido modelo, "en su lógica de cálculo no efectúa una proyección de la hidrología. Es decir no

*toma como base la totalidad de los datos históricos para proyectar los futuros escenarios hidrológicos. Escoge **aleatoriamente** un tipo de hidrología del pasado para replicarlo en el proceso del cálculo tarifario."*

"Por lo tanto es necesario contar con una serie de caudales lo más larga posible que contenga todas las variaciones históricas que han sufrido estos caudales a lo largo del tiempo con la finalidad de considerar estos efectos en el proceso del cálculo de tarifas. El considerar una serie corta no garantiza una buena representación de las variaciones de los caudales antes indicada."

Nosotros consideramos que si tomamos por ejemplo la serie de tiempo de los caudales del río Tulumayo durante el periodo de estiaje (Fig.7p, Pág. 56) donde se puede apreciar un cambio importante significativo durante 1993. De esta manera se pueden distinguir dos subperiodos, uno, M1, entre 1965 y 1993 con 29 años de duración y otro, entre 1994 y 2007 con 14 años de duración.

Si en el modelo PERSEO se escoge **aleatoriamente** el tipo de hidrología del pasado usando la serie de caudales que incluya el periodo completo desde 1965 y 2007 con una duración de 43 años, entonces la probabilidad de elegir una hidrología del subperiodo M1 es de $29/43=0.67$. Similarmente la probabilidad de elegir una hidrología correspondiente a M2 será de $14/43=0.32$.

En otras palabras usando el periodo completo de 43 años, es dos veces más probable elegir una correspondiente al subperiodo M1 con mayores descargas pero mayormente vigentes entre los 60 y principios de los 90, que escoger una hidrología mas vigente en la actualidad.

VI CONCLUSIONES

Como se observa en la prueba T- Student a 2% de significancia, las cuencas de los ríos Tarma y Mantaro presentan niveles no significantes pero bastante altos, llegando a un 91.1% en época de lluvias y 97.6% en época de estiaje respectivamente. Ello sugiere que en un futuro cercano podrían alcanzar niveles de significancia para ser estadísticamente diferentes. Sin embargo, las diferencias estadísticas ya se dan a un nivel de significancia de 5% para ambas épocas.

La cuenca del río Santa presenta una tendencia decreciente en el estiaje y además ruptura o salto climático en los subperiodos en esa misma época del año; ello para 2% de significancia. Este mismo comportamiento, aun cuando no necesariamente en 2% pero sí en 5% de significancia ya se alcanza en otras cuencas andinas como el Mantaro y seguramente otras que no tienen sistemas de generación hidroeléctrica asociados. Ello en términos de clima es una respuesta de dichas cuencas a un continuamente decreciente aporte glaciar provocado por el continuo calentamiento de la tropósfera lo que es un hecho comúnmente conocido.

El cambio climático viene produciendo un impacto creciente y verificable (física y estadísticamente) sobre las precipitaciones, temperaturas y los caudales observados en las últimas décadas en las principales cuencas donde se establecen las unidades de generación hidroeléctrica integrantes del COES SINAC.

En base a las pruebas estadísticas, sustentadas físicamente se ha determinado la presencia de un salto climático hidrológico a inicios de la década de los noventa. De esta manera se identifican en la mayoría de las estaciones dos subperiodos con distinta hidrología. Uno (M1) húmedo (desde inicios de la serie hasta el final de los 80) y otro mas seco (M2) que abarca el periodo que se inicia en los 90 y cubre hasta la actualidad.

En el modelo PERSEO se escoge **aleatoriamente** el tipo de hidrología a partir de la serie histórica de caudales que incluye el periodo completo desde 1965 hasta el 2007 con una duración de 43 años como es el caso de la cuenca del río Tulumayo. De ser ese el caso, entonces la probabilidad de elegir una hidrología del subperiodo M1 es de $29/43=0.67$. Similarmente la probabilidad de elegir una hidrología correspondiente a M2 será de $14/43=0.32$.

En otras palabras usando el periodo completo de 43 años, es dos veces más probable elegir una correspondiente al subperiodo M1 con mayores descargas pero mayormente vigentes entre los 60 y principios de los 90,

que escoger una hidrología mas vigente en la actualidad como la del subperiodo M2.

Si bien es cierto no todas las cuencas muestran cambios significativos en sus caudales. En las principales, sus estadísticos se encuentran muy próximos a estarlo. Es evidente la creciente y continua distorsión en los caudales que exhiben las principales cuencas en los últimos años. Y si a esto agregamos que, las causas del cambio climático no están siendo remediadas y no se prevé cambios de actitud en el corto plazo, el escenario más probable es que las tendencias actuales continúen y se acentúen.

Los escenarios de Cambio Climático sugieren un continuo incremento de las precipitaciones ecuatoriales y un decremento de las precipitaciones en el eje central del país.

INFOCLIMA ha sugerido y de hecho incorporó como valores normales en sus herramientas de modelamiento de caudales en las cuencas de generación el empleo de una nueva normal hidrológica a partir del año hidrológico 1991-1992.

VII BIBLIOGRAFIA

1. **Ven Chow**, Hidrología aplicada, McGraw - Hill, 1994.
2. **Salas, J.D.**, "Analysis and Modeling of Hydrologic time Series". Chapter 19, in The McGraw Hill Handbook of Hydrology, D.R. Maidment, Editor, 72 pages, 1993.
3. **Jin Huang, Huug Van Den Dool & Anthony G. Barnston**, Long - Lead Seasonal Temperature Prediction Using Optimal Climate Normals, NOAA - U.S. Climate Prediction Center. April, 1996.
4. **Córdova Z., Manuel**, Estadística Inferencial, MOSHERA SRL 2002.
5. **Daza, L.A.** Métodos Estadísticos I, UNALM, 1996.
6. **Christopher M. Brauner**, Nonparametric Estimation of Slope: Sen's Method in Environmental Pollution, 1997.
7. **Joseph Chabarek, David Gesch & Matthew Wirtala**, Lexical Trend Detection
8. **Mathias Vuille, Raymond Bradley, Martin Werner & Frank Keimig**, 20th Century Climate Change In The Tropical Andes: Observations and Model Results., 2003.
9. **Henry H. Brecher & Lonnie G. Thompson**, 'Measurement of the Retreat of Qori Kalis Glacier in the Tropical Andes of Peru by Terrestrial Photogrammetry', *Photogramm. Eng. Rem. Sens.* **59**, 1017-1022., 1993.
10. **Mingyue Chen et al, 2002** Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations. *Journal of Hydrometeorology*, Vol 3, 249-266.

ANEXOS

Anexo 1.0

1. DEFINICION DE HOMOGENEIDAD

Una serie climatológica califica de homogénea si sus variaciones son normales o naturales del tiempo y del clima (Conrad y Pollack 1962), o bien si es representativa del clima en los alrededores del punto de toma de muestra.

Las causas frecuentes de ruptura de la homogeneidad son:

- Cambio de emplazamiento de la estación.
- Cambio de sensores o metodología de observación.
- Entorno (árboles, cambios de uso de suelos, etc.),
- El cambio climático al inducirla generalmente de modo abrupto.

2. PRUEBAS NO PARAMETRICAS / PARAMETRICAS

Cuando se analizan los datos medidos por una variable cuantitativa continua, las pruebas estadísticas se basan en suponer que se ha obtenido una muestra aleatoria de una distribución de probabilidad de tipo normal o de Gauss. Para ello, se dispone de dos posibles mecanismos: los datos se pueden transformar de tal manera que sigan una distribución normal, o bien se puede acudir a pruebas estadísticas que no se basan en ninguna suposición en cuanto a la distribución de probabilidad a partir de la que fueron obtenidos los datos, y por ello se denominan pruebas no paramétricas (distribución libre), mientras que las pruebas que suponen una distribución de probabilidad determinada para los datos se denominan pruebas paramétricas.

Prueba de Kolmogorov – Smirnov (K-S)

Es un procedimiento no paramétrico que se utiliza para comprobar la hipótesis nula (H_0) de que la muestra procede de una población en la que la variable está distribuida según la normal (uniforme o Poisson). Para tomar la decisión, se debe llegar a calcular la máxima desviación:

$$D = \text{máxima } |F_0(X_i) - S_n(X_i)|$$

$F_0(X_i)$ = Probabilidad acumulada Esperada.

$S_n(X_i)$ = Probabilidad acumulada Observada

En la tabla de una muestra de Kolmogorov – Smirnov se encuentran ciertos valores críticos de la distribución muestral de D para diversos valores de N (número de datos) y alfa (grado de significancia). Se rechaza que los datos

proviene de una distribución normal si el valor de D es mayor que el valor crítico correspondiente.

H_0 : No hay diferencia entre los valores observados y esperados (o la distribución de la muestra se ajusta a la distribución uniforme).

H_1 : Si hay diferencia entre los valores observados y esperados.

* $D_{cal} < D_{tab} (0.95, k)$. Si se acepta la hipótesis planteada (la población es normal).

* $D_{cal} > D_{tab} (0.95, k)$. No se acepta la hipótesis planteada (la población no es normal).

D_{cal} = Valor calculado

D_{tab} = Valor Teórico de Tabla = 1.63/v k

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

k = Número de observaciones

Análisis de Tendencia

Es el procedimiento mediante el cual se determina la dirección del movimiento de la serie de tiempo a largo plazo y permite deducir el desarrollo de la serie en el futuro. Además, se supone que existe una tendencia y que esta puede ser: ascendente, descendente y constante.

De todos los modelos de tendencias el más importante es el lineal.

Regresión Lineal Simple: $Y = a + b X$

a = intercepto

b = pendiente

$$b = \frac{\sum XY - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum X^2 - n \bar{X}^2}$$

Se supone que existe una tendencia y esta puede ser: Ascendente para $b > 0$, descendente para $b < 0$ y constante para $b = 0$.

Prueba de Mann – Kendall de Tendencia

Es una prueba de tendencia no paramétrica, que detecta la presencia de cualquier forma de tendencia en una serie de tiempo sin especificar si la

tendencia es lineal o no lineal. Es directamente aplicable a los datos del clima para un mes o una estación dado. Además de tendencias lineales también detecta saltos siempre que den tendencia global en el sentido anterior.

Para cada par de fechas, calculamos la pendiente en unidades por meses como:

$$Q = \frac{Y_{i'} - Y_i}{i' - i}$$

Q = pendiente

i' = tiempo antes del tiempo i

Y_i = data mensual en el tiempo i

$Y_{i'}$ = data mensual en el tiempo i'

El estadístico de U calculado de la prueba se obtiene comparando o calculando todas las parejas de elementos de la serie y sumando 1, 0, -1 según estén en orden creciente, iguales, o decreciente:

S = Suma de números de signos positivos y negativos.

Esta estadística representa el número de diferencias positivas menos el número de las diferencias negativas para todas las diferencias consideradas. La prueba estadística para $N > 40$ puede ser escrito como:

U calculado (U_c)

$$U_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

Variación ($\text{var}(S)$)

$$\text{var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18}$$

Entonces la prueba de hipótesis nula (H_0) a una tendencia creciente o decreciente es rechazada para $|U_c| > U_{1-\alpha/2} = Z_{1-\alpha/2} = Z_{0.975} = 1.96$ con una significancia estadística del 5%.

Distribución F de Fisher

Las hipótesis o asunciones para poder aplicar la T-Student son que en cada grupo la variable estudiada siga una distribución Normal y que la dispersión en ambos grupos sean homogéneas (hipótesis de homogeneidad = igualdad de varianzas).

Esta distribución de probabilidad se usa como prueba estadística en varias situaciones. Se emplea para probar si dos muestras provienen de poblaciones que poseen varianzas iguales.

Sean S_1^2 y S_2^2 , las varianzas de dos muestras aleatorias independientes de tamaño respectivos n_1 y n_2 , escogidas de dos poblaciones normales con varianzas respectivas s_1^2 y s_2^2 . Entonces, la estadística,

$$F = \frac{S_1^2/n_1}{S_2^2/n_2}$$

Tiene distribución de probabilidad F con grados de libertad $r_1=n_1-1$; $r_2=n_2-1$.

Si se supone verdadera la hipótesis nula $H_0: s_1^2 = s_2^2$ ó $s_1^2/s_2^2 = 1$ la estadística de la prueba es:

$$F_{\text{cal}} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

$$F_{\text{tab}}(r_1, r_2)$$

Fcal = Valor calculado de F Fisher

Ftab = Valor Teórico de Tabla

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Prueba T-Student para el cambio en la media

Suponga que y_t , $t=1, 2, 3, \dots, N$ es una serie hidrológica anual con distribuida normal con media μ y desviación estándar s , y N = tamaño de la muestra. La serie se divide en dos subseries de tamaños N_1 y N_2 tales que $N_1+N_2 = N$. La primera subseries y_t , $t=1, \dots, N_1$, tiene una media μ_1 y desviación estándar s , y la segunda subserie y_t , $t= N_1 + 1, N_1 + 2, \dots, N$, que tiene una media μ_2 y desviación estándar s . La prueba simple de "t" se puede utilizar para probar la hipótesis $\mu_1=\mu_2$ cuando dos subseries tiene la misma desviación de estándar. El rechazo de la hipótesis

se puede considerar como detección de un cambio. La prueba estadística en este caso se da,

$$T_c = \frac{|\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1|}{S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (1.0)$$

T calculado

$$S = \sqrt{\frac{(N_1-1)S_1^2 + (N_2-1)S_2^2}{N-2}} \quad (1.1)$$

Variancia común

Donde \bar{Y}_1 y \bar{Y}_2 y S_1^2 y S_2^2 son las medias y variancias de la primera y segunda subseries, respectivamente. La hipótesis $u_1=u_2$ es rechazada $T_c > T_{1-\alpha/2, gl}$ donde $T_{1-\alpha/2, gl}$ denota el valor que según la distribución "t" de Student con $N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad (gl) y un α que es el nivel de significancia de la prueba.

$T_{tab} = T_{1-\alpha/2, gl} = T$ tabulado

gl = grados de libertad

Para varianzas poblacionales diferentes: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Si las varianzas de las dos poblaciones normales independientes son desconocidas supuestas diferentes, entonces, la estadística:

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\hat{S}_1^2/n_1 + \hat{S}_2^2/n_2}}$$

Tiene una distribución T-Student con r grados de libertad, siendo:

$$r = \frac{\left[\hat{S}_1^2/n_1 + \hat{S}_2^2/n_2 \right]^2}{\frac{\left[\hat{S}_1^2/n_1 \right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[\hat{S}_2^2/n_2 \right]^2}{n_2 - 1}}$$

Si r no es entero, se redondea al entero más cercano.

Si la hipótesis nula $H_0: u_1=u_2$ se supone verdadera, entonces:

$$T_c = \frac{|\bar{y}_2 - \bar{y}_1|}{\sqrt{\hat{S}_1^2/n_1 + \hat{S}_2^2/n_2}}$$

$T_{tab} = T_{1-\alpha/2, r} = T$ tabulado

Variable aleatoria estándar :

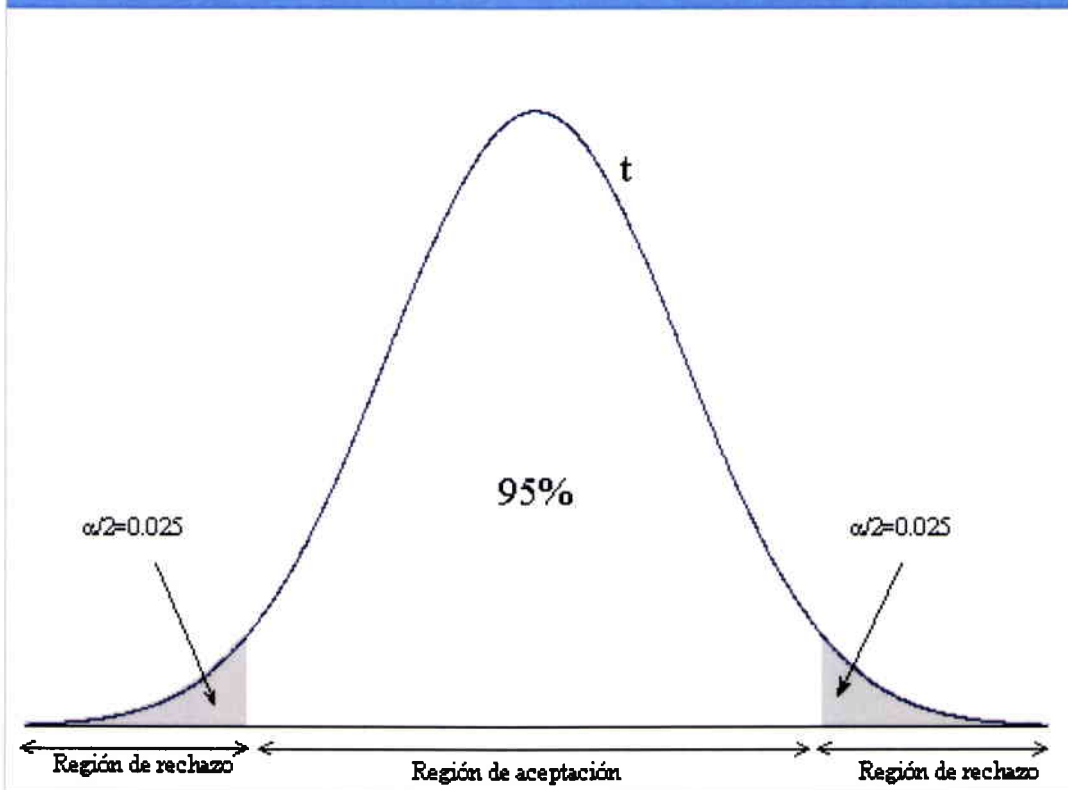
$$Z = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x}$$

μ_x = Media

σ_x = Desviación estándar

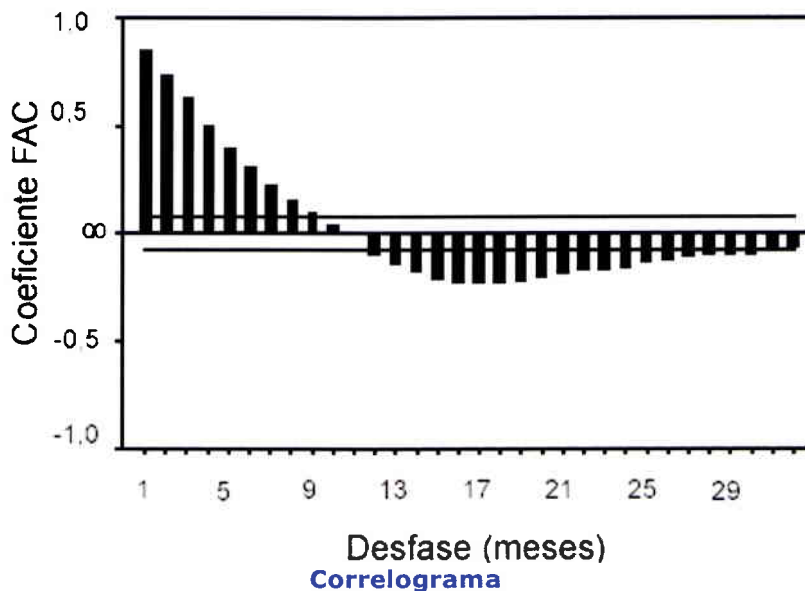
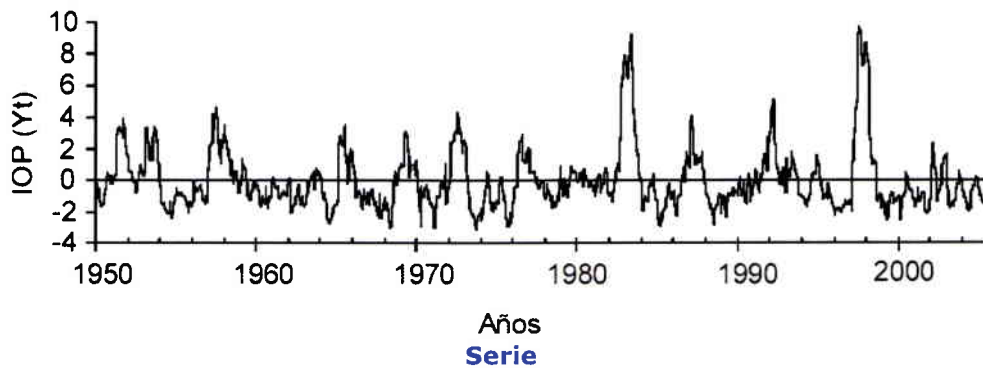
X = Variable

Regiones de aceptación y rechazo en el contraste de hipótesis



3. AUTOCORRELACION

Una serie estacionaria es aquella que es estable en la media y en la varianza a lo largo del tiempo. Otra herramienta para ver si la serie es estacionaria o no es la función de autocorrelación, la cuál debe de tener un rápido decrecimiento a cero.

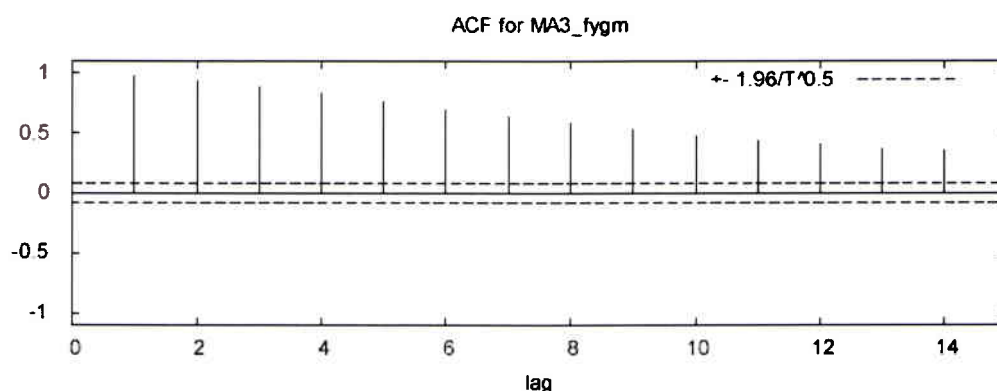


La presencia de correlaciones altas entre observaciones de la series (autocorrelaciones) puede ser consecuencia de un comportamiento lineal del fenómeno a través del tiempo.

Una forma visual de estudiar las autocorrelaciones es a través de correlogramas. Este tipo de gráficas nos muestra la correlación entre observaciones separadas por "q - desfases" intervalos de tiempos o "lags".

El proceso para calcular la autocorrelación particiona las observaciones de la serie en dos grupos: $\{X_1, X_2, \dots, X_{t-q}\}$ y $\{X_{1+q}, X_{2+q}, \dots, X_t\}$. La correlación es computada entre los dos conjuntos.

La altura de la línea en el correlogramas representa la correlación entre las observaciones que están separadas por la cantidad de unidades de tiempo que aparecen en el eje horizontal. La correlación para el primer rezago siempre es uno por lo que no debe tomarse en cuenta en las interpretaciones.



Las líneas horizontales sólidas del correlograma indican el intervalo de 95% de confianza para el estimado de la correlación. Cualquier línea vertical de la gráfica que salga de esa región sugiere una correlación significativa para el desfase ("lag") dado.

De acuerdo con Dowdy y Matalas (1964), el número efectivo de grados de libertad (N^*) tomando en cuenta la autocorrelación para lag 1 (r_0) se obtiene:

$$N^* = N [(1-r_0)/(1+r_0)]$$

donde N es el número de observaciones.

4 RESULTADOS DE LAS DISTINTAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS

Prueba de Autocorrelación

Se consideraron las posibilidades de autocorrelación en la determinación de los grados de libertad de las series de caudales. Como consecuencia de ello se obtuvo los siguientes resultados:

CUENCAS	EPOCA	AUTOCORRELACION	N	N*	Ttab (5%)	Tcal (5%) - Student
SANTA	LLUVIAS	-0.343	55	112	1.98	0.31
RIMAC	LLUVIAS	-0.348	44	91	1.99	0.47
TULUMAYO	LLUVIAS	0.349	44	21	2.08	0.79
ARICOTA	LLUVIAS	0.499	44	15	2.15	1.09

N : Numero de Observaciones

N* : Grados de Libertad

CUENCAS	EPOCA	AUTOCORRELACION	N	N*	Ttab (5%)	Tcal (5%) - Student
JEQUETEPEQUE	ESTIAJE	0.338	73	36	2.03	1.08
SANTA	ESTIAJE	0.503	55	18	2.10	5.74
PATIVILCA	ESTIAJE	0.451	44	17	2.12	0.53
RIMAC	ESTIAJE	0.365	44	20	2.09	1.75
TARMA	ESTIAJE	0.587	44	11	2.20	3.85
TULUMAYO	ESTIAJE	0.577	44	12	2.20	5.42
PAUCARTAMBO	ESTIAJE	0.35	44	21	2.08	2.35
VILCANOTA	ESTIAJE	0.508	51	17	2.12	0.73
ARICOTA	ESTIAJE	0.655	44	9	2.62	5.56

N : Numero de Observaciones

N* : Grados de Libertad

Nota: Rojo (Azul) indican significancia (no significancia) al 5%.

Tabla A.1

Las autocorrelaciones para la serie de tiempo de la cuenca del Mantaro se muestran tanto para la época lluviosa como para la de estiaje, la no significancia de las autocorrelaciones por lo que ninguna corrección se hace necesaria.

En la Tabla A.1, se muestran las cuencas con saltos climáticos con significación estadística al 5% y con autocorrelación para desfases significativas y por ende con necesidad de corrección. **Sin embargo en todos los casos los saltos climáticos siguen siendo significativos a pesar del cambio del número efectivo de grados de libertad.**

Prueba de Distribución Normal. Método de Kolmogorov -Smirnov.

Según la Tabla A.2, en la prueba de normalidad siguiendo la metodología de Kolmogorov-Smirnov en las 11 cuencas analizadas, los valores calculados resultaron ser menores a sus valores tabulados ($D_{cal} < D_{tab}$). Ello significa

que las muestras presentan una distribución normal en ambas épocas (lluvias y estiaje) con un nivel de significancia del 5%.

CUENCAS	PRUEBA DE DISTRIBUCION NORMAL KOLMOGOROV - SMIRNOV		PRUEBA DE TENDENCIA MANN - KENDALL		REGRESION LINEAL PENDIENTE (Mt3/Año)	
	LLUVIAS	ESTIAJE	LLUVIAS	ESTIAJE	LLUVIAS	ESTIAJE
CUENCA DEL RIO CHANCAY	0.12	0.14	2.69	0.77	1.63	0.10
CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE	0.15	0.11	0.96	1.87	0.84	-0.04
CUENCA DEL RIO SANTA	0.17	0.08	0.28	5.49	0.47	-0.68
CUENCA DEL RIO PATIVILCA	0.10	0.13	1.45	0.94	-1.20	-0.06
CUENCA DEL RIO RIMAC	0.06	0.10	0.07	1.45	0.05	0.14
CUENCA DEL RIO MANTARO	0.10	0.08	1.51	1.45	-7.95	-0.78
CUENCA DEL RIO TARMA	0.07	0.08	1.86	1.83	-0.79	-0.13
CUENCA DEL RIO TULUMAYO	0.11	0.09	0.25	1.77	0.66	-0.67
CUENCA DEL RIO PAUCARTAMBO	0.12	0.11	0.46	0.39	-0.19	-0.04
CUENCA DEL RIO VILCANOTA	0.11	0.18	0.11	0.26	-0.88	0.18
LAGUNA DE ARICOTA	0.17	0.16	1.18	5.23	0.06	0.06

Pruebas de normalidad, significancia de tendencia y cálculo de la pendiente.

Nota: Rojo (Azul) indican significancia (no significancia) al 5%.

Tabla A.2

Prueba de Tendencia.

Al obtener las pendientes de las diferentes cuencas en estudio en ambas épocas del año mediante la regresión lineal (ver Tabla A.2) se observa que la cuenca del Mantaro, la principal del sistema, presenta una tendencia decreciente en ambas épocas. El mismo comportamiento se observa en las cuencas de los ríos Tarma, Paucartambo y Pativilca para ambas épocas del año; no obstante no presentar tendencias significativas estadísticamente. Lo contrario se aprecia en la laguna de Aricota y en la cuenca del Chancay, con tendencias crecientes y con significancia estadística en la estación de lluvias y estiaje respectivamente. Las cuencas de los ríos Santa, Jequetepeque y Tulumayo presentan una tendencia creciente en la época de lluvias y decreciente en la época de estiaje. Se encontró además una tendencia significativa en la época de estiaje en la cuenca del río Santa. Las cuencas de los ríos Rímac y Vilcanota presentan tendencias decrecientes en la época de lluvias y crecientes en la época de estiaje, sin llegar a ser significativas de acuerdo a la prueba de Mann-Kendall.

En la Tabla A.3 se muestra los resultados de la prueba de normalidad de los subperiodos M1 y M2 en las cuencas analizadas. En todos los casos se comprueba la normalidad de los subperiodos.

CUENCAS	PRUEBA DE DISTRIBUCION NORMAL SUBPERIODOS M1 Y M2 METODO DE KOLMOGOROV - SMIRNOV			
	LLUVIAS		ESTIAJE	
	M1	M2	M1	M2
CUENCA DEL RIO CHANCAY	0.138	0.122	0.128	0.178
CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE	0.176	0.106	0.103	0.201
CUENCA DEL RIO SANTA	0.146	0.215	0.170	0.073
CUENCA DEL RIO PATIVILCA	0.164	0.174	0.115	0.206
CUENCA DEL RIO RIMAC	0.120	0.096	0.086	0.117
CUENCA DEL RIO MANTARO	0.078	0.182	0.127	0.234
CUENCA DEL RIO TARMA	0.128	0.158	0.109	0.108
CUENCA DEL RIO TULUMAYO	0.093	0.171	0.094	0.233
CUENCA DEL RIO PAUCARTAMBO	0.106	0.167	0.111	0.107
CUENCA DEL RIO VILCANOTA	0.108	0.179	0.096	0.306
LAGUNA DE ARICOTA	0.206	0.170	0.099	0.202

Nota: Rojo (Azul) indican significancia (no significancia) al 5%.

Tabla A.3

Anexo 2.0

Series temporales de caudales naturales estacionales (época de lluvias y estiaje) representativas con líneas de tendencias y subperiodos M1 y M2.

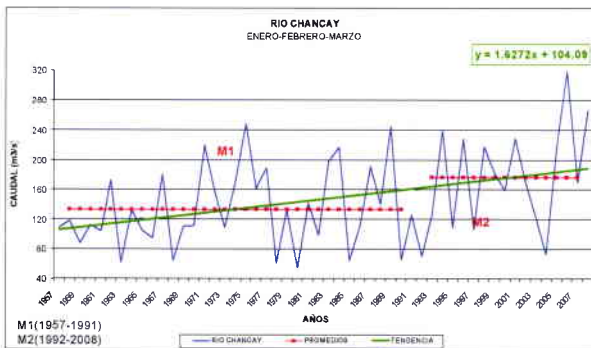


Figura 7a. Río Chancay - Época Lluvias

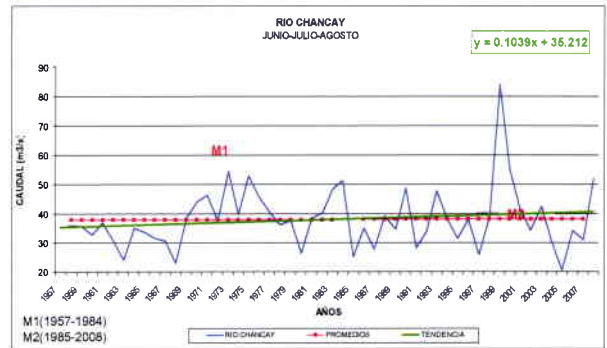


Figura 7b. Río Chancay - Época Estiaje

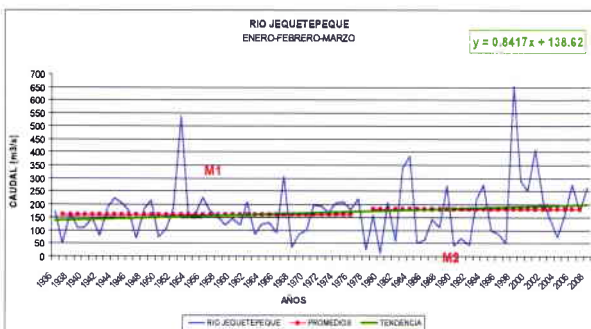


Figura 7c. Jequetepeque - Época Lluvias

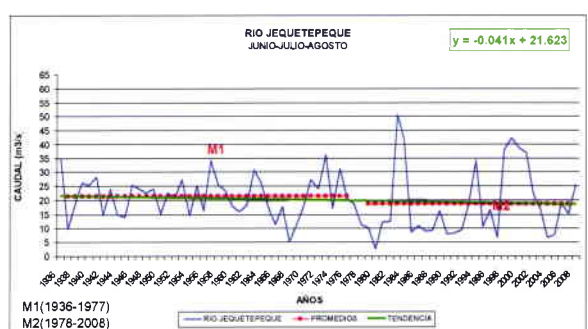


Figura 7d. Jequetepeque - Época Estiaje

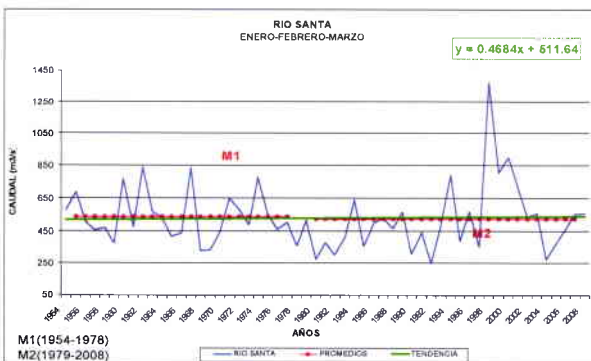


Figura 7e. Río Santa - Época Lluvias

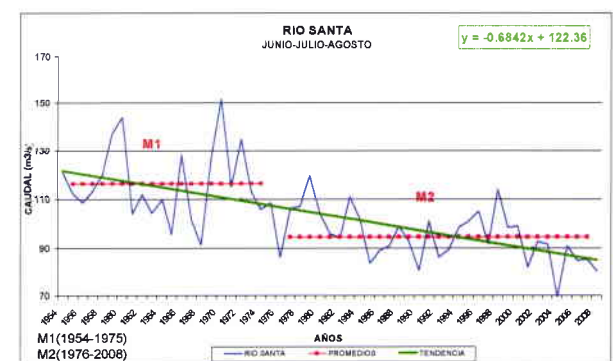


Figura 7f. Río Santa - Época Estiaje

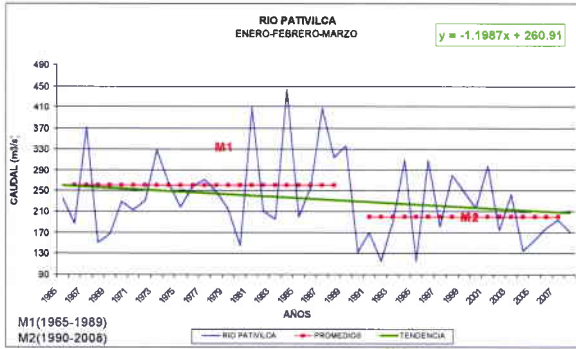


Figura 7g. Río Pativilca – Época Lluvias

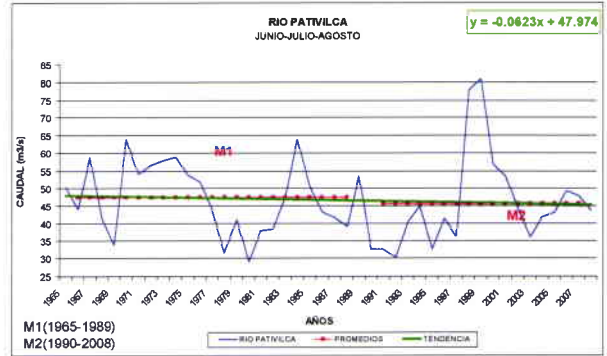


Figura 7h. Río Pativilca – Época Estiaje

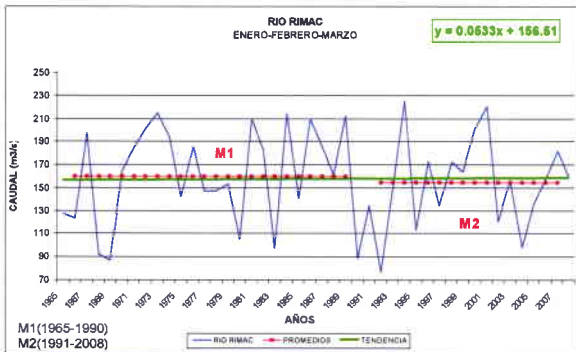


Figura 7i. Río Rímac – Época Lluvias

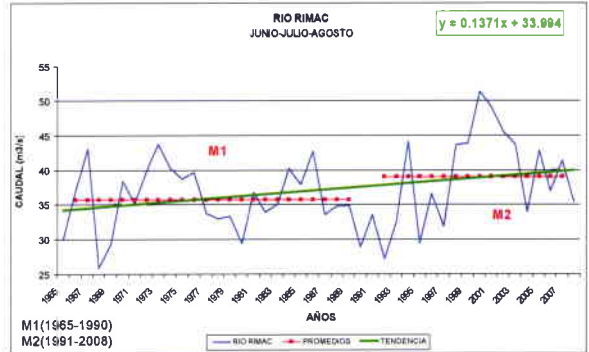


Figura 7j. Río Rímac – Época Estiaje

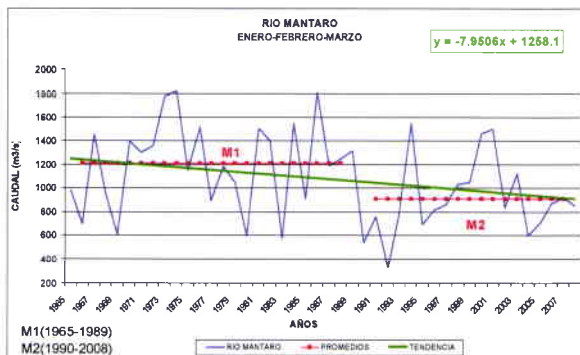


Figura 7k. Río Mantaro – Época Lluvias

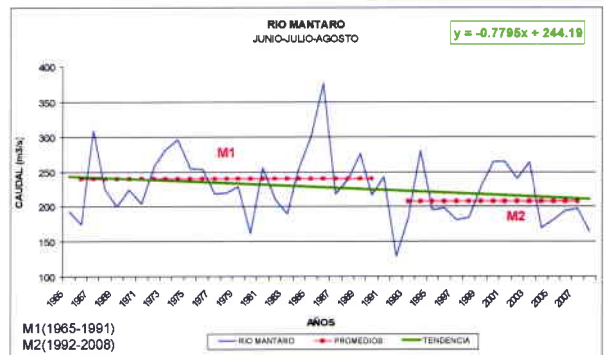


Figura 7l. Río Mantaro – Época Estiaje

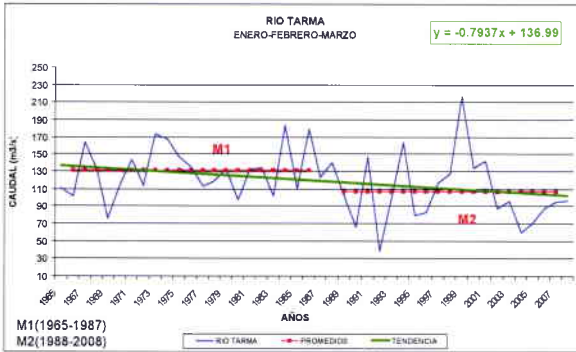


Figura 7m. Río Tarma - Época Lluvias

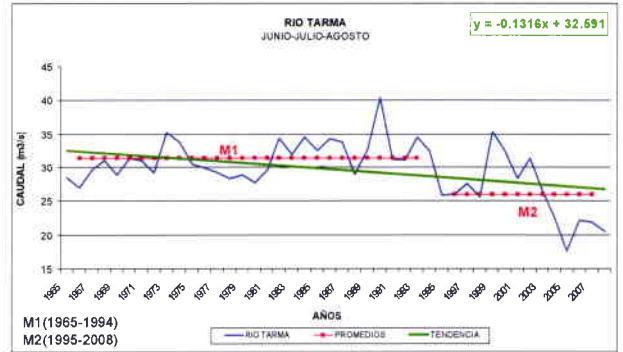


Figura 7n. Río Tarma - Época Estiaje

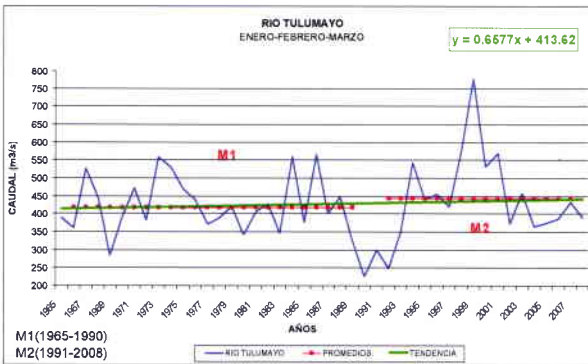


Figura 7o. Río Tulumayo-Época Lluvias

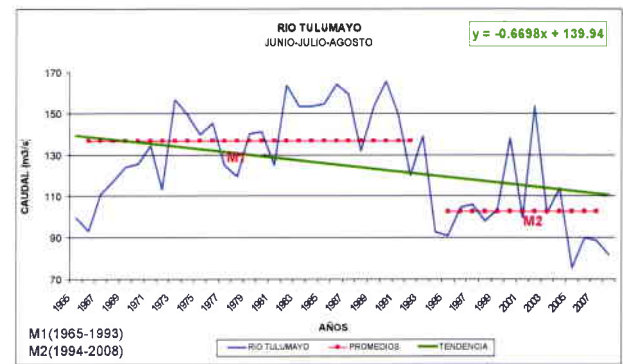


Figura 7p. Río Tulumayo- Época Estiaje

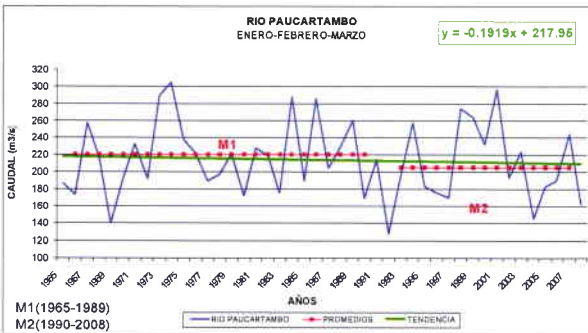


Figura 7q. Río Paucartambo- Época Lluvias

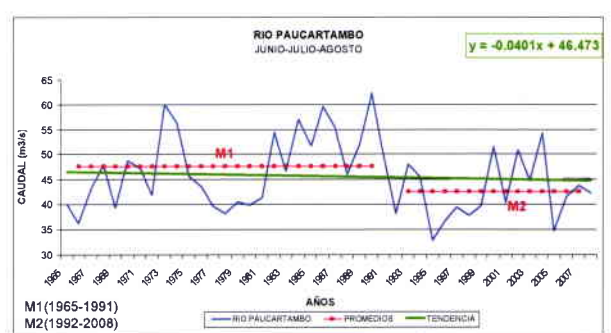


Figura 7r. Río Paucartambo- Época Estiaje

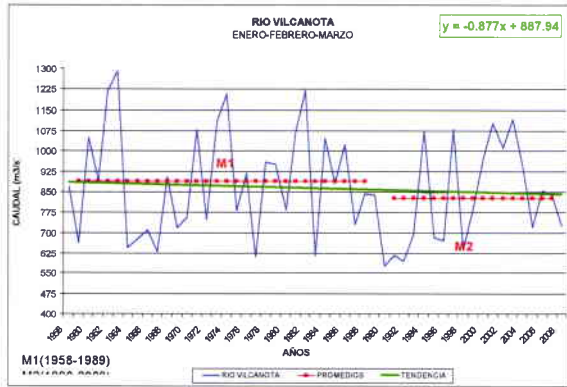


Figura 10a. Río Vilcanota – Época Lluvias

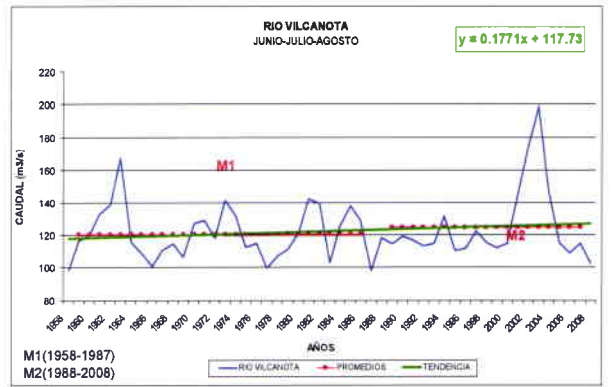


Figura 10b. Río Vilcanota – Época Estiaje

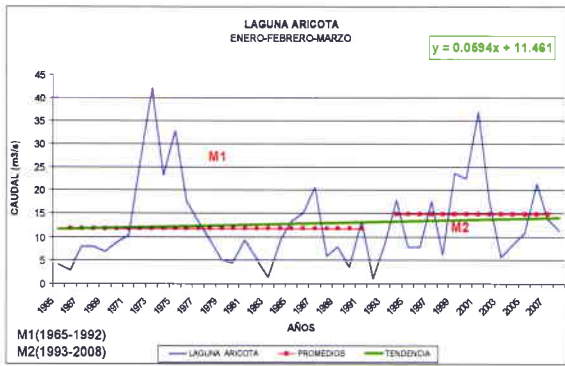


Figura 11a. Lag. de Aricota – Época Lluvias

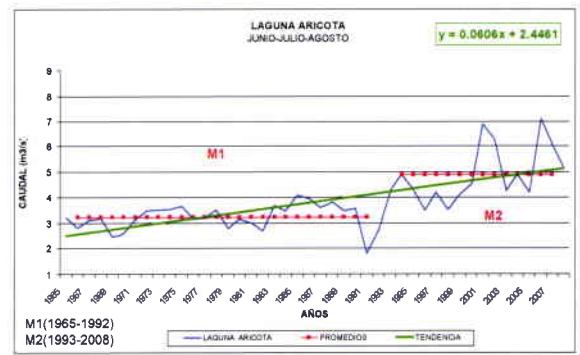


Figura 11b. Lag. de Aricota – Época Estiaje

Anexo 3.0

Medias normales referenciales y propuestas:

Se presentan las medias normales referenciales por cada cuenca. Al respecto se presentan los valores de la climatología del COES SINAC que va desde 1965 hasta el 2005 en todas las cuencas. Las de uso en el modelo estadístico EOF-2 INFOCLIMA y las propuestas para la serie 1991 - 2008 con la salvedad de que toda la data 2008 no está presente. Se encuentra hasta Agosto 2008 inclusive.

En el desarrollo del modelo EOF-2 de INFOCLIMA se practicó un ajuste a las series de las cuencas Santa y Jequetepeque, excluyendo los 12 registros mensuales que correspondían al año hidrológico 1997 - 1998. El Niño de entonces generó tales caudales que la sola presencia de ese año en las series desajustaban por completo las capacidades o skill del modelo.

Con ese mismo criterio y ante el tamaño de las series propuestas; una alternativa o Propuesta B incorpora tal excepción en ambas series dentro de un criterio de coherencia.

La Sierra Central - salvo la subcuenca del río Blanco que se sirve de glaciares de gran altitud - presenta un similar marco de pérdida glaciar evidente en los estiajes en todos los casos.

		CAUDAL NATURAL DEL RIO TARMA													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	RATIO
Serie COES 1965-2007		33.8	43.3	42.6	28.3	14.5	10.8	9.8	9.2	10.2	13.5	16.6	22.5	255.12	100.00%
Serie Propuesta		27.4	38.5	39.2	26.1	13.9	9.7	9.2	8.2	8.7	11.1	13.1	19.9	226.09	88.23%
		Presumida Mala Climatología Original + Afectada por estar en la Sierra Central													

		CAUDAL NATURAL DEL RIO MANTARO													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	RATIO
Serie COES 1965-2007		266.0	399.5	419.1	258.6	126.8	86.8	73.4	67.9	69.6	81.4	105.0	146.7	2100.85	100.00%
Serie Propuesta		226.6	348.5	363.6	237.9	112.2	77.1	68.1	61.2	63.3	73.6	93.9	138.2	1864.11	88.73%
		Desciende por Pérdida de Glaciares Sector Central de la Sierra													

		CAUDAL NATURAL DEL RIO CHANCAY													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	RATIO
Serie COES 1965-2007		34.4	49.6	66.9	68.3	38.9	20.6	11.7	6.3	10.9	24.5	26.8	28.2	387.02	100.00%
Serie Propuesta		34.3	57.0	85.0	80.6	40.6	20.7	11.7	7.4	8.5	16.4	26.3	28.3	416.70	107.67%
		Caudal Creciente													

		CAUDAL NATURAL DEL RIO JEQUETEPEQUE													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	RATIO
Serie COES 1965-2007		26.7	57.1	89.9	75.6	27.2	10.9	5.3	2.5	3.1	7.8	12.0	18.2	336.20	100.00%
Serie Propuesta		31.8	67.7	116.9	105.7	31.6	12.7	6.2	2.5	3.1	6.1	13.6	23.0	420.81	125.16%
		Caudal Creciente													

Anexo 4.0

Tablas de datos de caudales de las diferentes cuencas en estudio.

Estación SHEQUE + TAMBORAQUE
 Cuenca Rimac
 Río Rimac
 Departamento Lima
 Provincia Lima
 Área de Captación Q Natural
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente EDEGEL

CAUDAL NATURAL DEL RIO RIMAC

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965	21.43	56.28	49.72	22.59	17.63	11.06	11.06	7.96	8.20	10.44	12.54	17.80	20.56	246.70
1966	44.35	34.76	44.42	25.79	16.75	16.90	10.65	9.50	9.76	16.85	16.94	31.10	23.16	277.78
1967	27.40	92.51	76.90	33.61	19.85	16.57	14.43	12.06	12.22	18.73	16.26	18.19	29.90	368.75
1968	28.88	25.25	37.66	20.60	12.92	10.64	8.38	6.75	7.44	9.58	14.32	16.49	16.58	198.90
1969	13.79	30.13	42.87	39.38	16.34	11.54	9.21	8.48	8.65	10.42	13.26	45.61	20.81	249.67
1970	83.11	43.40	37.62	33.57	25.08	15.46	12.90	10.10	14.56	15.43	13.68	26.95	27.66	331.86
1971	44.20	57.16	83.37	40.79	20.50	13.97	11.03	10.17	9.90	11.85	10.94	25.37	28.27	339.26
1972	48.22	49.86	101.97	59.65	23.77	16.08	12.93	11.02	11.30	13.35	12.80	25.48	32.20	386.43
1973	62.92	77.68	74.35	62.08	29.15	17.74	14.65	11.36	12.77	18.20	19.49	41.59	36.83	441.98
1974	59.06	74.14	59.60	37.77	19.40	16.37	12.87	11.13	11.12	12.29	13.10	17.59	28.70	344.44
1975	27.25	30.17	84.58	37.50	27.08	16.78	11.18	10.77	17.48	12.17	15.00	18.88	26.74	308.84
1976	48.30	73.11	63.79	35.40	18.35	16.55	11.90	11.24	11.20	11.12	12.44	17.58	27.58	330.97
1977	27.88	66.88	52.28	31.82	20.71	12.91	10.90	9.89	9.48	12.41	24.73	26.10	25.60	305.99
1978	31.76	69.65	45.95	26.51	15.91	12.61	10.52	9.76	10.36	13.27	14.42	20.65	23.46	281.37
1979	18.72	59.35	75.32	41.02	17.04	12.21	10.97	10.13	13.37	10.67	11.12	16.30	24.69	296.22
1980	32.20	31.68	41.35	36.33	15.12	11.80	9.64	7.96	11.31	17.05	22.08	29.95	22.21	266.46
1981	40.54	91.37	77.63	34.48	18.18	13.97	12.85	9.97	9.58	14.41	22.56	27.56	31.09	373.09
1982	39.38	90.98	51.78	34.03	18.37	11.52	10.53	11.85	9.03	13.02	21.11	25.79	28.11	337.37
1983	29.44	27.21	40.54	40.83	19.67	14.65	10.44	9.95	10.66	11.51	11.00	26.17	21.01	262.08
1984	32.13	94.05	88.16	51.98	27.16	18.02	12.22	10.02	11.07	15.49	17.44	42.95	35.06	420.70
1985	29.64	44.24	66.63	55.94	24.13	16.03	12.07	9.83	10.51	9.33	12.01	26.90	26.44	317.26
1986	59.29	73.16	77.06	61.82	34.05	18.67	12.88	11.11	10.72	11.07	13.89	24.02	33.98	407.76
1987	61.62	78.18	45.70	21.78	15.26	11.97	11.19	10.37	9.77	12.11	15.24	30.23	26.95	323.42
1988	44.61	69.84	46.62	51.44	23.28	14.01	11.17	9.60	9.54	11.18	12.37	17.20	26.74	320.86
1989	48.58	88.00	76.05	52.43	23.44	14.22	11.37	9.22	9.86	14.78	14.70	11.81	31.21	374.46
1990	39.52	23.14	26.01	18.96	12.07	12.84	8.62	7.35	8.64	13.37	29.15	29.14	19.07	228.82
1991	29.75	34.34	70.37	32.33	22.78	13.43	11.22	8.90	9.52	10.47	12.24	13.64	22.42	268.98
1992	24.51	18.22	33.93	24.62	12.93	9.85	8.81	8.40	8.05	11.83	10.23	11.82	16.27	183.20
1993	33.06	57.64	62.06	42.53	24.30	12.65	10.57	9.30	9.91	14.84	34.69	56.37	30.66	367.94
1994	65.60	84.11	75.88	60.43	30.86	19.47	13.63	10.97	11.82	11.06	15.70	19.38	34.91	418.91
1995	33.31	30.60	49.15	41.67	17.56	11.62	9.41	8.35	8.26	9.15	14.53	20.07	21.14	253.69
1996	44.90	67.13	60.71	50.34	21.54	14.00	11.28	11.25	10.46	10.67	12.51	17.08	27.66	331.87
1997	34.11	62.23	38.07	17.18	14.35	12.19	9.94	9.68	10.72	11.03	18.59	34.23	22.69	272.32
1998	57.35	58.63	56.42	38.04	18.70	16.61	14.05	13.00	12.35	16.22	15.17	17.84	27.86	334.37
1999	24.63	75.12	64.00	51.78	29.66	18.58	13.78	11.44	12.95	15.39	14.21	33.06	30.38	364.80
2000	61.85	66.64	72.89	43.47	27.28	20.57	16.36	14.40	11.98	21.43	14.48	31.95	33.52	402.28
2001	71.82	67.35	81.13	46.83	27.15	20.03	16.56	12.45	14.91	14.13	18.69	25.98	34.76	417.04
2002	23.00	40.92	56.11	42.35	25.89	17.91	14.47	13.19	12.36	14.80	25.14	29.32	26.29	315.45
2003	42.93	46.45	66.56	43.24	24.32	17.17	14.74	11.73	10.38	13.25	10.72	27.10	27.38	328.58
2004	21.12	42.65	34.44	27.19	17.65	12.87	11.97	9.09	10.45	13.57	29.42	38.20	22.38	288.60
2005	46.95	41.95	45.76	40.06	22.25	16.34	14.26	12.21	11.79	12.92	13.12	16.73	24.53	294.34
2006	39.13	52.18	66.72	55.22	21.38	14.64	10.93	11.38	10.45	12.38	20.31	35.91	29.22	360.64
2007	57.01	54.25	70.36	50.40	26.00	16.23	13.34	11.78	12.99	13.16	15.56	18.14	29.93	369.22
2008	49.46	59.77	50.57	32.64	17.89	13.90	11.79	9.59						246.62
2009														
2010														
Promedio	41.02	57.08	59.61	39.74	21.22	14.84	11.90	10.33	10.88	13.17	16.46	25.68		
Mínimo	15.79	16.22	26.91	17.18	12.07	9.65	8.36	6.75	7.44	9.16	10.23	11.81		
Máximo	83.11	94.05	101.97	62.08	34.05	20.57	16.56	14.40	17.48	21.43	34.69	56.37		
ación Standard	15.67	21.02	17.40	12.06	5.20	2.72	1.96	1.60	1.97	2.67	5.63	9.59		

000730

Estación Yuncán
 Cuenca Paucartambo
 Río Paucartambo
 Departamento Pasco
 Provincia
 Area de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente ELECTROANDES

CAUDAL NATURAL DEL RIO PAUCARTAMBO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965	40.75	67.30	77.71	45.78	22.70	14.29	13.16	12.41	26.90	28.12	33.40	46.60	36.76	429.13
1966	60.72	61.26	51.41	28.71	34.10	14.74	11.17	10.11	16.52	33.27	39.15	52.62	34.48	413.80
1967	60.11	89.04	108.49	55.74	24.23	16.49	13.72	12.99	17.68	42.81	25.27	39.05	42.14	605.62
1968	61.96	75.81	77.85	40.31	25.16	17.77	14.24	16.00	16.13	36.38	35.81	39.61	38.09	467.03
1969	35.59	62.61	41.02	37.90	17.34	16.51	13.25	9.50	12.33	22.24	30.86	49.36	29.04	348.51
1970	67.83	66.83	58.59	54.86	31.62	19.08	16.89	12.71	22.49	18.40	30.37	48.83	37.37	448.49
1971	77.48	71.60	83.60	81.29	29.94	19.29	15.28	12.52	10.73	21.65	17.85	40.45	40.14	481.69
1972	59.70	46.80	85.22	61.86	29.46	17.00	14.05	10.74	18.93	29.64	27.91	47.86	37.43	449.16
1973	84.93	116.51	87.74	64.18	28.27	21.60	18.79	19.72	26.86	42.29	37.61	75.50	52.00	624.03
1974	121.48	108.89	74.46	71.99	27.61	17.91	21.75	16.58	17.11	32.54	23.83	41.34	47.96	675.50
1975	68.50	76.67	92.14	37.46	35.60	20.25	13.89	11.50	24.96	28.10	36.75	49.78	41.30	496.88
1976	83.06	76.71	62.00	45.42	23.51	17.61	12.37	13.58	26.55	14.48	22.23	28.27	36.48	426.79
1977	55.68	57.59	75.80	44.94	29.30	16.96	12.16	10.45	19.93	21.29	63.23	37.70	37.09	445.03
1978	66.38	59.95	70.81	47.27	30.10	16.88	12.26	8.97	21.18	20.32	36.29	36.61	35.68	427.01
1979	36.27	74.87	110.64	67.88	25.10	14.97	12.88	12.61	12.41	22.16	30.97	30.79	37.63	451.84
1980	37.94	62.03	71.85	38.26	19.48	12.77	14.08	12.95	12.39	36.39	29.68	36.64	32.04	384.46
1981	47.10	101.46	79.62	47.32	22.00	14.96	10.47	15.86	15.02	39.01	48.30	65.11	42.18	606.11
1982	74.74	80.37	63.45	47.35	26.21	21.47	16.40	16.59	22.15	39.77	57.19	48.68	42.86	614.37
1983	56.95	55.72	62.20	55.28	24.06	20.12	13.45	13.07	21.67	24.13	25.37	44.65	34.72	416.67
1984	60.17	133.07	95.31	72.46	28.39	21.19	17.38	18.42	14.70	27.08	43.22	48.06	48.29	679.46
1985	43.01	73.97	72.13	66.65	47.45	21.92	16.10	13.69	41.99	26.42	36.68	49.71	42.48	609.71
1986	78.26	102.28	105.79	63.46	43.12	19.87	19.56	20.28	21.40	23.88	29.93	33.30	46.76	561.13
1987	90.40	69.02	44.61	36.78	23.23	20.78	23.02	11.57	14.72	23.88	33.27	32.65	36.33	423.94
1988	98.10	79.04	51.60	53.12	27.88	19.53	16.48	10.95	11.95	18.31	17.60	34.09	36.47	437.64
1989	81.62	85.87	93.52	61.81	27.09	21.49	16.77	14.62	16.82	34.09	31.47	28.92	42.76	513.08
1990	70.07	45.28	53.27	33.11	22.57	31.70	18.23	12.41	18.85	53.75	67.72	55.38	40.20	482.35
1991	47.58	69.69	97.29	50.78	31.35	24.32	15.22	10.54	12.10	21.84	37.18	27.16	37.09	445.04
1992	39.46	36.60	51.38	28.95	14.31	13.80	10.80	13.47	11.94	30.90	24.42	17.36	24.45	293.39
1993	46.69	78.31	69.87	53.07	29.90	16.99	15.11	15.82	24.54	30.83	63.08	100.35	46.38	644.56
1994	82.14	108.65	66.92	59.35	26.53	17.26	15.15	12.96	13.29	19.52	27.14	23.98	39.41	472.90
1995	54.22	46.46	82.29	41.98	20.33	11.66	10.46	10.74	11.22	19.76	31.16	34.01	31.18	374.18
1996	47.47	62.02	65.98	53.09	25.92	14.73	10.14	11.77	14.39	18.35	20.22	37.70	31.82	381.78
1997	40.39	67.50	61.83	32.67	20.97	11.99	9.97	17.32	18.53	21.77	34.09	50.18	32.27	387.20
1998	81.74	103.96	88.77	52.44	19.53	15.25	12.11	10.36	10.73	23.03	28.47	36.86	40.27	483.25
1999	69.55	98.63	95.67	67.19	32.03	16.39	12.63	10.61	15.12	23.68	20.23	33.06	41.23	494.79
2000	54.92	83.70	92.69	62.87	24.81	16.96	16.10	18.44	18.02	18.85	18.76	40.30	38.87	466.42
2001	100.90	104.32	92.15	57.91	28.20	16.10	13.75	10.46	13.18	21.34	39.36	43.35	45.08	641.01
2002	27.22	77.31	88.65	51.28	27.77	14.74	23.92	12.26	15.62	29.22	50.81	54.23	39.42	473.04
2003	53.69	76.17	92.87	62.09	33.27	18.35	12.25	14.10	14.56	15.47	16.80	55.88	38.79	465.50
2004	32.53	58.39	54.16	30.87	20.03	17.26	20.23	16.83	22.90	45.96	34.87	51.20	33.77	405.22
2005	41.48	63.06	78.16	37.99	17.85	12.85	11.18	10.56	9.84	27.33	19.51	41.86	30.97	371.67
2006	64.02	56.76	68.89	61.91	21.06	16.86	12.18	12.53	12.83	42.84	46.45	54.39	39.23	470.73
2007	74.22	58.41	111.51	68.15	33.92	18.24	14.29	11.26	14.41	23.64	27.82	35.71	40.97	491.58
2008	51.92	61.77	48.85	39.47	25.94	17.05	13.03	12.15						270.18
2009														
2010														
Promedio	62.02	75.28	76.33	51.66	26.80	17.68	14.64	13.25	17.67	27.78	33.78	43.70		
Mínimo	27.22	36.60	41.02	28.71	14.31	11.56	9.97	8.97	9.84	14.48	18.50	17.36		
Máximo	121.48	133.07	111.51	81.29	47.45	31.70	23.92	20.28	41.99	63.76	67.72	100.35		
Coeficiente de Variación Standard	20.36	20.77	18.65	13.13	6.36	3.58	3.36	2.83	6.12	9.03	12.51	14.17		

000731

Estación La Mejorada
 Cuenca Mantaro
 Río Mantaro
 Departamento Huancavelica
 Provincia Tayacaja
 Área de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente ELECTROPERU

CAUDAL NATURAL DEL RIO MANTARO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965	136.22	412.17	432.94	178.34	102.60	70.02	66.04	67.78	65.73	67.84	61.63	104.63	146.16	1763.94
1966	224.18	199.85	273.01	112.85	95.08	65.97	51.25	66.40	57.91	97.62	139.92	296.47	139.21	1670.61
1967	226.69	666.26	676.97	296.93	146.91	114.28	114.78	80.36	84.60	144.18	96.83	147.73	223.62	2683.42
1968	234.90	272.76	460.35	163.36	95.74	77.51	73.66	72.89	66.93	80.84	133.72	161.85	167.04	1884.51
1969	128.60	236.93	242.84	267.06	92.12	74.26	60.34	64.61	67.77	74.08	72.18	203.66	130.29	1563.45
1970	629.10	465.34	312.38	266.12	176.68	91.06	70.41	61.75	88.89	78.64	73.61	186.49	207.44	2489.26
1971	331.66	462.09	606.06	291.78	107.94	73.70	66.46	63.40	54.45	78.29	71.39	126.66	186.06	2232.76
1972	341.91	316.23	702.68	631.98	196.52	102.17	82.35	72.91	70.32	89.36	86.64	169.66	229.21	2760.63
1973	498.15	518.11	764.01	474.82	181.34	111.98	90.37	78.98	106.67	122.51	225.69	233.09	282.89	3394.62
1974	504.65	763.06	556.49	318.66	152.66	109.56	97.91	87.46	83.04	83.44	88.67	100.26	246.39	2944.66
1975	191.80	297.11	662.93	211.14	182.47	109.40	78.60	66.61	76.82	85.36	96.41	124.82	181.96	2183.47
1976	406.02	697.88	613.61	244.26	124.36	99.67	76.60	76.73	102.62	89.66	80.73	81.01	207.75	2493.06
1977	139.24	322.66	431.16	196.24	129.88	86.41	73.40	68.29	66.06	69.23	183.27	148.40	167.84	1894.13
1978	291.21	576.93	316.14	180.26	105.23	79.08	74.21	65.61	71.67	69.86	112.90	133.82	173.08	2076.91
1979	144.10	367.93	648.96	307.02	123.16	82.67	74.20	69.99	68.76	66.46	69.68	76.87	166.81	1989.68
1980	122.99	186.07	282.96	168.05	72.07	60.39	51.66	48.93	52.22	93.72	111.46	146.74	116.26	1395.16
1981	210.62	795.34	600.73	187.90	90.90	93.87	74.94	86.98	80.76	95.93	188.64	222.86	219.04	2628.46
1982	412.87	613.68	372.63	233.14	106.76	90.47	63.84	66.92	69.16	97.48	203.67	180.12	207.39	2488.63
1983	223.29	126.66	228.83	183.50	83.36	67.82	63.61	67.25	61.58	60.19	50.40	84.79	106.69	1280.28
1984	190.77	738.44	619.27	360.40	140.97	94.07	84.40	74.80	74.90	82.96	113.62	228.26	233.67	2802.86
1985	216.91	317.81	375.39	369.92	169.46	124.23	89.49	87.33	92.10	98.34	87.34	140.60	178.99	2147.92
1986	380.69	684.14	742.36	606.76	329.41	137.06	116.62	123.36	120.69	98.40	100.69	136.17	289.69	3476.22
1987	536.23	398.11	264.98	133.14	101.94	80.48	68.72	67.89	65.43	63.47	86.20	157.36	167.66	2011.94
1988	414.66	482.37	346.03	367.79	151.17	91.33	75.61	70.68	69.64	73.78	71.20	106.27	192.44	2309.23
1989	329.88	438.66	646.44	362.84	163.36	117.14	81.46	76.94	76.16	97.01	106.30	94.67	206.66	2479.74
1990	209.38	162.24	165.68	102.32	82.64	87.36	67.40	60.68	64.76	99.73	209.61	179.26	124.23	1490.74
1991	193.44	181.21	384.18	191.26	134.45	89.46	76.85	76.80	83.07	68.61	72.76	63.02	134.61	1614.09
1992	88.37	72.44	164.48	73.95	48.64	46.66	38.76	42.86	42.20	60.48	46.21	46.87	63.40	760.81
1993	120.64	330.86	333.28	231.61	161.62	72.40	68.00	61.72	49.71	85.69	220.78	371.03	173.93	2087.13
1994	353.44	686.69	508.89	461.82	199.66	112.38	94.26	73.68	82.92	84.67	91.86	90.00	236.84	2830.06
1995	167.68	180.28	363.76	222.72	88.97	67.66	66.40	61.16	68.41	60.96	74.66	83.01	122.88	1474.63
1996	196.08	333.02	286.66	268.81	106.48	70.49	64.76	61.69	67.36	60.69	64.09	97.99	139.00	1668.00
1997	194.70	386.32	278.16	106.40	78.61	65.07	68.68	66.81	66.73	66.80	94.44	137.39	130.87	1568.01
1998	290.80	402.08	340.13	236.66	94.17	66.97	61.29	64.92	67.32	72.46	78.86	91.67	163.86	1846.22
1999	146.37	468.02	430.49	296.88	149.26	87.37	78.13	63.49	69.43	83.88	64.18	130.26	172.16	2066.76
2000	332.36	572.83	555.17	309.07	166.81	100.37	83.69	80.08	76.26	113.36	76.97	142.21	217.36	2608.18
2001	494.49	436.07	572.63	277.26	131.68	102.50	88.14	73.70	72.73	79.28	109.46	161.60	216.69	2588.23
2002	119.88	316.41	401.07	240.87	117.63	93.81	80.76	64.96	66.28	87.96	164.90	236.99	166.79	1989.42
2003	240.73	391.17	491.27	307.76	136.36	100.81	82.64	80.01	70.39	73.89	81.87	149.33	183.76	2206.11
2004	114.06	279.86	202.60	129.18	66.59	60.38	59.63	48.32	61.36	80.36	109.11	197.07	117.38	1408.62
2005	218.07	228.26	266.76	166.39	76.46	62.26	61.31	66.96	62.66	64.66	64.96	94.66	116.02	1392.21
2006	216.02	303.30	347.84	291.88	87.86	73.44	60.78	69.44	68.96	67.73	114.49	163.15	163.74	1844.87
2007	289.62	229.37	398.33	326.00	127.48	70.47	66.19	69.49	62.16	60.33	76.04	104.96	166.78	1869.36
2008	280.62	309.97	269.26	111.31	70.93	67.64	66.19	61.16						1195.97
2009														
2010														
Promedio	266.32	397.47	416.42	266.26	126.66	86.18	72.99	67.49	69.64	81.40	106.01	146.70		
Mínimo	88.37	72.44	164.48	73.95	48.64	46.66	38.76	42.86	42.20	60.48	46.21	46.87		
Máximo	629.10	796.34	764.01	631.98	329.41	137.06	116.62	123.36	120.69	144.18	226.69	371.03		
Coeficiente de Variación Standard	130.26	181.46	163.11	108.36	48.88	20.10	16.69	13.90	16.96	18.67	47.46	63.32		

Estación ESTACIÓN TOMA CAHUA
 Cuenca RIO PATIVILCA
 Río RIO PATIVILCA
 Departamento LIMA-ANCASH
 Provincia CAHUA
 Area de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente

CAUDAL NATURAL DEL RIO PATIVILCA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965	45.10	61.40	127.70	56.40	29.10	19.40	16.80	14.00	19.10	29.30	23.80	33.70	39.66	475.80
1966	66.40	67.30	63.20	38.10	37.40	16.90	14.20	13.90	15.70	34.00	27.30	38.90	35.19	422.30
1967	64.00	186.00	122.10	52.10	25.10	22.70	19.70	16.40	14.90	37.44	29.25	28.40	61.51	618.09
1968	41.80	46.40	60.30	33.60	22.20	16.60	13.20	11.30	12.70	23.53	32.60	32.60	28.90	346.83
1969	29.10	56.40	80.60	60.10	22.10	16.40	11.60	6.60	9.00	20.00	26.20	67.40	33.70	404.40
1970	109.60	56.30	63.10	69.90	41.40	28.20	20.25	15.44	21.92	24.68	33.50	46.60	43.32	619.80
1971	48.20	71.00	93.40	53.20	28.50	21.00	16.60	16.38	12.84	21.20	19.60	32.00	36.16	433.92
1972	44.70	53.60	132.90	69.00	33.60	22.90	18.80	14.94	17.69	19.62	22.60	32.90	40.26	482.96
1973	61.70	169.30	107.30	117.80	33.60	23.80	18.00	16.02	17.23	36.60	34.74	53.60	66.62	679.49
1974	75.60	108.80	79.10	61.00	32.70	23.90	18.76	16.34	16.66	20.00	18.73	24.30	41.32	495.88
1975	49.70	63.90	114.10	47.60	34.50	22.40	16.09	15.36	16.56	26.41	26.40	23.90	37.08	444.91
1976	66.40	101.10	89.60	60.60	30.30	21.20	16.10	14.38	15.30	16.78	18.17	20.60	39.12	469.44
1977	48.20	114.10	109.00	54.90	27.30	16.90	12.28	14.36	16.31	18.51	34.10	42.20	42.36	508.16
1978	46.80	114.70	86.10	53.60	21.60	13.60	8.41	9.40	13.93	16.86	30.80	38.40	37.77	463.20
1979	30.70	78.60	106.90	46.00	24.80	17.00	10.89	13.11	17.82	20.60	23.50	12.80	33.46	401.52
1980	46.60	42.10	63.90	43.20	16.50	13.20	8.16	7.51	12.61	27.60	29.50	56.20	29.67	356.08
1981	54.20	182.00	171.90	50.00	23.10	16.60	13.03	8.34	10.27	19.19	38.00	48.30	62.91	634.93
1982	44.90	100.80	64.30	51.10	24.50	16.20	13.60	8.41	12.19	22.63	43.60	40.36	36.88	442.58
1983	72.68	34.07	88.29	94.50	34.68	17.62	15.81	14.14	17.15	14.02	20.63	27.64	37.58	460.93
1984	36.29	192.89	214.89	79.24	44.87	31.43	17.14	15.43	16.71	17.79	27.16	34.10	60.66	727.94
1985	42.90	64.30	92.60	82.00	31.00	19.00	14.06	17.41	16.92	18.85	19.34	28.10	37.20	446.36
1986	70.00	72.70	113.30	90.50	39.60	19.50	11.97	11.83	15.18	17.28	19.96	21.40	41.93	503.21
1987	138.81	163.90	114.16	52.26	34.69	15.30	12.86	13.53	12.83	16.86	26.50	55.80	53.96	647.49
1988	106.80	142.76	63.50	69.30	41.30	16.78	10.68	11.60	13.26	17.49	18.50	32.74	46.39	544.71
1989	76.56	130.14	129.68	24.86	30.94	20.18	17.29	15.92	13.64	19.85	20.44	21.14	43.39	520.62
1990	37.26	44.64	48.77	33.73	20.09	13.23	9.68	9.68	9.68	28.20	21.97	38.97	26.32	315.79
1991	42.16	60.06	66.77	59.68	38.41	13.80	9.04	9.66	9.56	13.01	18.41	38.11	31.47	377.66
1992	29.78	26.72	67.92	34.69	18.26	11.72	9.46	8.93	9.14	11.45	13.10	23.70	21.24	264.86
1993	25.13	80.64	85.31	99.64	57.61	15.00	12.85	12.41	10.93	13.36	18.84	31.82	38.62	463.44
1994	104.42	119.70	85.31	56.66	46.63	19.00	14.59	11.12	11.27	11.34	18.11	28.38	43.87	526.43
1995	37.32	32.39	44.24	42.10	30.16	13.62	9.52	9.30	9.54	11.78	18.60	29.68	24.02	288.25
1996	53.66	114.93	140.30	93.68	32.68	17.04	12.92	11.66	10.76	12.41	16.70	30.10	45.55	546.64
1997	48.60	67.80	64.27	27.40	21.50	14.28	11.32	10.50	10.21	13.66	28.90	57.23	31.31	375.67
1998	75.82	105.40	98.32	68.60	43.40	30.10	26.70	21.06	22.75	26.80	27.01	28.60	47.80	573.56
1999	38.83	125.73	83.20	68.40	45.20	36.42	26.86	18.51	22.47	28.20	30.93	45.72	47.46	569.46
2000	39.63	86.88	89.72	44.86	28.86	22.36	17.80	16.68	14.06	19.92	18.81	35.27	36.24	434.83
2001	86.32	80.98	129.68	51.43	28.67	20.84	19.78	12.72	16.71	19.84	41.37	39.74	45.66	547.98
2002	34.13	56.73	82.30	57.14	26.15	19.75	14.06	10.20	10.37	20.71	34.79	45.64	34.33	411.97
2003	57.09	90.42	95.15	58.92	25.66	14.24	11.15	10.68	12.83	21.64	25.77	35.98	38.29	469.43
2004	29.15	58.27	45.46	37.10	18.10	15.56	13.76	12.46	13.10	23.33	36.42	44.22	28.91	346.93
2005	47.47	46.89	69.49	44.11	19.64	14.87	16.16	13.12	12.41	14.09	17.16	29.36	27.81	333.77
2006	38.03	62.47	77.76	79.10	28.12	19.23	15.81	14.15	16.33	19.89	29.86	47.36	37.26	447.10
2007	62.68	56.77	73.89	71.70	44.87	19.17	14.72	13.77	14.04	16.83	23.23	22.46	36.17	434.04
2008	56.24	69.43	55.51	52.49	24.24	16.86	14.24	12.38						291.39
2009														
2010														
Promedio	55.91	86.60	91.43	58.69	30.98	18.95	14.65	12.97	14.27	20.47	26.67	35.93		
Mínimo	25.13	26.72	44.24	24.85	16.50	11.72	8.16	6.60	9.00	11.34	13.10	12.80		
Máximo	138.81	192.89	214.89	117.80	57.61	36.42	26.70	21.06	22.75	37.44	43.60	67.40		
ación Standard	24.21	42.91	34.40	19.94	9.11	5.18	4.09	3.14	3.53	6.38	7.27	11.53		

Estación CIRATO
 Cuenca RIO CHANCAY
 Río CHANCAY
 Departamento LAMBAYEQUE
 Provincia
 Área de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente DUKE - ENERGY

CAUDAL NATURAL DEL RIO CHANCAY

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1950														
1951														
1952														
1953														
1954														
1955														
1956														
1957	16.76	33.16	58.27	78.76	35.89	18.63	9.70	6.82	7.41	8.15	25.26	16.18	26.25	314.99
1958	44.16	22.33	51.36	44.65	41.34	19.45	10.29	6.18	7.63	17.43	14.45	10.65	24.16	289.92
1959	9.82	23.71	53.66	70.44	43.41	18.70	10.61	6.19	6.75	13.71	17.38	22.31	24.72	296.69
1960	25.40	43.93	42.73	60.26	48.55	16.54	10.12	5.92	8.26	9.22	14.37	18.88	25.35	304.18
1961	36.86	28.99	38.30	48.45	40.19	20.21	10.56	6.11	7.30	7.55	9.62	19.01	22.76	273.16
1962	34.81	80.15	57.55	79.01	30.24	14.81	9.92	6.13	6.86	6.32	10.36	9.97	28.84	346.13
1963	8.96	8.07	44.43	41.71	22.02	8.78	8.40	6.76	5.70	10.19	18.35	33.52	18.07	216.89
1964	44.36	46.66	41.97	67.45	33.63	17.57	11.02	6.39	12.12	28.09	44.89	20.58	31.23	374.73
1965	22.86	24.67	57.54	68.69	33.39	14.96	12.32	6.42	10.38	24.70	44.95	21.53	28.53	342.41
1966	43.31	21.27	29.60	31.89	41.12	15.50	9.74	6.15	7.50	36.47	29.60	15.21	23.96	287.36
1967	48.23	73.85	58.62	32.12	27.29	13.96	10.21	6.46	6.49	27.21	18.08	15.66	28.18	336.18
1968	12.10	14.33	37.98	16.07	14.84	8.09	8.55	6.10	15.34	47.56	22.61	11.57	17.93	216.14
1969	23.46	33.79	53.20	98.57	27.69	21.93	10.58	5.62	9.32	16.88	33.90	52.91	32.32	387.86
1970	42.84	23.11	45.21	48.45	68.79	26.05	11.87	5.92	12.58	41.86	36.15	51.70	34.54	414.53
1971	51.01	62.20	106.02	104.62	45.91	30.00	13.14	3.07	18.84	54.32	39.15	41.59	47.49	569.87
1972	46.12	28.01	83.38	67.28	37.11	20.36	11.83	5.15	10.42	16.71	17.71	26.01	30.84	370.09
1973	29.08	27.79	52.31	135.27	50.83	30.15	19.62	4.74	31.29	40.37	44.95	31.86	41.62	498.26
1974	46.99	69.75	52.94	39.24	30.55	22.56	12.18	4.84	17.43	49.98	29.31	32.41	34.02	408.18
1975	61.86	75.46	111.58	119.98	57.93	31.20	16.99	4.65	26.59	64.13	32.55	16.85	51.65	619.77
1976	45.37	53.98	61.39	69.68	36.59	28.60	12.21	4.70	8.07	7.18	9.11	11.69	29.05	348.57
1977	30.77	90.73	66.83	62.84	37.33	22.67	11.66	6.08	9.46	12.29	20.09	29.83	33.38	400.58
1978	14.40	15.54	30.65	37.44	44.41	19.00	10.91	6.11	10.38	9.68	18.02	21.08	19.80	237.62
1979	28.47	23.73	81.10	50.99	36.89	18.46	12.15	6.94	16.99	10.61	9.58	9.62	25.46	305.53
1980	8.14	15.83	29.38	28.06	17.32	11.88	8.33	6.11	5.09	29.28	40.61	37.32	19.78	237.36
1981	16.91	71.43	53.19	47.57	20.57	22.24	10.85	5.08	7.64	25.26	29.63	34.15	28.71	344.62
1982	25.99	39.42	32.95	53.08	43.04	21.92	11.88	6.29	11.25	44.31	35.91	71.50	33.13	397.54
1983	76.87	41.15	79.15	108.64	68.88	30.75	12.03	5.34	13.47	15.54	12.88	32.16	41.41	496.86
1984	18.12	110.99	86.25	68.19	63.46	28.41	17.13	5.77	15.07	50.62	23.41	26.37	42.82	513.79
1985	16.17	17.78	30.61	19.25	16.78	10.16	8.58	6.20	9.54	22.29	10.52	19.46	16.60	187.24
1986	34.74	42.02	34.02	89.93	47.21	18.30	11.37	5.21	9.10	16.41	35.82	31.65	31.32	375.78
1987	83.57	67.90	39.72	29.37	28.70	12.59	9.95	5.00	12.97	18.09	21.79	16.71	28.86	346.36
1988	36.98	64.36	39.13	52.98	37.61	20.74	11.64	6.69	10.49	20.17	35.13	20.74	29.72	356.66
1989	69.06	100.27	75.53	93.64	31.51	16.42	10.62	7.39	11.87	42.65	21.61	13.60	41.16	483.97
1990	8.76	28.45	27.33	35.06	30.51	29.14	12.67	6.90	6.94	29.34	30.65	36.06	23.48	281.81
1991	14.03	27.18	84.86	57.59	48.36	14.21	8.23	5.58	5.45	7.08	11.01	15.09	24.89	298.67
1992	25.16	14.67	29.92	52.47	31.04	18.88	8.72	5.82	9.79	19.33	14.39	9.80	20.00	239.99
1993	14.41	46.18	64.18	121.17	58.10	25.46	13.64	8.60	10.31	32.79	49.57	24.91	39.11	469.32
1994	66.99	74.49	98.44	91.40	38.09	20.27	11.26	6.64	6.39	7.10	21.39	34.63	39.76	477.09
1995	17.45	46.48	44.72	52.23	27.68	13.96	10.10	7.26	5.97	13.84	38.28	41.30	26.61	319.27
1996	54.77	76.45	96.57	73.18	33.30	19.11	10.82	7.91	7.95	27.89	25.89	12.41	37.17	446.06
1997	10.71	58.53	37.33	40.33	26.69	13.03	7.65	5.03	4.76	6.87	22.20	43.47	23.05	276.60
1998	59.33	64.96	92.64	135.29	56.16	21.18	10.37	7.39	8.82	12.56	22.08	10.22	41.75	500.99
1999	23.87	97.13	62.81	76.04	55.24	41.87	28.95	13.02	18.86	32.47	16.08	39.39	42.14	505.72
2000	17.13	52.42	89.07	86.05	66.37	28.59	15.79	10.80	13.44	11.59	6.71	32.71	38.89	430.66
2001	53.82	42.49	132.40	97.95	38.71	22.70	11.31	6.99	16.98	13.29	28.20	36.02	41.74	500.85
2002	26.01	43.97	99.70	83.08	30.50	17.47	10.33	6.19	5.62	15.32	36.29	27.68	33.51	402.16
2003	23.44	56.14	42.00	57.45	33.56	23.75	11.81	6.71	6.83	8.47	15.00	20.33	25.46	305.49
2004	23.44	17.32	32.29	39.03	36.90	13.41	10.86	5.45	6.16	19.91	56.68	52.48	26.16	313.93
2005	25.51	47.25	140.12	65.73	20.87	9.95	5.95	4.62	4.09	27.11	20.78	19.85	32.65	391.84
2006	34.17	95.08	188.92	97.88	22.41	18.67	8.71	6.73	7.36	5.95	16.70	43.74	45.53	546.32
2007	48.72	34.66	86.68	101.63	53.10	15.99	8.55	6.38	5.22	16.63	45.50	17.91	36.75	440.99
2008	58.26	100.99	106.88	99.45	60.73	27.73	13.47	10.55						478.06
2009														372.35
2010														
Promedio	33.86	48.48	64.87	67.84	39.03	20.13	11.46	6.37	10.40	22.60	25.89	26.71		
Mínimo	8.14	8.07	27.33	16.37	14.84	8.08	5.95	3.07	4.98	5.95	6.71	9.62		
Máximo	83.57	110.99	188.92	135.29	68.88	41.87	28.95	13.02	31.29	64.13	66.68	71.50		
ación Standard	18.99	26.80	33.16	29.42	13.71	6.75	3.46	1.60	5.39	14.64	12.18	13.64		

Estación **BALSAS + CEDROS**
 Cuenca **Santa**
 Río **Santa**
 Departamento **Ancash**
 Provincia
 Área de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente **DUKE ENERGY EGENOR**

CAUDAL NATURAL DEL RIO SANTA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1950														
1951														
1952														
1953														
1954	239.37	133.66	200.66	90.03	68.03	46.13	37.49	37.23	43.74	52.87	61.67	83.28	91.17	1094.06
1955	100.24	280.44	304.34	219.92	68.53	46.85	34.68	30.75	30.98	48.03	59.29	91.71	109.65	1316.76
1956	103.03	193.33	204.55	208.36	83.57	46.11	32.74	29.59	34.19	54.43	56.28	73.49	93.31	1119.67
1957	89.41	169.04	195.42	137.21	72.79	41.55	35.79	35.83	42.14	66.69	93.72	105.20	90.40	1084.79
1958	131.21	124.35	212.93	142.95	76.49	47.04	36.87	36.08	45.95	52.49	77.07	73.56	88.08	1056.99
1959	81.01	110.13	181.54	128.50	86.27	51.68	39.49	45.86	41.46	67.39	67.75	107.33	84.03	1008.41
1960	191.90	258.12	317.37	182.66	75.47	54.45	43.99	45.60	38.04	52.08	68.05	76.11	116.99	1403.84
1961	164.77	118.47	189.55	192.60	75.63	42.60	31.90	29.14	26.82	37.51	81.32	133.83	93.68	1124.14
1962	198.27	274.68	366.83	171.07	52.23	41.21	34.71	35.94	40.68	40.30	67.77	76.52	116.68	1400.21
1963	130.59	149.02	286.31	193.23	71.28	40.08	31.80	32.26	39.77	45.89	89.73	146.66	104.72	1266.62
1964	131.33	176.79	211.64	171.18	83.10	40.32	36.01	33.41	30.69	53.25	74.12	62.50	92.03	1104.34
1965	73.84	104.87	234.63	109.04	63.08	36.07	29.54	29.97	45.96	67.35	72.15	97.65	80.35	964.16
1966	159.81	151.99	122.47	82.16	61.56	44.24	41.36	42.72	48.98	87.20	93.89	97.73	86.18	1034.11
1967	136.84	373.59	323.13	101.53	61.22	39.66	31.35	30.17	35.18	75.01	70.15	73.89	112.64	1351.72
1968	96.73	99.72	130.64	70.25	41.88	33.95	29.96	27.45	38.54	61.18	69.99	80.01	65.03	780.30
1969	87.42	102.92	141.73	137.13	66.03	50.44	37.46	39.63	40.29	70.05	86.96	153.79	84.49	1013.85
1970	188.26	121.47	128.41	163.18	127.30	60.64	45.66	45.29	48.27	70.24	97.02	131.82	102.30	1227.56
1971	139.85	210.76	294.38	140.97	59.87	42.03	36.46	36.45	33.91	58.66	62.58	111.01	102.24	1226.93
1972	137.39	167.20	273.99	204.56	100.42	59.24	39.43	36.08	37.97	49.45	71.22	100.00	106.41	1276.96
1973	127.66	127.54	226.79	235.37	101.37	44.73	34.64	33.86	39.70	83.10	117.33	139.85	109.33	1311.94
1974	203.60	298.29	278.11	166.65	63.94	45.11	31.89	28.70	28.54	43.30	62.91	83.71	111.23	1334.75
1975	119.80	138.40	283.46	153.99	90.90	44.91	31.11	32.32	35.91	51.90	63.60	69.18	92.96	1116.48
1976	118.05	160.73	175.84	98.63	50.16	36.13	25.75	24.03	27.63	47.07	52.46	67.01	73.52	883.49
1977	120.39	190.22	188.73	87.71	55.50	36.67	32.08	37.57	38.90	48.34	94.40	97.73	85.69	1028.24
1978	100.37	141.92	113.53	85.16	56.33	38.84	34.09	33.92	43.98	45.21	79.81	93.41	72.21	866.57
1979	96.70	149.13	261.97	114.09	63.55	44.90	37.25	37.34	40.92	51.80	66.91	75.51	86.67	1040.07
1980	93.77	90.66	85.73	71.82	43.18	39.03	30.95	33.79	50.00	67.26	81.55	121.19	67.41	806.93
1981	89.92	97.51	190.74	98.02	49.20	36.33	31.39	28.11	26.39	56.51	88.69	86.01	73.24	878.82
1982	90.21	146.82	60.00	84.36	50.37	36.93	29.99	27.19	29.28	59.96	91.94	116.72	88.66	823.77
1983	140.51	101.50	163.64	173.25	59.66	43.88	35.06	31.93	32.56	45.73	62.47	92.09	81.86	982.28
1984	72.86	258.34	308.31	172.47	94.69	46.12	29.38	26.26	28.96	63.86	51.89	85.01	103.18	1238.15
1985	109.71	115.34	128.21	112.55	56.30	30.76	25.61	27.15	70.58	63.95	90.25	80.07	75.87	910.48
1986	188.23	158.83	144.99	143.26	60.02	34.64	28.06	26.04	33.98	51.78	74.80	94.63	86.61	1039.26
1987	198.54	180.38	143.56	96.45	61.00	35.82	30.42	24.46	44.94	60.36	87.09	123.54	90.55	1086.56
1988	172.39	169.59	116.49	136.85	70.54	38.09	30.34	30.34	43.09	56.90	70.86	66.88	83.53	1002.36
1989	138.59	205.80	217.89	190.88	65.65	37.85	27.77	27.29	29.67	60.87	64.53	56.96	93.65	1123.75
1990	106.86	100.68	97.77	74.97	51.22	31.34	23.90	25.18	28.47	66.49	100.83	85.62	66.11	793.33
1991	90.01	104.35	242.98	75.96	67.09	38.14	30.83	32.01	29.50	44.35	45.23	70.82	72.61	871.27
1992	78.53	70.49	99.82	85.46	46.51	32.06	25.67	28.19	28.23	39.84	43.54	55.22	62.80	633.57
1993	94.02	180.52	204.81	190.81	76.75	36.54	27.10	25.32	42.02	68.44	132.95	157.07	103.03	1236.33
1994	219.66	296.86	272.06	179.82	73.47	40.29	29.58	28.48	26.93	31.18	51.15	75.05	110.38	1324.52
1995	109.71	105.73	171.60	161.81	62.71	39.61	27.86	33.15	36.48	43.11	76.78	102.92	80.96	971.47
1996	148.48	201.35	216.78	177.42	62.26	40.58	34.81	29.67	30.73	47.35	52.42	53.57	91.28	1095.41
1997	87.92	155.64	105.10	59.26	44.16	34.35	27.57	29.46	41.03	44.67	91.49	217.54	78.18	938.18
1998	302.16	503.00	565.64	366.13	115.25	47.71	33.04	33.19	36.56	67.68	72.37	56.83	183.30	2199.55
1999	95.29	410.79	294.39	155.09	78.52	40.89	29.93	27.34	37.88	40.76	54.55	119.25	115.39	1384.68
2000	84.57	330.20	484.89	275.28	120.11	43.94	30.11	24.67	26.20	33.62	48.34	85.77	132.31	1587.69
2001	325.14	125.56	266.06	138.79	57.80	32.91	26.58	22.39	32.80	40.80	128.49	134.39	110.97	1331.69
2002	106.53	158.18	267.91	200.64	55.38	33.53	31.81	27.24	29.64	55.76	122.88	157.89	103.96	1247.40
2003	151.22	155.27	250.41	140.20	55.62	34.63	27.16	24.88	29.74	47.54	50.29	107.47	89.54	1074.42
2004	76.40	110.71	84.49	79.28	43.62	26.25	21.24	21.73	24.12	54.44	94.51	102.09	61.57	738.87
2005	103.26	110.74	157.89	92.70	49.29	33.33	29.49	28.02	32.08	44.86	52.43	97.70	69.32	831.78
2006	86.05	130.25	238.00	275.95	54.42	36.27	25.93	22.31	25.75	42.13	62.69	128.70	94.04	1128.46
2007	139.77	120.10	290.73	224.30	72.43	34.38	25.23	25.77	24.16	41.58	63.05	63.13	93.72	1124.61
2008	155.81	194.40	203.31	151.41	54.53	32.10	25.24	22.87						839.67
2009														
2010														
Promedio	133.16	174.84	216.78	148.61	67.79	40.43	31.74	30.94	36.13	64.12	76.30	98.09		
Mínimo	72.86	70.49	60.00	59.26	41.88	28.25	21.24	21.73	24.12	31.18	51.54	63.87		
Máximo	325.14	503.00	565.64	366.13	127.30	60.64	45.66	46.86	70.58	87.20	132.95	217.54		
ación Standard	54.13	85.96	94.61	60.69	19.05	6.89	5.02	5.91	8.45	12.10	20.76	32.05		

Estación : KM 106
 Cuenca : VILCANOTA
 Río : VILCANOTA
 Departamento : CUZCO
 Provincia :
 Área de Captación :
 Latitud :
 Longitud :
 Elev :
 Fuente : EGEMSA

CAUDAL NATURAL DEL RIO VILCANOTA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965														
1966														
1967														
1968	282.19	325.96	260.74	103.06	60.66	38.16	30.08	30.06	29.33	34.60	44.03	91.69	110.86	1330.32
1969	110.18	244.32	308.03	164.61	72.66	48.19	37.09	31.36	27.87	40.37	68.76	142.40	107.16	1286.83
1960	390.36	474.69	184.34	162.39	78.72	48.94	37.41	33.62	33.66	39.07	86.26	120.31	139.96	1679.66
1961	228.44	307.43	361.98	201.43	104.23	67.64	40.88	34.16	31.49	34.60	97.67	229.26	143.27	1719.20
1962	349.49	406.49	461.49	218.60	94.97	60.68	46.66	32.61	33.89	37.26	44.18	177.84	163.49	1961.86
1963	386.39	604.86	399.41	271.39	104.76	71.29	66.86	40.40	42.66	48.03	74.78	160.28	180.01	2160.10
1964	162.60	216.66	264.23	158.74	77.64	47.91	36.69	30.81	32.38	37.19	49.20	63.24	98.08	1176.99
1965	117.27	266.13	305.03	167.33	72.96	43.79	36.66	29.28	36.01	40.48	61.40	170.43	110.40	1324.75
1966	187.23	277.27	242.82	86.64	63.34	38.36	32.01	29.94	32.72	68.28	88.11	166.62	107.60	1291.24
1967	118.06	169.13	346.60	146.70	64.64	44.18	36.02	30.62	31.13	67.17	64.46	166.86	104.28	1261.31
1968	177.86	402.36	327.91	167.76	63.76	43.01	39.69	32.14	29.47	36.66	88.61	116.86	126.40	1616.86
1969	200.13	286.79	231.23	168.03	64.23	42.38	34.73	28.96	28.22	38.86	48.74	96.93	106.69	1268.23
1970	226.20	246.13	283.34	209.61	87.11	61.36	39.86	36.76	36.72	42.66	60.70	163.83	122.69	1472.27
1971	279.89	488.98	310.72	169.82	74.49	60.91	41.06	36.94	34.89	40.82	44.08	99.92	138.64	1662.61
1972	280.32	227.77	240.13	166.91	72.16	44.12	38.67	36.38	36.69	38.90	64.33	133.31	113.96	1367.48
1973	319.31	396.02	393.93	274.14	113.99	67.64	44.92	38.73	37.86	43.22	60.29	96.72	166.30	1876.66
1974	292.20	602.88	410.92	187.49	76.36	61.69	39.28	40.39	38.06	39.89	46.67	67.69	149.28	1791.40
1975	136.37	341.26	305.49	141.18	78.32	46.14	36.26	32.03	30.98	37.77	44.40	128.94	113.01	1366.14
1976	323.08	311.41	283.66	143.69	66.10	46.10	37.16	31.86	43.14	40.48	42.16	68.81	118.96	1427.46
1977	136.11	191.47	281.62	136.61	82.44	36.77	32.63	30.21	30.00	36.28	76.26	82.33	93.48	1121.72
1978	330.24	344.69	283.70	169.93	74.96	44.02	34.00	29.09	28.86	31.06	62.26	164.44	132.27	1687.23
1979	318.10	322.04	310.40	176.69	72.00	42.76	34.33	34.23	38.91	42.14	73.82	122.27	132.21	1686.68
1980	197.06	290.24	296.83	171.26	73.09	48.04	38.39	34.82	33.14	62.88	69.86	99.92	117.13	1405.50
1981	332.61	366.19	386.38	248.06	101.69	68.07	43.77	40.16	37.09	76.38	138.69	203.71	168.30	2019.60
1982	610.94	319.69	388.02	226.30	93.38	68.77	43.96	36.47	61.66	171.69	198.41	177.96	219.67	2566.67
1983	219.71	221.41	172.77	106.97	67.96	38.71	33.22	31.10	33.39	39.13	60.16	63.74	88.94	1067.26
1984	286.93	426.66	334.99	242.72	98.71	64.00	37.74	33.66	29.32	64.12	161.72	217.02	164.62	1976.49
1985	303.26	294.66	283.06	216.33	112.66	67.83	38.72	31.26	37.61	38.93	135.06	170.01	144.02	1728.26
1986	271.19	312.34	439.34	238.11	117.68	66.66	39.64	33.36	36.09	37.19	62.93	79.28	142.64	1711.70
1987	338.38	262.79	137.11	86.18	47.86	34.96	34.19	28.60	30.02	41.46	91.39	173.16	107.92	1296.07
1988	281.64	264.72	296.86	318.41	109.84	60.64	36.73	31.14	31.29	36.14	41.66	67.10	130.34	1664.04
1989	207.26	303.36	328.11	196.67	82.00	60.30	34.71	29.87	28.64	36.43	42.07	64.61	116.90	1402.82
1990	260.78	178.93	143.83	88.11	61.96	46.68	39.24	33.63	32.70	60.13	137.89	166.44	100.86	1210.24
1991	188.30	202.34	226.94	142.80	62.11	47.11	36.66	33.27	33.30	39.16	62.94	81.18	96.60	1146.01
1992	226.26	182.61	186.26	74.86	46.80	39.03	37.09	37.18	36.62	41.97	71.68	73.94	87.67	1062.07
1993	221.67	236.06	237.62	146.23	69.76	42.46	36.32	36.72	36.66	43.89	113.81	216.79	119.66	1434.76
1994	299.86	428.23	346.96	227.73	114.26	66.39	41.39	34.96	33.22	40.01	64.94	133.96	160.82	1809.89
1995	226.80	128.47	329.23	161.66	68.83	41.64	36.08	33.01	33.97	38.10	67.13	77.39	101.76	1221.10
1996	166.80	276.69	208.49	162.46	68.02	41.72	36.09	34.92	33.41	37.77	64.87	128.96	106.68	1268.19
1997	243.17	389.68	447.76	166.42	81.66	63.87	37.26	31.16	29.31	43.29	92.13	122.36	144.76	1736.96
1998	176.66	262.97	208.16	111.37	64.83	43.17	36.74	36.47	38.33	49.26	61.91	90.66	96.79	1149.60
1999	181.60	280.63	321.86	197.28	96.06	46.62	34.29	32.18	36.29	41.79	48.00	113.77	118.92	1427.06
2000	240.60	383.66	341.69	109.72	67.00	43.69	36.14	34.71	33.28	61.08	42.99	73.36	120.64	1447.66
2001	363.36	333.22	406.18	188.16	84.44	66.90	48.62	41.02	39.78	49.44	78.29	107.99	149.61	1796.37
2002	216.00	404.34	390.23	227.83	103.73	68.23	67.33	48.00	60.80	72.08	112.90	184.98	161.37	1936.43
2003	309.16	386.87	422.04	304.33	99.90	80.44	64.09	64.36	44.86	46.68	67.39	106.66	164.66	1974.66
2004	369.66	396.62	190.71	164.03	76.48	60.73	64.03	42.33	49.42	62.67	79.06	142.17	137.98	1666.80
2005	168.81	300.71	269.66	170.79	68.43	41.36	37.64	36.24	38.09	59.27	66.40	97.62	110.41	1324.90
2006	316.66	289.49	246.49	237.81	70.97	41.26	33.29	34.38	36.11	46.02	84.89	171.34	133.97	1607.69
2007														
2008														
2009														
2010														
Promedio	264.27	312.91	301.23	177.06	78.28	48.97	39.39	34.63	34.87	44.62	72.06	126.76		
Mínimo	110.18	128.47	137.11	74.35	46.80	34.95	30.06	28.60	27.87	31.06	41.66	68.81		
Máximo	610.94	604.86	481.49	318.41	117.68	80.44	67.33	64.36	60.80	76.38	171.69	229.26		
Norma Standard	83.42	90.21	80.68	66.86	19.47	9.10	7.43	4.90	6.06	9.89	31.87	46.66		

CG0737

Estación Yanango
 Cuenca Tarma
 Río Tarma
 Departamento Junín
 Provincia
 Área de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente EDEGEL

CAUDAL NATURAL DEL RIO TARMA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965	21.31	40.71	48.31	24.99	12.58	9.80	9.43	9.18	13.96	14.37	15.94	25.59	20.61	246.16
1966	36.15	36.30	29.13	14.59	16.14	9.93	8.66	8.35	10.08	15.54	20.51	30.48	19.66	236.85
1967	35.35	57.33	71.01	33.15	13.18	10.61	9.55	9.45	10.80	22.86	13.38	20.04	25.56	306.72
1968	36.54	46.55	48.49	21.39	13.27	10.90	9.75	10.29	10.72	18.07	17.84	20.56	22.03	284.36
1969	17.46	37.02	21.13	19.01	10.88	10.76	9.56	8.43	9.18	12.27	13.86	27.11	16.39	196.69
1970	40.63	39.97	33.94	31.66	14.54	11.34	10.59	9.36	12.39	11.05	14.96	26.97	21.45	257.41
1971	47.82	43.36	51.78	49.51	14.86	11.40	10.21	9.33	8.74	12.60	10.85	21.38	24.32	291.86
1972	34.88	25.71	52.96	35.63	14.80	10.65	9.69	8.77	11.18	14.81	14.25	26.46	21.66	259.80
1973	52.70	65.00	56.02	37.42	14.49	12.23	11.38	11.69	13.87	23.34	18.51	46.24	30.24	362.88
1974	58.78	62.20	46.68	43.28	14.48	10.68	12.54	10.56	10.95	15.76	13.03	21.49	26.70	320.44
1975	41.00	46.88	58.33	18.96	17.23	11.76	9.56	9.04	13.17	14.61	18.25	27.24	23.84	286.03
1976	51.38	47.20	36.65	23.82	12.84	10.77	9.23	9.82	13.90	10.07	12.69	14.78	21.10	263.14
1977	32.82	33.17	46.85	24.46	14.79	10.53	9.18	9.45	11.65	12.16	37.92	19.30	21.86	262.27
1978	40.35	35.41	43.20	25.60	14.85	10.84	9.39	8.03	12.07	11.96	18.42	18.17	20.68	248.18
1979	18.45	45.93	66.80	39.43	13.03	10.07	9.41	9.35	9.07	12.49	14.40	14.26	21.89	262.69
1980	19.40	35.37	42.58	17.98	11.04	8.79	9.54	9.34	9.20	19.34	14.46	19.28	18.03	216.31
1981	26.88	60.08	44.28	26.35	12.55	9.91	8.98	10.59	10.15	21.07	27.00	39.03	24.74	296.88
1982	45.98	50.40	37.51	26.00	13.62	12.35	11.03	10.99	12.46	20.71	33.34	26.99	25.12	301.38
1983	32.76	31.74	36.86	32.90	13.11	11.78	10.14	9.86	12.26	13.32	13.78	23.91	20.20	242.41
1984	35.23	88.25	60.57	45.74	14.60	12.11	10.95	11.54	10.63	13.95	22.80	26.18	29.38	362.66
1985	22.02	44.54	43.40	38.27	25.74	12.01	10.48	9.91	12.25	13.61	18.44	26.73	23.12	277.40
1986	46.91	64.74	67.80	37.50	22.11	11.55	11.34	11.39	11.91	12.69	13.54	14.57	27.17	326.04
1987	56.58	41.22	24.48	18.03	12.61	11.59	11.99	10.18	10.41	12.79	15.74	15.02	20.05	240.65
1988	62.10	48.50	29.11	29.75	14.19	10.74	9.83	8.31	10.01	11.47	13.89	11.19	21.59	269.08
1989	20.74	38.74	43.31	32.55	18.66	12.55	10.21	9.83	9.96	15.01	15.77	14.88	20.16	242.21
1990	27.82	22.38	15.64	20.82	12.38	17.70	12.36	10.42	12.13	17.29	44.66	51.68	22.11	265.28
1991	53.33	55.17	38.13	28.80	14.30	13.51	8.81	8.82	7.78	9.85	10.93	11.24	21.72	260.67
1992	13.81	11.09	13.92	10.28	9.05	10.57	10.33	10.10	9.07	12.73	8.32	9.24	10.71	128.61
1993	21.89	35.43	41.86	29.61	20.72	12.81	10.41	11.27	13.65	12.79	23.76	63.45	24.80	297.64
1994	51.43	64.37	47.64	31.08	16.05	12.39	10.63	9.28	9.05	9.20	10.52	11.64	23.61	283.28
1995	16.93	18.29	44.09	17.94	12.66	9.62	8.62	7.60	7.76	7.91	15.18	13.70	15.03	180.30
1996	20.75	25.43	36.87	33.54	13.03	9.03	8.58	8.40	8.83	8.96	9.95	11.69	16.26	195.06
1997	20.63	59.94	36.19	10.74	10.32	11.09	7.95	8.52	9.76	11.74	13.97	26.51	18.95	227.36
1998	31.09	45.94	48.95	21.81	8.49	8.10	9.25	8.16	9.20	11.73	17.73	16.45	19.74	236.90
1999	57.96	98.91	59.95	48.49	24.94	9.55	13.80	12.04	12.24	13.13	14.57	18.85	32.04	384.43
2000	35.71	43.19	54.37	38.58	19.12	12.86	10.14	9.28	8.47	9.16	8.01	16.09	22.08	264.99
2001	43.72	48.86	48.62	32.97	17.21	11.09	9.37	7.78	7.31	9.76	12.61	19.25	22.38	268.55
2002	10.61	35.33	40.54	30.92	15.01	9.09	14.42	7.79	10.26	15.33	25.00	26.38	20.06	240.68
2003	22.07	33.90	39.81	27.61	15.43	9.86	8.07	8.46	7.35	7.48	6.37	18.73	17.09	205.14
2004	14.65	22.68	22.25	12.82	8.67	6.98	7.85	7.80	8.91	18.76	12.77	24.21	14.03	168.36
2005	19.73	22.40	27.61	16.11	8.52	6.34	6.12	5.05	5.39	8.81	6.28	13.29	12.14	145.65
2006	26.71	27.37	33.31	30.13	11.68	8.97	6.46	6.65	6.29	11.02	16.77	19.96	17.11	205.31
2007	29.23	26.38	38.88	28.21	13.99	8.37	7.42	5.98	6.08	10.09	10.69	17.48	16.90	202.81
2008	29.73	35.41	31.13	23.09	11.84	8.24	6.32	5.93						151.69
2009														
2010														
Promedio	33.68	43.16	42.29	28.21	14.40	10.72	9.76	9.15	10.24	13.53	16.55	22.50		
Mínimo	10.61	11.09	13.92	10.28	8.49	6.34	6.12	5.05	5.39	7.48	6.28	9.24		
Máximo	62.10	98.91	71.01	49.51	25.74	17.70	14.42	12.04	13.96	23.34	44.66	63.45		
Coeficiente Standard	14.00	17.26	13.18	9.67	3.79	1.90	1.72	1.64	2.17	3.90	7.70	10.84		

000738

Estación Chimay
 Cuenca Tulumayo
 Río Tulumayo
 Departamento Junín
 Provincia
 Área de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente EDEGEL

CAUDAL NATURAL DEL RIO TULUMAYO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965	87.20	139.50	160.01	97.09	51.65	35.08	32.85	31.38	59.92	62.32	72.72	98.73	77.37	928.46
1966	125.88	127.59	108.12	63.35	74.96	36.06	29.62	27.29	42.46	73.33	83.08	109.26	75.08	900.99
1967	125.62	180.34	220.06	114.40	54.08	38.93	33.07	38.43	42.02	87.41	54.58	83.54	89.37	1072.46
1968	129.94	157.40	158.77	84.53	55.49	41.48	34.78	40.67	52.17	76.85	75.19	82.22	82.46	989.49
1969	73.90	125.86	85.14	80.07	46.35	50.68	40.69	32.55	31.28	49.38	66.60	101.00	66.29	783.50
1970	136.68	134.93	118.79	111.31	67.41	43.48	39.47	42.51	52.86	44.48	64.60	100.08	79.72	956.60
1971	155.36	143.83	172.38	166.89	65.12	44.52	46.98	42.59	38.97	51.29	40.68	82.72	87.61	1051.32
1972	119.43	94.74	168.06	127.16	63.01	39.91	37.32	35.80	44.89	63.16	60.20	96.17	79.16	949.84
1973	173.11	208.03	177.01	132.74	61.51	51.23	48.91	56.15	63.01	84.32	80.43	150.83	107.27	1287.28
1974	185.69	197.21	148.03	147.13	58.65	43.40	58.10	47.50	52.16	69.89	51.42	85.80	96.41	1144.97
1975	136.50	152.43	180.94	77.40	75.72	46.47	44.89	48.27	58.70	58.68	77.38	100.75	88.18	1058.12
1976	164.33	162.44	123.50	94.31	51.50	44.88	49.87	50.41	58.18	34.55	47.71	57.10	77.40	928.79
1977	108.64	113.38	149.03	91.03	62.10	41.29	38.96	44.51	49.39	47.58	124.24	76.83	78.91	946.97
1978	131.22	119.27	139.26	96.10	64.12	49.09	44.58	25.97	53.39	55.21	74.48	74.18	77.24	926.87
1979	72.19	146.01	203.88	139.11	56.40	44.70	50.75	44.60	38.21	49.73	65.71	63.50	81.23	974.76
1980	75.91	123.89	141.82	82.36	46.33	43.43	41.75	55.87	47.33	72.91	60.54	72.24	72.03	864.37
1981	91.12	177.68	137.16	95.30	47.26	40.16	41.56	43.11	38.54	82.80	95.51	127.50	84.81	1017.70
1982	145.80	158.25	125.04	94.53	56.66	53.16	53.35	56.81	60.72	84.37	113.16	97.03	91.57	1098.87
1983	112.78	110.37	122.21	107.67	52.04	49.13	50.86	53.10	52.58	54.42	57.80	89.40	76.03	912.36
1984	118.30	256.72	185.68	140.63	59.24	51.33	46.32	55.41	54.23	59.27	90.12	96.58	101.16	1213.81
1985	88.09	145.78	143.02	136.60	98.59	53.60	49.63	51.22	179.02	59.30	75.29	100.86	98.42	1180.98
1986	155.32	201.37	208.12	126.79	91.65	52.27	55.46	56.41	54.11	58.39	64.21	71.69	99.65	1195.80
1987	176.49	135.04	89.20	75.47	50.65	50.48	59.04	49.58	45.10	52.06	67.95	65.92	76.41	916.98
1988	191.41	154.67	101.69	107.06	60.03	49.25	43.29	38.99	42.70	43.89	55.30	71.16	79.96	969.43
1989	101.61	102.69	124.18	124.29	58.42	52.25	49.87	50.63	50.75	71.21	67.71	62.15	76.31	915.75
1990	91.51	62.30	71.80	68.68	52.82	70.79	49.18	45.31	49.91	109.21	89.10	76.61	69.77	837.20
1991	74.35	96.77	128.47	104.46	66.95	56.53	47.70	43.92	42.16	47.73	74.71	57.03	70.07	840.78
1992	77.63	72.29	99.75	60.35	36.59	38.53	39.80	41.59	37.74	65.32	52.41	38.30	66.02	660.29
1993	92.78	120.70	136.76	107.18	63.53	43.24	45.54	50.14	65.55	66.85	107.88	153.26	87.70	1052.39
1994	151.80	233.03	157.55	116.64	64.93	38.66	31.18	22.40	26.77	63.04	66.08	68.70	86.73	1040.77
1995	145.06	98.50	196.55	100.48	45.03	35.05	29.05	26.72	25.20	44.69	70.09	65.25	73.47	881.67
1996	130.58	161.64	163.36	126.46	64.40	40.33	31.63	32.36	45.31	58.72	50.81	68.41	81.17	973.99
1997	118.27	164.37	137.51	77.86	58.41	37.08	30.64	38.03	42.56	60.12	89.70	120.78	81.28	975.34
1998	182.80	225.33	168.97	105.75	47.82	39.20	31.19	27.47	29.03	69.48	58.83	127.42	92.77	1113.26
1999	179.26	331.55	267.29	167.15	83.19	41.98	34.41	26.81	37.65	61.17	48.58	72.25	112.61	1351.27
2000	149.00	220.50	162.70	106.90	56.00	52.70	53.70	31.40	34.30	114.00	120.00	182.00	106.86	1282.20
2001	158.55	189.50	221.50	111.76	57.58	37.57	33.45	28.05	34.78	49.27	62.27	82.41	88.89	1066.87
2002	72.91	145.10	153.72	107.73	59.43	37.10	78.98	37.13	49.84	79.03	118.16	129.28	89.03	1068.40
2003	126.25	157.14	176.24	121.52	66.04	38.77	28.95	33.76	34.37	41.80	45.86	101.08	80.98	971.76
2004	87.95	155.34	121.42	73.57	52.59	34.96	41.75	37.01	45.20	85.98	91.23	111.39	78.20	938.39
2005	92.31	130.29	152.24	73.51	39.27	27.79	25.55	21.87	31.86	60.72	51.52	86.51	66.12	793.43
2006	134.11	126.18	124.82	128.59	47.91	37.06	25.74	27.04	28.97	55.38	92.13	108.73	78.06	936.66
2007	128.52	130.35	172.97	113.78	58.62	34.54	28.94	24.90	28.88	49.68	61.31	79.01	76.96	911.49
2008	135.60	139.51	114.04	83.80	49.48	32.85	24.55	23.91						603.75
2009														
2010														
Promedio	126.27	152.72	160.43	106.10	59.08	43.66	41.68	39.54	47.74	63.44	72.96	91.76		
Mínimo	72.19	62.30	71.80	60.35	36.59	27.79	24.55	21.87	25.20	34.55	40.68	38.30		
Máximo	191.41	331.55	267.29	167.15	98.59	70.79	78.98	56.81	179.02	114.00	124.24	182.00		
Coeficiente de Variación Standard	34.61	49.82	39.32	26.85	12.17	7.93	11.06	10.66	23.01	16.93	21.16	28.46		

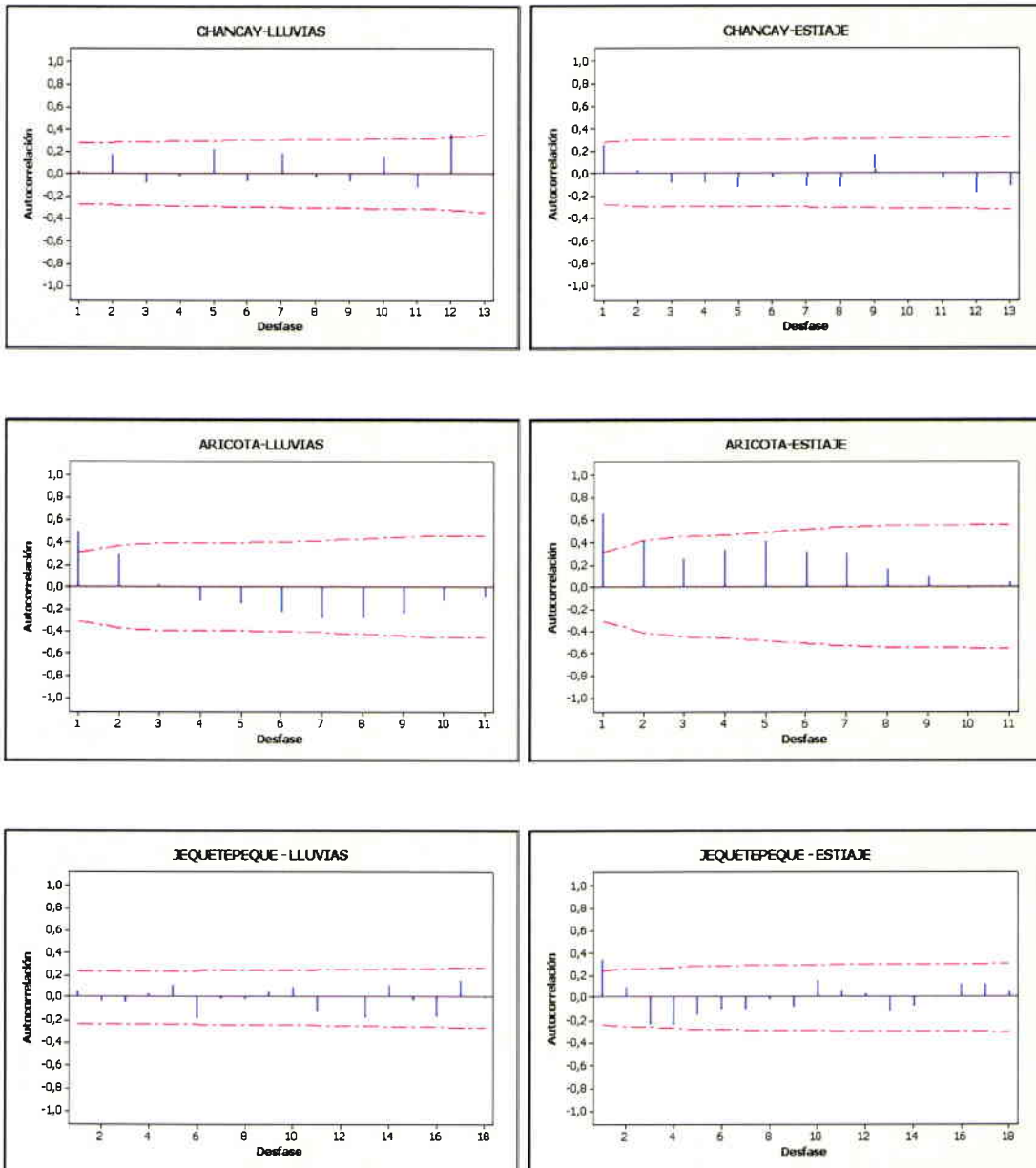
000739

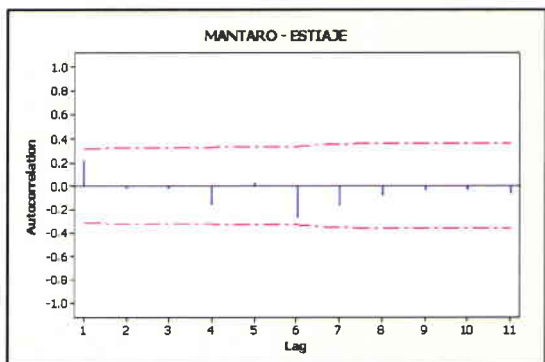
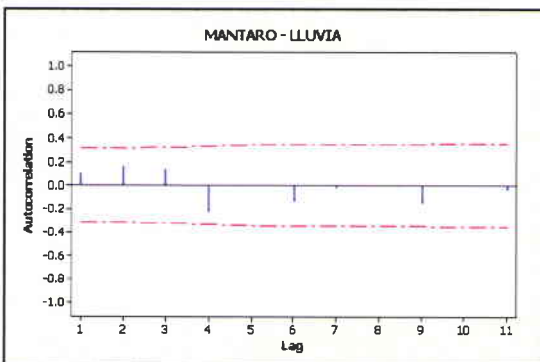
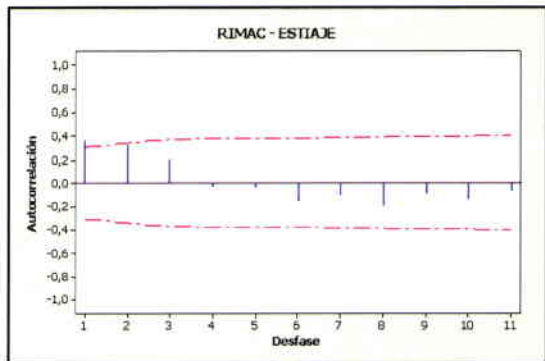
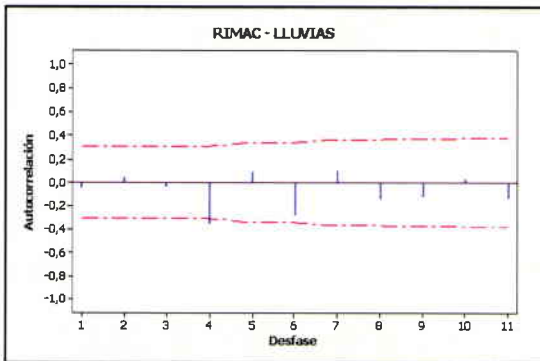
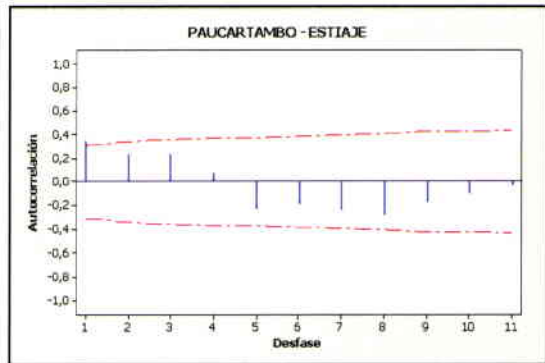
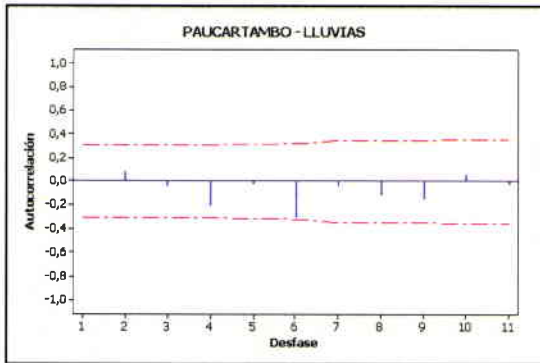
Estación LAGUNA DE ARICOTA
 Cuenca RIO ARICOTA
 Río RIO ARICOTA
 Departamento TACNA
 Provincia CAUDAL NATURAL DEL RIO ARICOTA
 Área de Captación
 Latitud
 Longitud
 Elev
 Fuente EGESUR

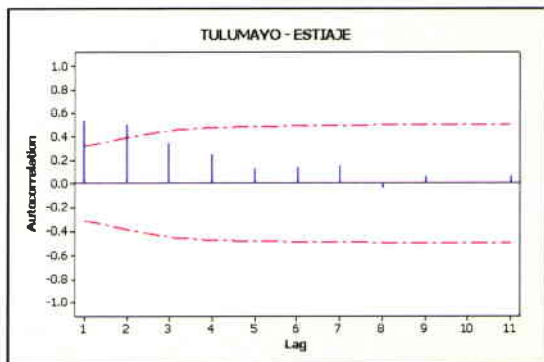
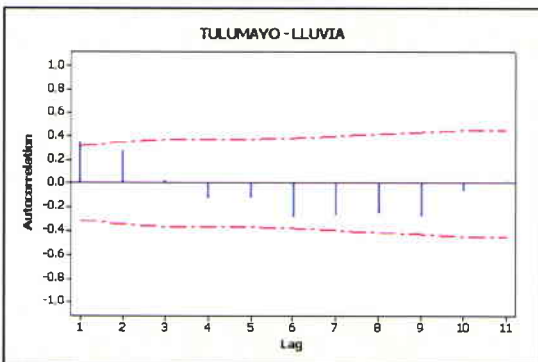
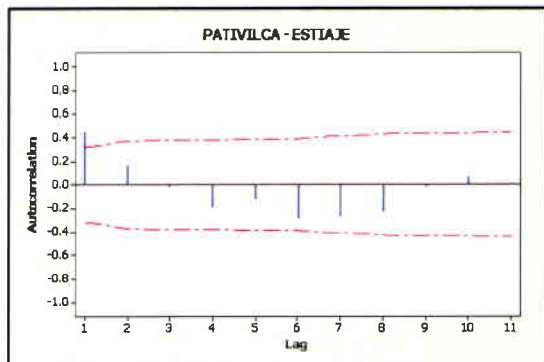
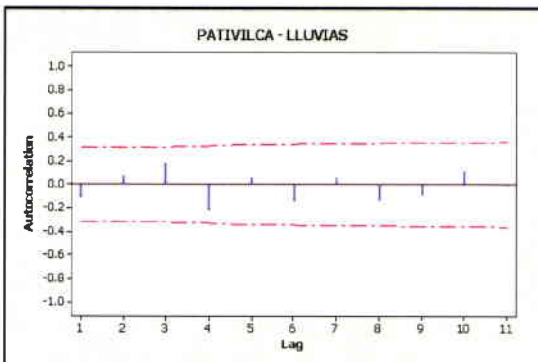
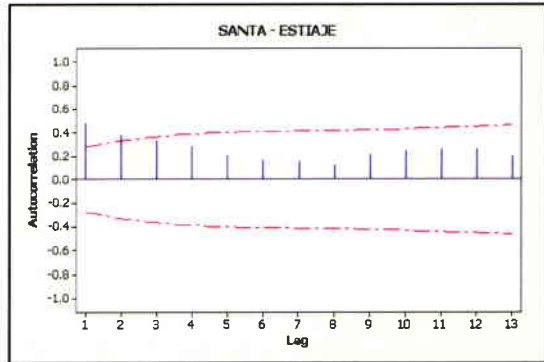
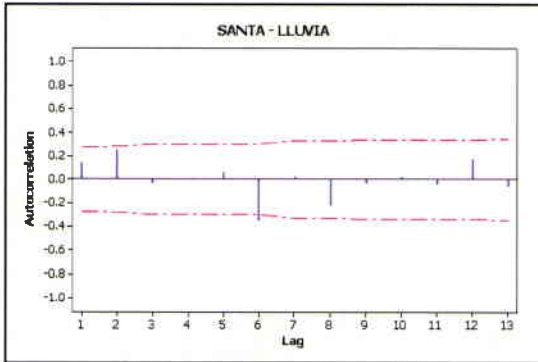
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio	Suma
1960														
1961														
1962														
1963														
1964														
1965	1.00	2.06	1.06	1.01	1.05	1.18	1.08	0.95	1.11	1.04	1.07	0.99	1.13	13.59
1966	0.91	0.95	0.96	0.92	0.94	0.94	0.91	0.93	0.84	0.82	0.81	0.82	0.90	10.76
1967	0.89	2.50	4.47	1.49	1.14	1.07	1.03	0.99	0.98	0.91	0.85	0.84	1.43	17.16
1968	2.51	2.23	3.17	1.25	1.11	1.11	1.04	1.01	0.77	0.75	0.84	0.77	1.38	16.54
1969	1.03	3.02	2.65	0.87	0.78	0.78	0.79	0.85	0.73	0.69	0.67	0.68	1.13	13.53
1970	3.64	1.97	3.16	0.92	0.90	0.87	0.84	0.85	0.86	0.81	0.82	0.89	1.37	16.43
1971	1.73	5.30	3.19	1.00	1.02	1.04	1.04	1.02	0.99	0.78	0.75	0.90	1.56	18.75
1972	10.14	7.27	7.98	1.85	1.36	1.18	1.19	1.09	1.09	0.95	0.95	1.83	3.07	36.87
1973	6.11	20.57	15.35	3.59	1.36	1.11	1.19	1.19	1.01	1.11	0.71	0.74	4.60	54.03
1974	2.59	11.24	9.43	1.71	1.30	1.26	1.18	1.08	1.22	0.94	0.97	1.13	2.84	34.05
1975	4.45	15.30	13.06	1.64	1.54	1.25	1.24	1.16	1.32	1.11	0.95	1.39	3.70	44.39
1976	5.93	6.52	5.29	1.49	1.14	1.12	1.06	0.98	1.08	0.95	0.83	0.84	2.27	27.21
1977	1.87	3.43	7.97	1.66	1.37	1.12	1.05	1.02	1.10	1.01	0.84	0.96	1.95	23.40
1978	3.79	3.40	1.94	1.41	1.31	1.21	1.15	1.12	1.04	0.94	0.88	0.73	1.58	18.91
1979	1.75	1.10	2.18	0.97	0.90	0.85	0.94	0.97	0.90	0.83	0.88	0.88	1.10	13.16
1980	1.15	1.73	1.54	1.07	1.04	1.05	1.00	1.09	1.02	1.06	1.00	1.15	1.16	13.89
1981	1.34	4.63	3.27	1.08	0.95	0.98	1.03	0.98	0.93	0.91	0.90	0.97	1.50	17.95
1982	1.90	1.75	1.60	1.34	1.22	1.03	0.76	0.89	0.86	0.84	0.73	0.78	1.14	13.89
1983	0.45	0.42	0.47	0.81	1.01	1.24	1.20	1.23	1.05	0.97	0.97	1.40	0.94	11.22
1984	2.02	3.74	3.24	1.54	1.23	1.17	1.11	1.15	0.82	0.92	0.94	1.21	1.89	19.09
1985	1.09	6.03	6.08	1.81	1.42	1.36	1.34	1.37	1.19	1.06	0.96	1.25	2.08	24.96
1986	3.03	7.20	4.67	1.35	1.35	1.39	1.30	1.24	1.09	0.97	0.92	1.04	2.13	25.55
1987	10.68	7.20	2.77	1.40	1.15	1.23	1.20	1.15	1.04	0.99	0.87	0.89	2.55	30.58
1988	2.39	1.59	1.79	1.20	1.15	1.29	1.29	1.22	1.13	1.00	0.92	1.50	1.37	16.46
1989	1.71	3.53	2.57	1.29	1.22	1.16	1.07	1.23	0.98	0.87	0.87	1.02	1.46	17.53
1990	1.23	1.28	0.92	0.91	1.03	1.17	1.22	1.18	1.06	0.91	0.84	0.90	1.05	12.86
1991	6.60	2.29	4.36	0.71	0.58	0.62	0.53	0.64	0.49	0.35	0.37	0.27	1.48	17.80
1992	0.40	0.33	0.29	0.54	0.62	0.76	1.03	0.92	0.85	0.87	0.99	2.73	0.86	10.33
1993	4.61	2.19	1.88	1.52	1.33	1.35	1.35	1.56	1.48	1.39	1.35	1.39	1.78	21.40
1994	4.17	11.00	2.68	2.08	1.85	1.85	1.56	1.48	1.44	1.19	1.12	1.27	2.64	31.68
1995	2.20	1.62	3.87	1.38	1.24	1.38	1.38	1.50	1.27	0.99	0.84	0.99	1.56	18.66
1996	1.88	3.36	2.57	1.30	1.09	1.06	1.12	1.28	1.11	0.88	0.88	0.91	1.45	17.44
1997	2.31	9.18	6.07	1.81	1.71	1.56	1.32	1.28	1.36	1.12	0.92	1.04	2.47	29.67
1998	2.97	2.15	1.08	1.17	1.23	1.30	1.12	1.07	0.95	0.86	0.93	1.03	1.32	15.86
1999	1.03	11.77	10.82	2.27	2.10	1.66	1.15	1.28	1.05	1.01	1.01	1.01	3.01	38.14
2000	4.04	9.93	8.50	2.82	1.60	1.58	1.46	1.47	1.19	1.03	0.87	0.80	2.94	35.28
2001	2.22	17.65	17.06	2.59	2.29	2.28	2.37	2.23	1.57	1.63	1.45	1.70	4.59	55.03
2002	1.92	5.81	10.09	4.71	1.79	2.62	2.08	1.57	1.49	1.45	1.23	1.25	3.00	38.00
2003	1.34	1.35	2.71	1.61	1.52	1.44	1.43	1.35	1.28	1.07	0.99	0.97	1.42	17.08
2004	1.79	4.40	1.94	1.38	1.32	1.45	1.64	1.78	1.41	1.10	1.06	0.97	1.69	20.23
2005	2.58	6.39	1.68	1.36	1.12	1.26	1.44	1.47	1.93	1.50	0.92	0.96	1.88	22.60
2006	3.62	7.33	10.40	4.95	2.34	2.23	2.50	2.36	2.13	1.87	1.86	1.78	3.61	43.36
2007	3.62	3.42	6.65	2.47	2.01	1.70	2.08	2.27	1.97	1.21	1.19	1.26	2.49	29.84
2008	6.60	2.13	2.36	1.71	1.67	1.78	1.77	1.61						19.63
2009														
2010														
Promedio	2.93	5.19	4.68	1.64	1.30	1.30	1.26	1.26	1.14	1.01	0.95	1.09		
Mínimo	0.40	0.33	0.29	0.54	0.58	0.62	0.53	0.64	0.49	0.35	0.37	0.27		
Máximo	10.68	20.57	17.06	4.95	2.34	2.62	2.50	2.36	2.13	1.87	1.86	2.73		
Coeficiente de Variación Standard	2.30	4.63	4.04	0.92	0.39	0.40	0.40	0.37	0.33	0.26	0.23	0.40		

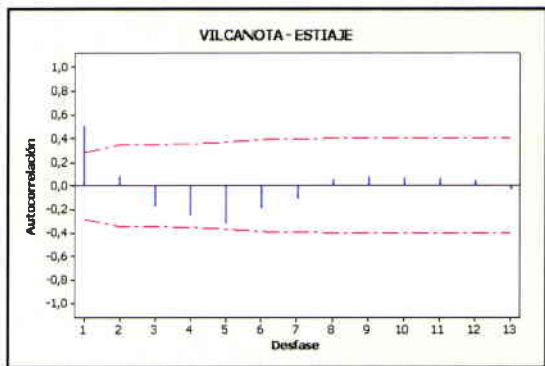
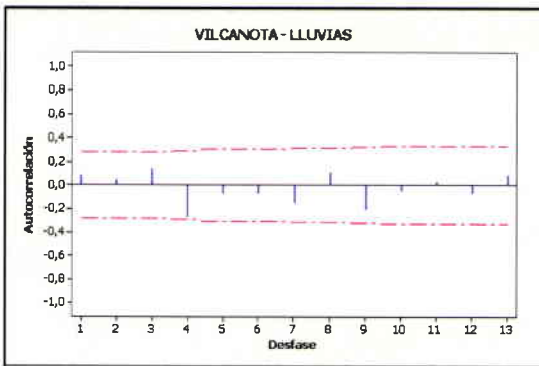
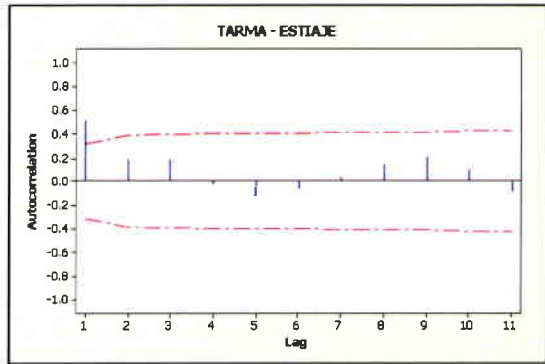
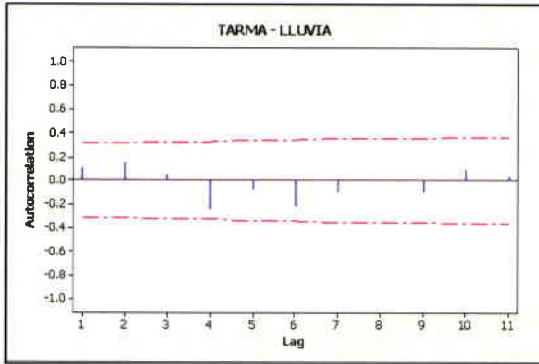
Anexo 5.0

Correlogramas de las diferentes cuencas en estudio.









ON CLIMATE CHANGE IN PERU

Angel Cornejo Garrido

ABSTRACT

During last decades, substantial climate changes have been occurring in different parts of the Earth including South America. One of these changes is the reduction of the area of the glaciers over the tropical and subtropical Andes. At the same time a reduction in the precipitation over the region has been observed. The objective of this manuscript is to present a working hypothesis of the physical mechanisms responsible for such reductions.

In the first part of the article, precipitation from satellites is estimated for a period starting in 1948 up to the present, over the following glaciers basins in the Peruvian Andes: Santa, Mantaro, Rimac and Vilcanota. For the same glaciers we use the TRMM satellite for better estimates but for only the period starting in 1998 when the satellite was launched. The general conclusion is the long term decreasing of the precipitation starting approximately in 1976, which suggested an association with the Pacific Decadal Oscillation (PDO).

Next we analyze the relationship between the interannual rainfall variability over the Andes with the SST over the Pacific Ocean especially over the NIÑO4 region. Our results suggest a substantial association with warm (cold) SST related with negative (positive) rainfall anomalies over the Andes. During the post-1976 period, in association with a predominant PDO positive signal, the SST over NIÑO4 had relatively more frequent warm values, which then explains the presence of frequent negative anomalies of the Peruvian Andes rainfall. In this way the possible relationship between the PDO and the long term rainfall variability over the Andes is established.

Then we tried to understand the atmospheric mechanisms responsible for the reduction of the Andes rainfall in association with the positive PDO signal. Although the post-1976 period was mostly warm over the tropical Pacific, some warm and cool short periods can also be identified. With NCEP Atmospheric Reanalysis, we compare the 200 hPa winds over the tropical and subtropical south eastern Pacific during those warm and cool short periods. Our results suggest that although the average winds over the Peruvian Andes rain season were from the East in association with the Bolivian High and the corresponding precipitation over the region, the warm episode winds were weaker than those of the corresponding cool period.

In the literature we can find evidences that periods with weaker easterly winds over the Peruvian Andes are related with a less number of days with easterly winds and then fewer convective episodes. As a consequence less precipitation would correspond to warm periods in comparison with the corresponding to cool periods with stronger easterly winds.

With respect to the glaciers, the reduction in precipitation over the Andes after 1976, may have produced the decreasing of the accumulation process. On the other hand the related reduction in cloud amount may have produced the increasing of the surface temperature with the result of increasing the ablation process. The end result is the retreat of the glaciers.

In summary, our results suggest that respect to the thermal conditions of the tropical Pacific Ocean two climate signals may be present; one corresponding to the PDO and another to the global warming associated with the observed increase in anthropogenic greenhouse gas concentrations via the greenhouse effect. Whenever the warm PDO signal eventually change to cool values, a relatively cool SST signal would produce a reduction of the warming over the NINO4 region and then reducing the rainfall negative anomalies over the Peruvian Andes.

In that sense we proposed that the water management for the Peruvian Andes would have a prevision component based on NIÑO4 SST forecasts with a continuous monitoring of the PDO signal as well as the glaciers size.

I. INTRODUCTION

During last decades, substantial climate changes have been occurring in different parts of the Earth including South America. One of these changes is the reduction of the area of the glaciers over the tropical and subtropical Andes. At the same time a reduction in the precipitation over the region has been observed. The objective of this manuscript is to present a working hypothesis of the physical mechanisms responsible for such reductions.

The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) is a joint mission between NASA and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) designed to monitor and study tropical rainfall. TRMM has been collecting data since 1998 and in the present article we use this information to estimate precipitation over the Peruvian Andes in order to analyze the time changes.

In the following sections we will present evidences of the existence of a close relationship between the SST over the equatorial Pacific Ocean and the Andes precipitation. The Pacific SST can vary in different time scales. From annual variations with the winter and summer changes up to the ENSO (El Niño-Southern Oscillation) time scale in the range of 3 to 7 years. However another slow oscillation with time scales of decades has been identified with the name of Pacific Decadal Oscillation (PDO).

Figure 1.1 shows the PDO index obtained from the slow variations of the SST over the Pacific Ocean.

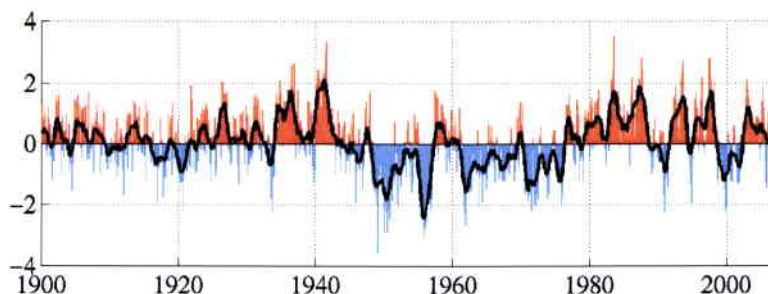


FIG.1.1 Pacific Decadal Oscillation Index

The spatial variations corresponding to the PDO phases are shown in Figure 1.2 with two typical patterns. During the years with positive (negative) PDO values, the tropical Pacific is relatively warm (cool) and at the same time the Polar Regions are cool (warm) (Fig. 1.2 left (right)).

Figure 1.1 shows that during the period 1900-1948 (1949-1975), the PDO was in the positive (negative) phase indicating that the tropical Pacific was relatively warm (cold) while the Polar regions were relatively cold (warm). Later on, during the period 1976-2007, again the tropical Pacific (Polar Regions) was relatively warm (cold).

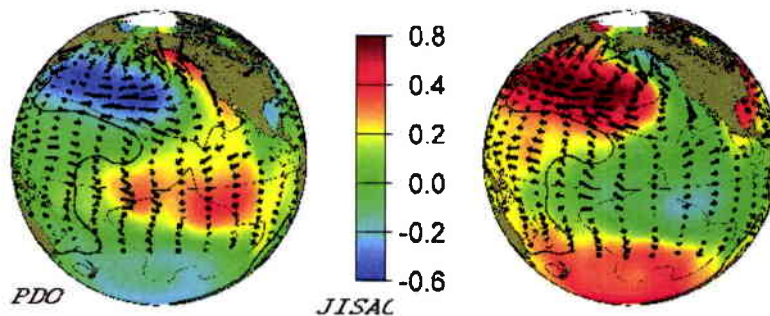


FIG.1.2 Spatial Variations of the PDO

For later references, we would like to point out that the period starting in 1976; the PDO signal was in its positive signal, indicating that the tropical Pacific was relatively warm.

II. DATA

In the last years, the satellites have changed drastically the way to analyze the meteorological phenomena. Modern equipment has been available with sensors that are making possible monitoring precipitation, one of the most important variables in meteorology, more frequently and with better precision.

In the present study we have used information from the TRMM Project to analyze the spatial and temporal behaviour of the precipitation in the Peruvian Andes since 1998 when the satellite was launched.

In addition, another source of information with less precision but available since 1948 is also used in the present study. It is the National Centre of Environmental Prediction (NCEP) in which satellite information together complemented with gauge data are merged to produce global precipitation estimates in a project called "50YR".

With the objective of detecting the physical mechanisms responsible of the precipitation changes, we use the meteorological information produced by the USA National Centre of Environmental Prediction (NCEP) in its Reanalysis Project.

III. METODOLOGY

With the information obtained from several sources, we analyze the precipitation over the Peruvian Andes with the objective of estimate the long term tendencies during the last 50 years, in order to analyze the temporal changes. In addition, with information from new satellites (TRMM) we explore the tendencies during the last ten years with greater precision.

The precipitation observations in some stations help us to test our working hypothesis.

IV. RESULTS

4.1 Satellites : Precipitation Tendencies.

A. January-February-March

Figure 4.1A shows the temporal evolution of the monthly precipitation, 5-year running mean corresponding to January-February-March during the period 1948-1997 of the NCEP-50YR project for four important basins in the Peruvian Andes: VILCANOTA, MANTARO, RIMAC y SANTA. There are several features we would like to point out:

- A first period with a relatively fast precipitation drop since approximately 1967.
- A rainfall recovery during the period 1969-1975.
- Another period, during approximately the period 1976-1995, with a relatively slow precipitation drop.
- In 1995, started a period of increasing precipitation.

Figure 4.2A shows the temporal evolution of the January-February-March total precipitation for the 1998-2007 period obtained with satellite TRMM information corresponding to the hydrographic basins of the present analysis.

In general, after a period with relatively high precipitation during 1998-1999, a drop occurred during the period 2000-2002, keeping those low values up to the end of the analysis in 2007.

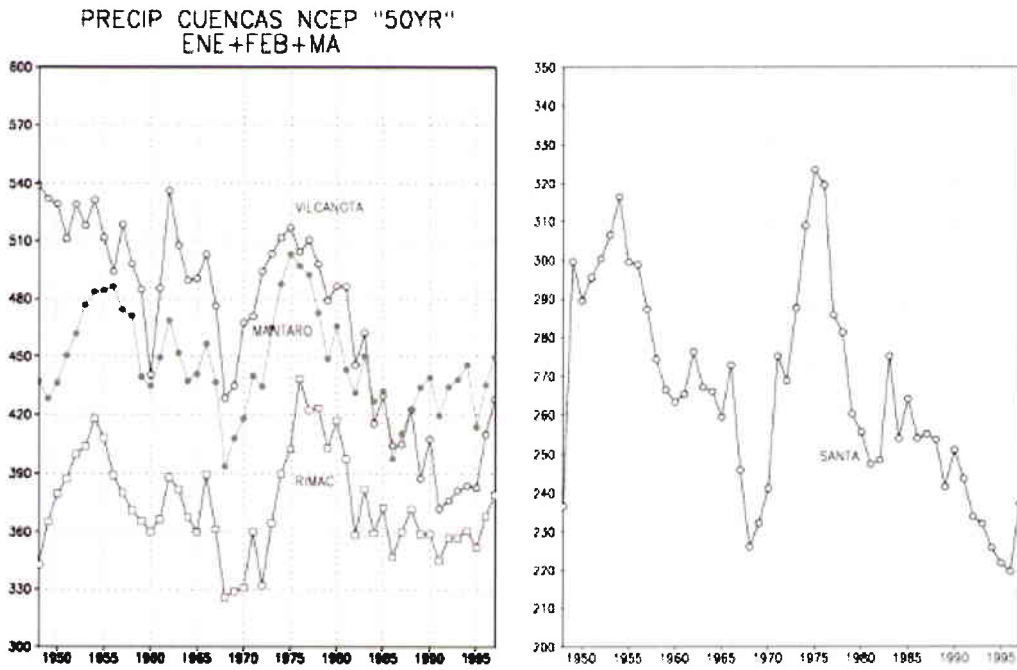


FIG. 4.1A Precipitation Time Series: NCEP "50YR" JAN+FEB+MAR

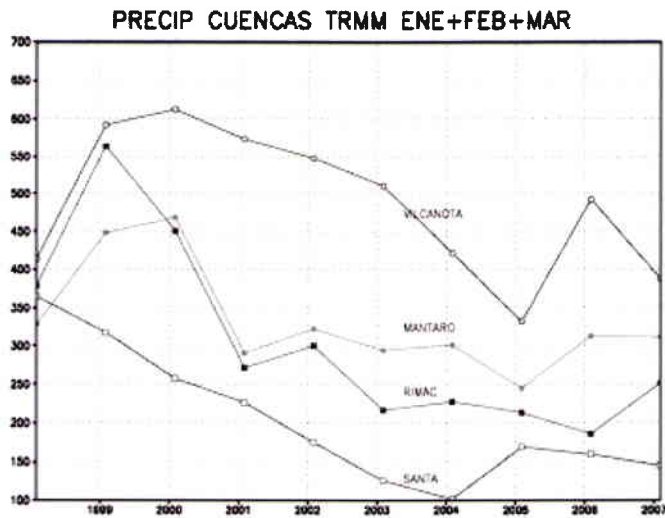


FIG. 4.2A Precipitation Time Series: TRMM JAN+FEB+MAR

B. June-July-August

Figure 4.1B shows the corresponding temporal evolution of the June-July-August total precipitation for the period 1948-1997 (Project NCEP: 50YR). The most common feature is the precipitation reduction after 1976.

Figure 4.2B shows the temporal evolution of the June-July-August total precipitation for the period 1948-1997 obtained with the TRMM satellite information for the period 1998-2007. The most important feature is the presence of relatively high values during the period 1998-2004 with a drop during the following years.

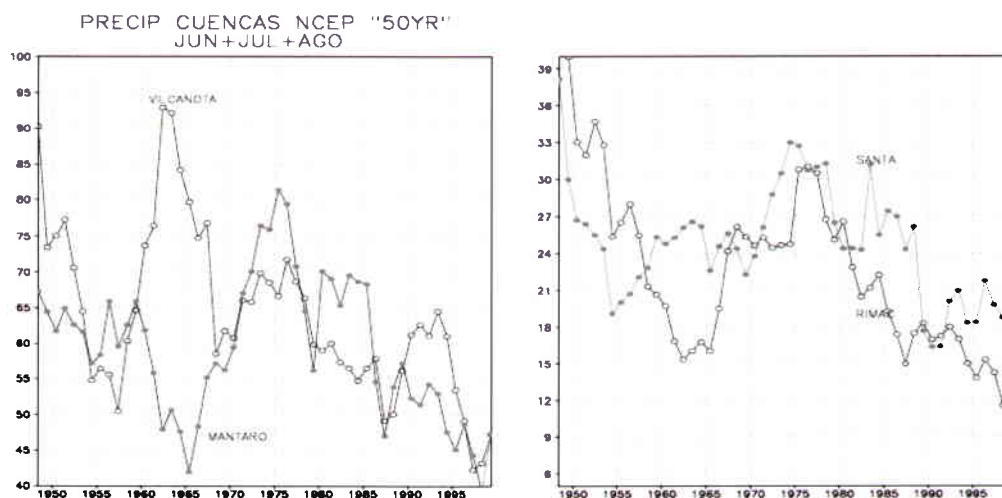


FIG. 4.1B Precipitation Time Series NCEP "50YR" JUN+JUL+AGO

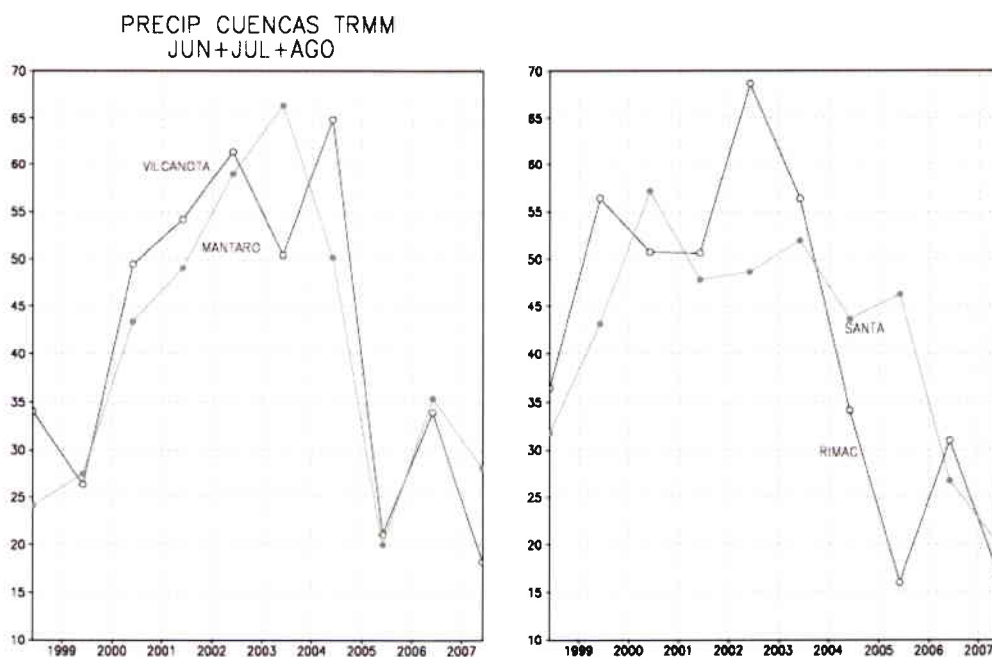


FIG. 4.2B Precipitation Time Series: TRMM JUN+JUL+AGO

4.2 Precipitation Observacions

Although we do not have an enough number of stations with long term observations of precipitation in the different basins of the present analysis, some data for some stations are available which will be shown in this section.

Figures 4.3 and 4.4 show the temporal evolution of the total precipitation during the rainy season months of January, February and March on stations located over the SANTA and MANTARO basins (see Table 4.1 and 4.2). The main features we would like to point out is the decrease in the precipitation after 1976 and the recovery at about 2000. These years also corresponds to changes in the PDO index (see Fig. 1.1). Later we will discuss this possible relationship.

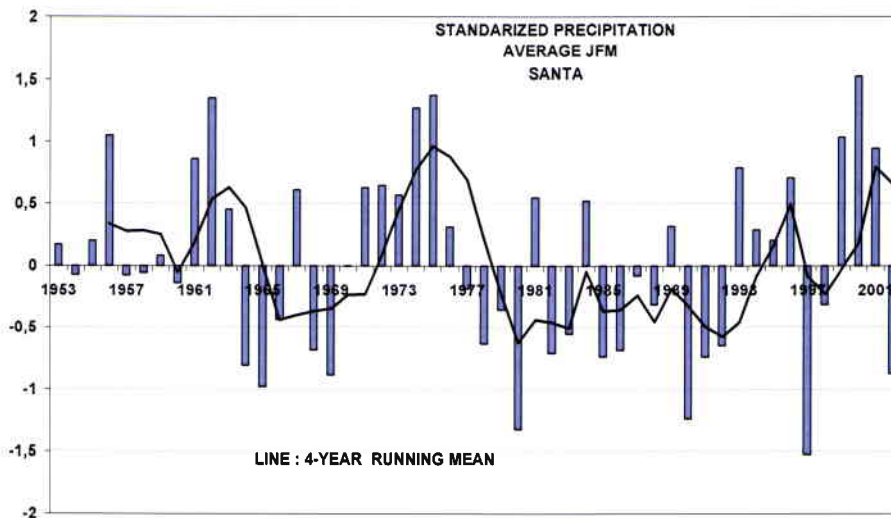


FIG. 4.3 Precipitation Time Series SANTA BASIN JAN+FEB+MAR

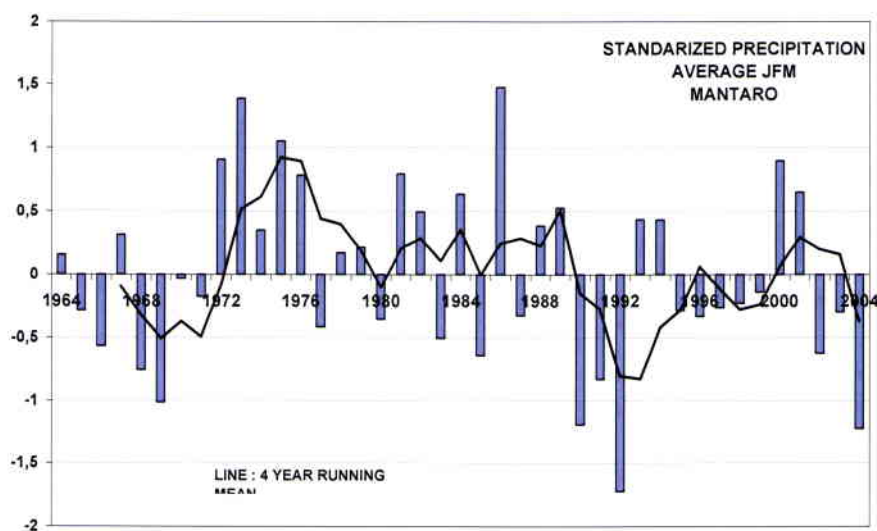


FIG. 4.4 Precipitation Time Series MANTARO BASIN JAN+FEB+MAR

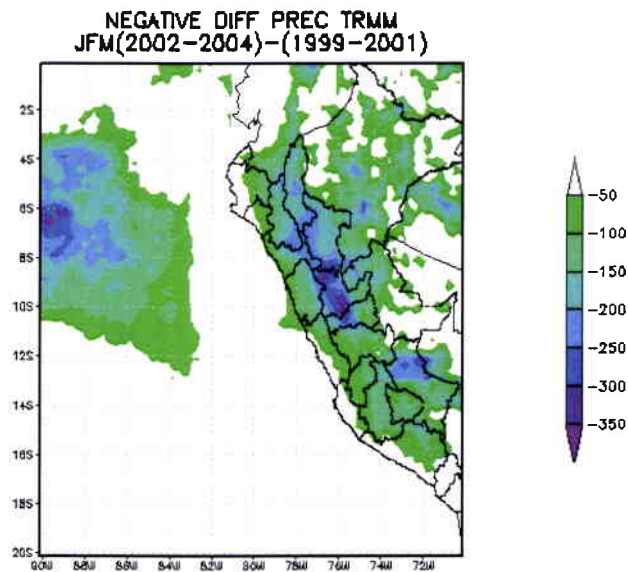
TABLA 4.1	STATIONS	SANTA	BASIN
QUEROCOCHA			
CULLICOCHA	8°51' 53" S	77° 45' 34" W	
PARON			
LLANGANUCO			

TABLA 4.2	STATIONS	MANTARO	BASIN
ANGASMAYO	12° 01' 31" S	75° 23' 53" W	3280 msnm
UPAMAYO	10° 55' 19" S	76° 16' 34" W	4080
HUEGHUE	11° 14' 14" S	76° 16' 51" W	4175
PACHACAYO	11° 48' 18" S	75° 43' 09" W	3550
YAURICOCHA	11° 57' 20" S	75° 54' 24" W	4375

4.3 Precipitation change in Feb 2002

Figure 4.2A suggests that the February precipitation during the period 2002-2004 over the different basins of the present study were weaker than the corresponding to the period 1999-2001.

In order to analyze the spatial distribution of the precipitation changes between those periods, Fig. 4.5 shows the precipitation difference between 2002-2004 and 1999-2001, but only presenting the negative values. We would like to point out the presence of negative changes mainly over the central and southern Peruvian Andes, indicating that the precipitation during the first period was weaker over the area.



**Fig. 4.5 Negative Differences TRMM Precipitación
JFM (2002-2004) – (1999-2001)**

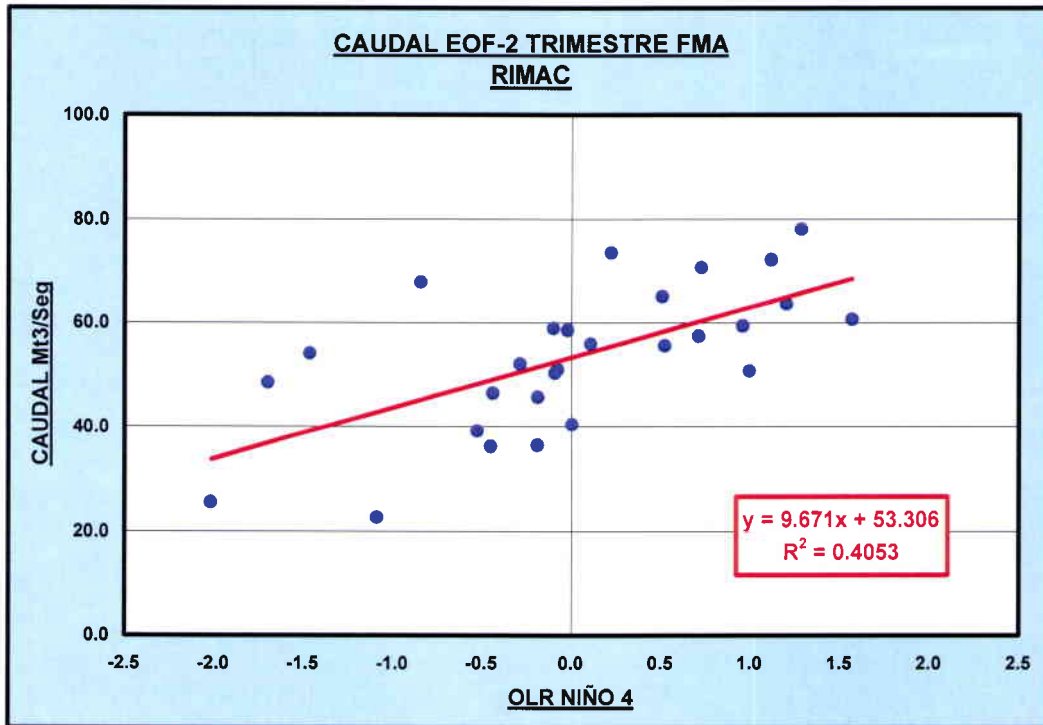
4.4 Relationship between SST Pacific Ocean and South American rainfall

In the scientific literature, we can find several papers suggesting the relationship between the SST over the Pacific Ocean and the South American climate in different regions (e.g. Cardoso and Silva Dias, 2006).

Specifically in INFOCLIMA-PERU, we use the SST forecast over the Pacific Ocean as a predictor for the precipitation over the Peruvian Andes. Fig. 4.9 shows the January-March SST average over the NIÑO4 region for the period 1950 - 2007. The main characteristics of the time series are described in the next paragraph.

The Infoclima EOF2 model uses NIÑO4 OLR as an Andes precipitation predictor. Fig. 4.6 is the basis for such relationship between the Pacific thermal conditions and the Andes rainfall. It suggests that when OLR over NIÑO4 is relatively high/low the Andes precipitation is below/above average.

What we use directly is the SST NIÑO4 forecast from different climate institutions (e.g. NCEP) in order to estimate NIÑO4 OLR from an empirical relationship that we have found. Finally using Fig. 4.6 we may find the corresponding river discharge.



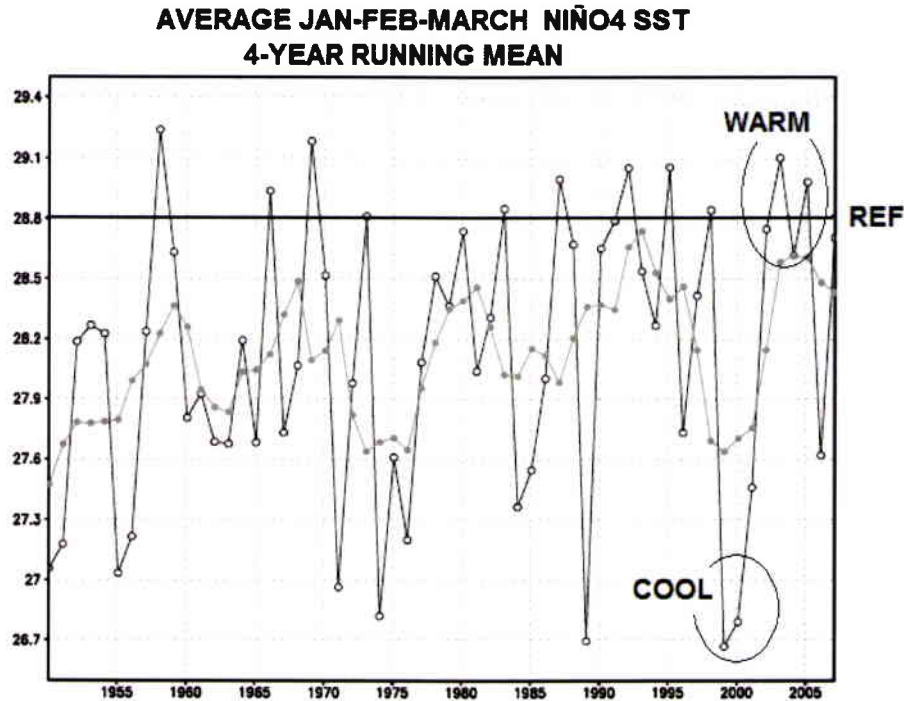
Figure

4.6 Relationships between OLR Niño4 versus RIMAC River Discharge FMA

In Fig. 4.7 we may notice that if we consider 28.8°C as a SST reference for the NIÑO4 region, we may realize that before 1976 and during a 27 years period, only in four (04) episodes, the SST was warmer than the reference value.

On the other hand, after 1976 and during a 31 years period, in eight (08) episodes, the SST was warmer than the reference value. In summary before (after) 1976, warm events over NIÑO4 were present in 04 (08) episodes indicating that every 5.3 years (2.7 years), relatively warm SST were present over the NIÑO4 region. It means that after 1976, the warmer episodes over central equatorial Pacific were more frequent.

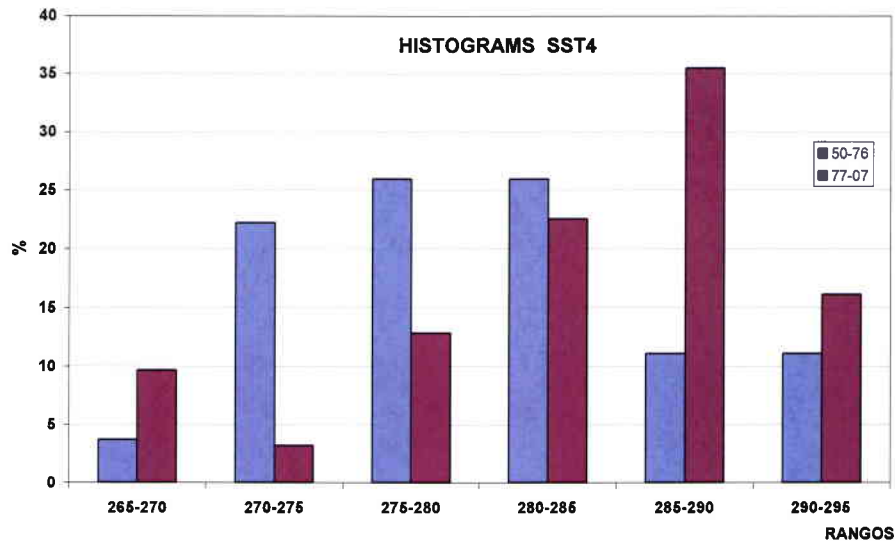
In the Fig. 4.7, considering the 28.8° C reference SST line, we may notice that the episodes with SST above the corresponding to the line were more frequent after 1976 than before.



**FIG. 4.7 Average Jan-Feb-Mar SST NIÑO4 Region
4-year running mean. 28.8° C reference SST**

In the same Fig. 4.7 it is shown that during the period 1999-2001, a relatively cold period was present over the NIÑO 4 region. Similarly, during the period 2002-2004 warmer SST were present over the same region. For later references we will call these periods as COOL and WARM respectively.

In Fig. 4.7A we show the histograms of the NINO4 SST January-February-March (see Fig. 4.7) for two sub periods: 1950-1976 and 1997-2007. Prior (post) 1976, most of NINO4 SST were equal or less (greater) than 28.5°C.



**FIG. 4.7A SST NIÑO4 Histograms periods 1950-1976 (blue)
1977-2007 (red)**

On the other hand, Fig. 4.8 shows the February SST difference over the Pacific Ocean between the WARM and COOL periods. The important feature to point out is that the warmer zones during the WARM periods correspond to the whole equatorial Pacific with a clear resemblance to ENSO events.

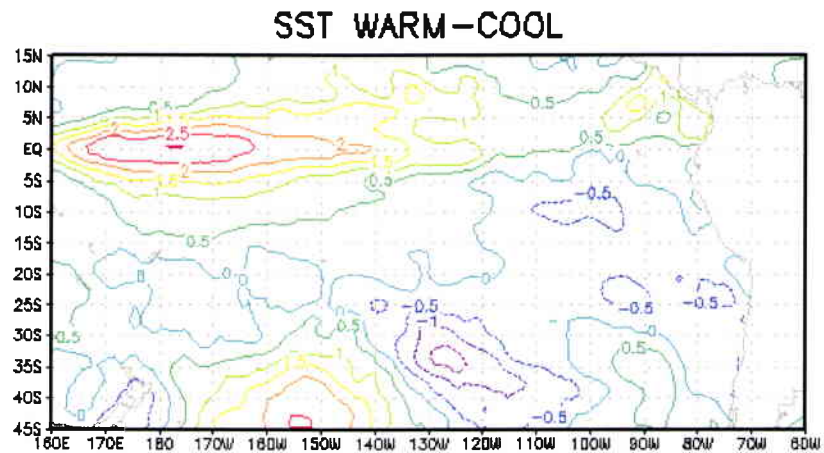


Fig. 4.8 Feb SST Difference between the WARM and COOL period

Fig. 4.9 shows the Outgoing Longwave Radiation (OLR) fields corresponding to the COOL and WARM periods. The main feature to point out is the presence of a region with relatively low values (less than 220 W/m²) during the COOL period located over the western equatorial Pacific

(Fig. 4.9A) and which extends south-eastward corresponding to the SPCZ. That feature is over an area with relatively warm SST (not shown) during that period.

During the WARM period, both zones, the warm SST and the low OLR are displaced to the central eastern equatorial Pacific (Figs. 4.9B, 4.8).

In Fig. 4.10A, the 200 hPa winds corresponding to the COOL period is shown. The pattern is characterized by anticyclonic flow over the equatorial western Pacific with a downstream upper level trough over the tropical south-eastern Pacific in the 140-110°W longitude range. Over central and southern Peru the main feature is the presence of easterly flow which favours the occurrence of summer time deep convection over the Peruvian Andes by transporting moist air from the interior of the continent in a pattern known as the Bolivian High (Garreaud and Aceituno, 2001).

The 200hPa flow corresponding to the WARM period (not shown) is similar to Fig. 4.10A. However, in order to see the differences we show in Fig. 4.10B the flow difference between the WARM and COOL winds. The most important features related to the Peruvian Andes precipitation are the following:

- ✓ Consistent with the eastward displacement during the WARM period of the equatorial warm region (Fig. 4.8) and of the low OLR zone (Fig. 4.9), the western Pacific equatorial anticyclonic flow also extended eastward during that period. At the same time the upper level trough located over the 120°W longitude during the COOL period (Fig. 4.10), during the WARM period it also extended eastward and can be found over the longitude range 120°W-80°W.
- ✓ Corresponding to that trough location, westerly flow differences of the order of 10 m/s are found over the central and southern Peru regions. It means that the easterly winds over the Peruvian Andes during the WARM period were weaker during that period respect to the COOL months.
- ✓ Although we will discuss later in more detail the importance of the weaker easterlies during the WARM period, at this point we would like to point out one feature relevant to the precipitation pattern and which has been suggested by Garreaud and Aceituno (2001). They found that the number of days with easterly flow over the Andes increases with the intensity of the mean easterly zonal wind. In our case during February of both periods, the WARM and COOL had easterly winds during February. However the corresponding to the WARM period had weaker easterlies (Fig. 4.10B), so that the number of days with easterly flow was fewer in this case. Consequently the number of days with convection should have been also fewer during this period.

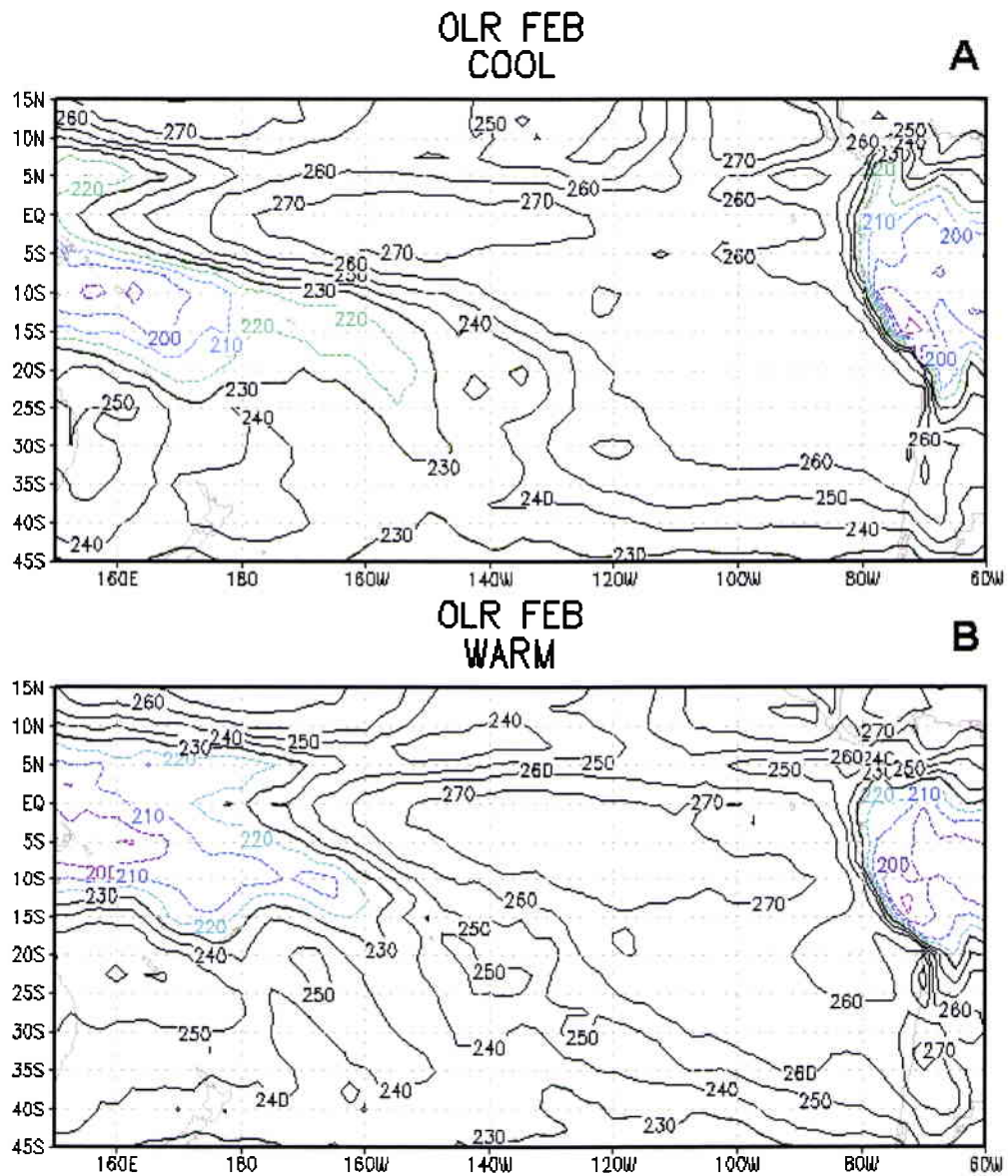


Fig. 4.9(A) OLR Feb COOL period. (B) OLR Feb WARM period

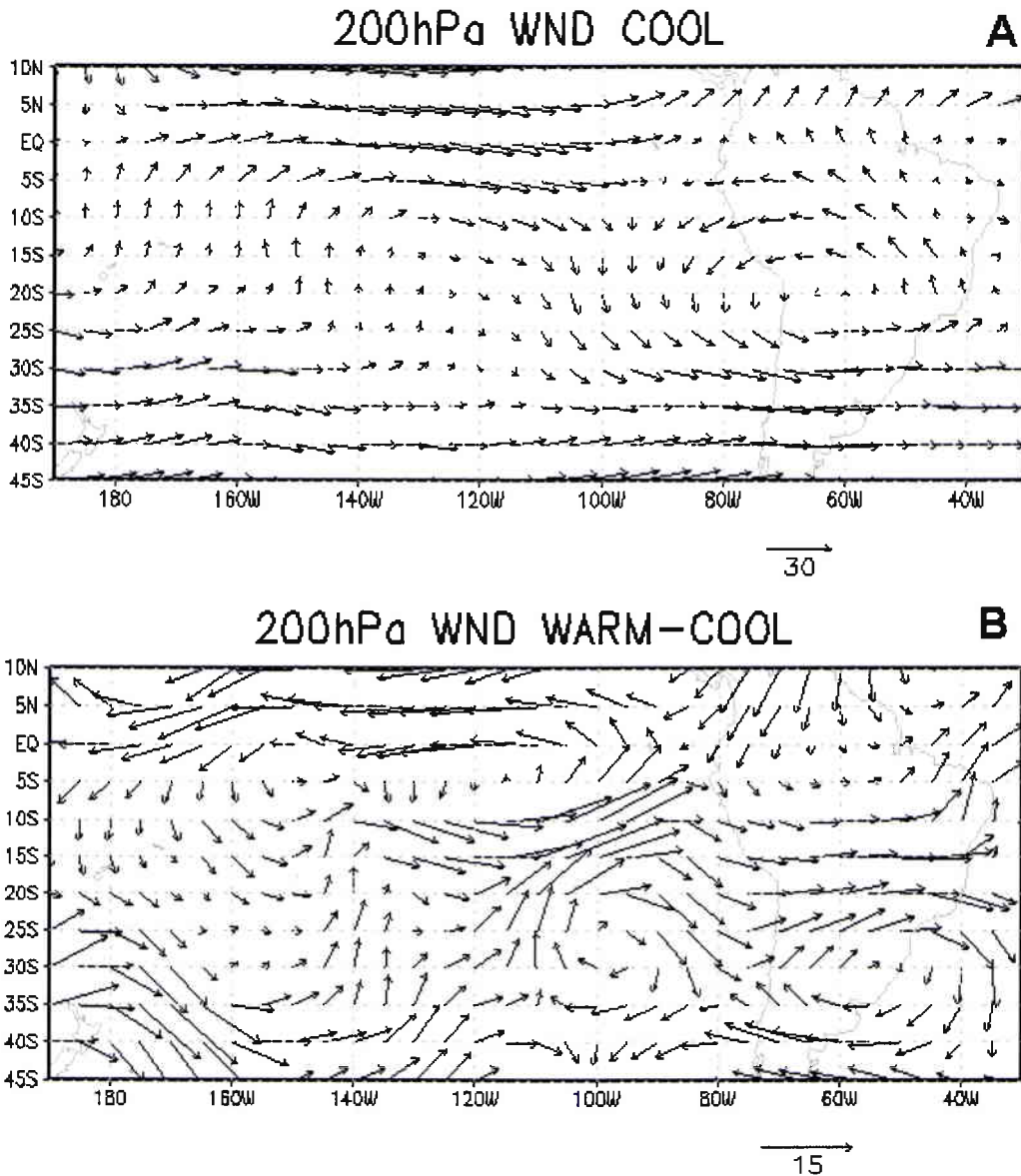


Fig. 4.10(A) 200hPa Winds Feb COOL period. (B) 200hPa Winds difference between Feb WARM and COOL periods.

V. DISCUSION

Our results suggest that precipitation over several basins of the Peruvian Andes had decreased substantially in the period 1949-1999. In most of the cases, 1976 seems to be the year of an important change (Figures 4.1A, 4.1B).

In order to find the physical mechanisms responsible for such reduction, first we analyze the PDO (Pacific Decadal Oscillation) looking for some answers. The PDO is a long-lived El

Niño-like pattern of Pacific climate variability. Two main characteristics distinguish PDO from ENSO: first 20th century PDO “episodes” persisted for 20 to 30 years while typical ENSO events only persisted for 6 to 18 months; second, the climate fingerprints of the PDO are most visible in the North Pacific/North American sector, while secondary signatures exist in the tropics, while the opposite is true for ENSO. In Figure 1.1 we may see that in the past century: “cool” PDO regimes prevailed from 1890-1924 and again from 1947-1976, while “warm” PDO regimes dominated from 1925-1946 and from 1977 through (apparently) 2008.

The JFM rainfall “YR50” time series (see Figure 4.1A), in general, shows a common characteristic; a reduction starting in 1976.

For the period JFM 1998-2007, we use the TRMM satellite estimation (see Fig. 4.2A). In general, the tendency is similar: a rainfall reduction, reaching the years after 2004 with extremely low values. The same is true for JJA (see Figures 4.2A, 4.2B).

Our results suggest that the climate change in 1976 over the Peruvian Andes precipitation is related with the phase change in the PDO in the same year (see Fig. 4.1) which is also associated with substantial changes in the Pacific SST, specifically in NIÑO4 region (see Fig. 4.9). As it was established in Section 4.4, warm ENSO-like episodes were more frequent after 1976 than before. If we take into account that those events are associated with weaker Peruvian Andes precipitation (see Figure 4.8), we may understand why there is a reduction in the precipitation over the region.

In general, the results show two periods of rainfall reduction over the Peruvian Andes; one starting in 1976 and other approximately in 2002. Both changes are related with important changes in NIÑO4 SST (see Figure 4.9).

The 2002 case was analyzed in section 4.3 and it will be discussed in more detailed in this section. In Figure 1.1 we may appreciate that although the period 1999-2001 was part of a “warm” PDO “episode”, it has “cold” values. Because of its relationship with the Pacific SST, NIÑO4 also was a relatively cool year (see Figure 4.9). Remember that we call COOL period the corresponding to 1999-2001. After 2002, the PDO had again “warm” values and coherently the NIÑO4 had warm SST (Fig. 4.9). We refer the 2002-2004 period as WARM.

An important feature we would like to point out is the fact that the warm/cool NIÑO4 years had a clear resemblance to ENSO-like episodes with the warming/cooling extending eastward from the western equatorial Pacific (Figure 4.8). Coherently the low OLR region located over the western equatorial Pacific during the COOL period (Fig. 4.10A) was also displaced to the east (Fig. 4.10B).

At this point, in order to understand the influence of the eastward displacement of the western equatorial Pacific convection zone on the upper level flow, the paper by Matthews et.al. (1996) is very useful.

We start with the Madden-Julian Oscillation (MJO), or intraseasonal oscillation which has been established as a fundamental mode of tropical atmospheric variability. It is an eastward propagation of planetary scale of convective and circulation anomalies around the globe with

a time scale of between 30 and 60 days. The tropical convective anomalies are strongest over the warm pool of the Indian Ocean, the Maritime Continent and the Western Equatorial Pacific; they are mainly absent over the cooler waters of the East Pacific. When the Eastern Pacific became warm, the MJO may extend further east to the eastern Pacific.

Another feature that intervenes in the mechanisms by which the thermal conditions of the Pacific Ocean induces precipitation over the Peruvian Andes is the South Pacific Convergence Zone (SPCZ). The SPCZ is a semi-permanent feature of the southern hemisphere tropical and subtropical atmosphere. It is strongest in southern summer and is characterized by a band of clouds extending in a NW-SE direction from around New Guinea into the South Pacific. Matthews et.al. (1996) suggested that the NW-SE alignment of the SPCZ reflected a "storm track" with the tropical convergence zone interacting with transient troughs in the mid-latitude westerlies.

In the next paragraph a mechanism was proposed by Matthews et.al. (1996) to account for the eastward progression of intraseasonal convective anomalies along the South Pacific Convergence Zone (SPCZ) which is observed in proportion of MJOs.

Now suppose that a large scale deep convection has already been established over the Indonesia region. The latent heating associated with this convection forces an equatorial Rossby wave response with an upper tropospheric anticyclone centred over or slightly to the west of the convection. An upper level trough is formed downstream of the anticyclone at a latitude of about 15-30°S which induces deep ascent on its eastern side. If this deep ascent is over a region susceptible to deep convection, such as the SPCZ region, then convection may be triggered.

In Figure 4.11A corresponding to 200 hPa winds for the COOL period, shows the anticyclonic flow approximately located over the western equatorial Pacific southward from the warm pool and convection zone (Figure 4.10A). It also shows the upper level trough downstream of the anticyclone.

In order to see the 200hPa flow changes from the COOL to WARM periods, in Figure 4.11B, we show the flow differences between both patterns. Consistent with the eastward displacement of the western equatorial convection region, the southern anticyclone and the downstream upper trough also were displaced to the east.

The end result is the presence of upper easterly winds over the Peruvian Andes of a weaker intensity during the WARM period respect to the COOL.

At this point, we will discuss another paper written by Garreaud and Aceituno (2001) which is extremely relevant to understand the mechanisms for the rain production over the Andes. They found that large scale easterly flow over the Andes is directly related with deep convection in the region by transporting moist air from the interior of the continent. They also found that the intensity of the mean easterly flow is directly related with the number of days with easterly flow. It means that summers with more (less) intense mean easterly winds like the COOL (WARM) period, have larger (fewer) number of days with easterly flow.

It means that WARM (COOL) period would have more (less) convection over the Peruvian Andes.

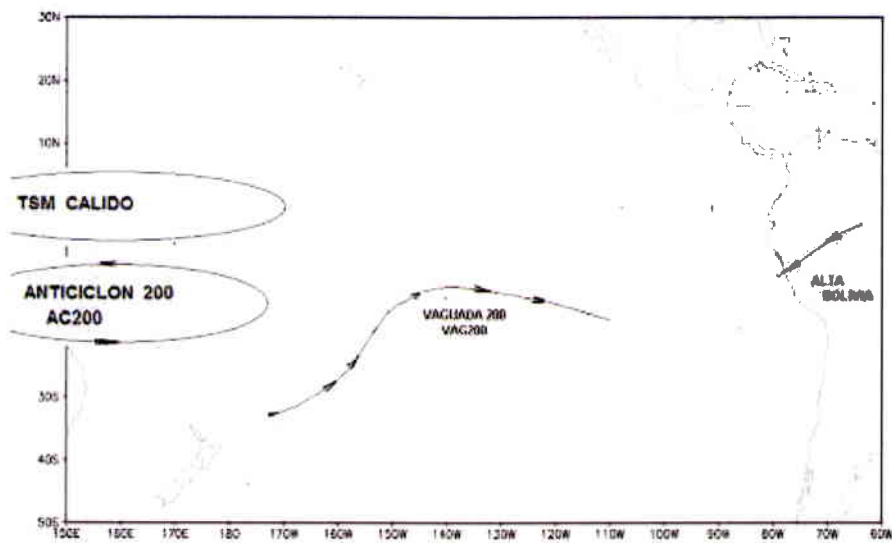


FIG. 5.1 ESQUEMA DE EPISODIOS FRIOS (CO)

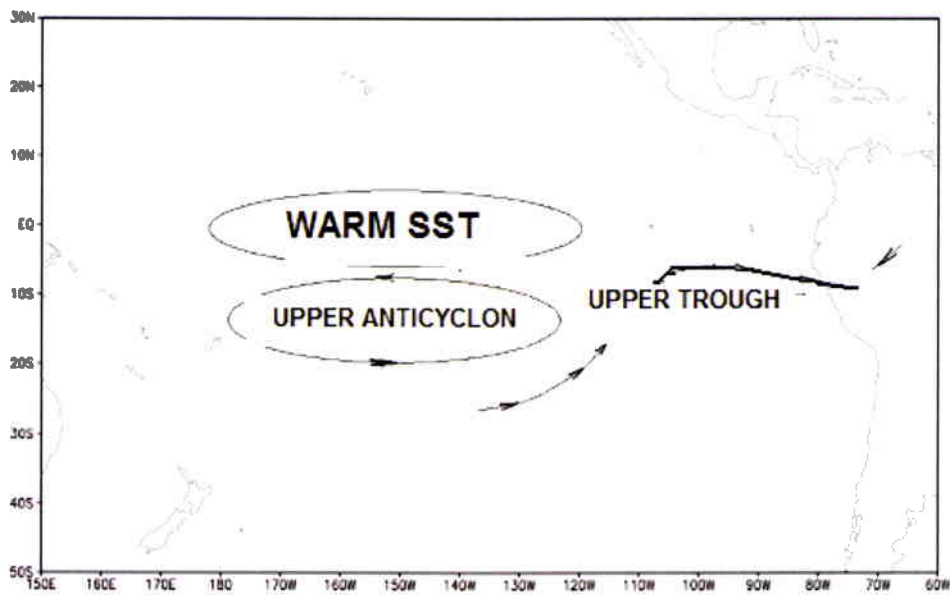


FIG. 5.2 ESQUEMA DE EPISODIOS CALIDOS (CAL)

VI. CONCLUSIONES

Uno de los aspectos más importantes del presente estudio es la disminución, a partir de 1976, de las variaciones moderadamente lentas (medias corridas de 5 años) de la precipitación total tanto de verano como de invierno en cuatro cuencas de la región Andina: VILCANOTA, MANTARO, RIMAC y SANTA. El mecanismo físico responsable de tal decrecimiento es el siguiente:

- ✓ A partir de 1976, se evidencia una mayor frecuencia de eventos calidos moderados o débiles (episodios El Niño) en el Pacífico con Temperaturas de la Superficie del Mar (TSM) más calidas que lo normal en el Pacífico ecuatorial central y oriental acercándose a las costas de América del Sur. Ello es una característica normal de las evoluciones del clima tal como lo demuestra el índice de la llamada Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), que presenta un cambio de fase de frío a caliente en el Pacífico tropical.
- ✓ Al desplazamiento de las aguas calidas del Pacífico hacia la zona oriental, se asocia también un cambio en los flujos atmosféricos hasta que eventualmente vientos en altos niveles de la atmósfera sobre la región Andina de Perú que normalmente en verano provienen del Este trasladando masas de agua húmedas de la región Amazónica hacia los Andes, cambian de dirección para convertirse en vientos del Oeste, los cuales se caracterizan por su carencia de lluvia.
- ✓ El presente trabajo puede resumirse en la Figura 4.8, que presenta la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) en la región NINO4, ubicada en la parte central del Océano Pacífico durante el periodo 1950-2007. Dicha zona es clave en los impactos de la evolución de las condiciones térmicas del Pacífico sobre la precipitación en los Andes, debido a que su TSM está relacionada con las lluvias andinas a través de teleconexiones mediante flujos atmosféricos. Cuando TSM en NINO4 está relativamente caliente, las lluvias andinas tienden a ser deficitarias y viceversa (ver Fig. 4.12).
- ✓ En nuestra opinión, en 1976 ocurre un cambio climático “natural”, con cambios en diversas variables atmosféricas y oceánicas, tan abruptos que muchos investigadores lo denominan “salto climático”. El cambio consiste en la mayor frecuencia de eventos El Niño, de diferente intensidad, incluyendo los extraordinarios como el de 1983 y 1998. El impacto en el régimen pluviométrico de los Andes es de disminución de las lluvias, demostrado por información de satélite complementada con mediciones.
- ✓ Lo mencionado en el párrafo anterior no significa que todos los años tenemos condiciones calidas, sin embargo en los últimos años (después de aproximadamente 2003), la frecuencia de dichos eventos calidos se ha incrementado aun más, y casi todos los años se produce un evento calido con su impacto en la disminución adicional de la lluvia andina. La PDO no muestra ningún cambio significativo en estos últimos años, por lo que podríamos atribuirlos a “cambios no naturales”.

- ✓ El peligro adicional de la menor disponibilidad de recursos hídricos en los Andes, es el relacionado con la acumulación de nieve en los glaciares andinos tropicales. Normalmente es una reserva importantísima de agua para varias cuencas. Cada año, la disponibilidad de agua en el invierno depende de lo que se ha acumulado de nieve en el verano anterior, por lo que si en uno de estos veranos tenemos condiciones hídricas deficitarias con reducida acumulación de nieve, la disponibilidad de agua en el siguiente invierno estaría muy comprometida.

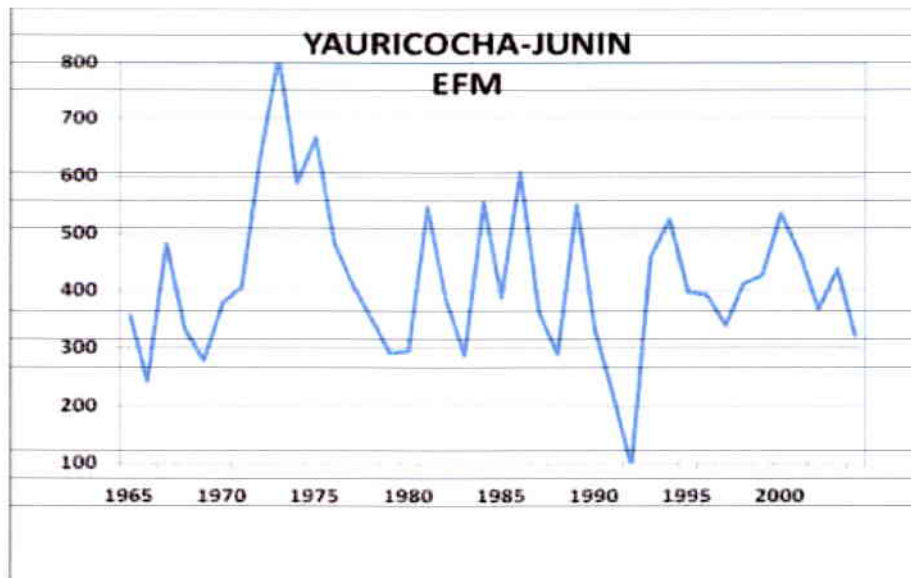
VII REFERENCES

Garreaud, R and P. Aceituno, (2001): Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano. *J. Climate*, 14, 2779-2789.

Matthews, A, B. Hoskins, J.Slingo and M.Blackburn, (1996): Development of Convection along the SPCZ within a Madden-Julian Oscillation. *Q.J.R.M.S.*, 122, 669-688.

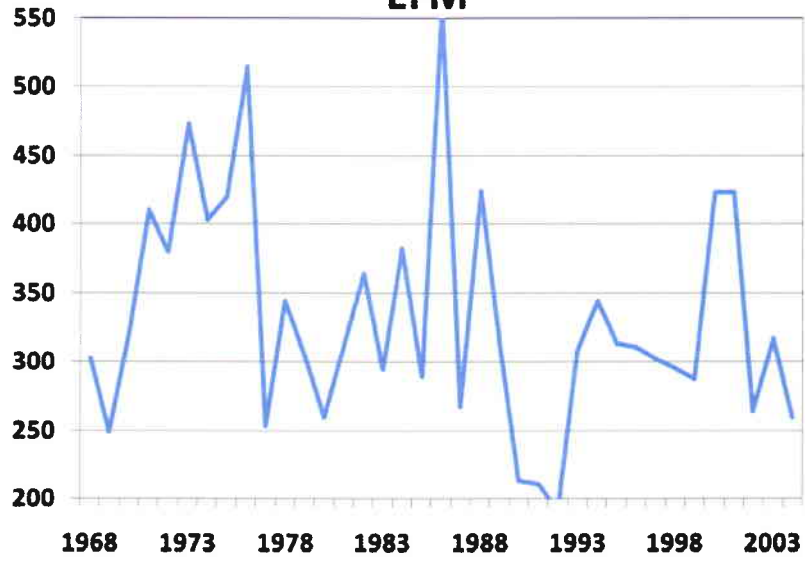
Cardoso, A, P.L.Silva Dias, (2006): The relationship between ENSO and Paraná River flow. *Advances in Geosciences*, 6, 189-193.

ANEXO 1



000764

PACHACAYO-JUNIN EFM



Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations

MINGYUE CHEN,* PINGPING XIE, AND JOHN E. JANOWIAK

*Climate Prediction Center, National Centers for Environmental Prediction, National Weather Service,
National Oceanic and Atmospheric Administration, Camp Springs, Maryland*

PHILLIP A. ARKIN

*Office of Global Programs, Office of Oceanic and Atmospheric Research, National Oceanic and Atmospheric Administration,
Silver Spring, Maryland*

(Manuscript received 12 July 2001, in final form 14 November 2001)

ABSTRACT

This paper describes the initial work toward the production of monthly global (land and ocean) analyses of precipitation for an extended period from 1948 to the present. Called the precipitation reconstruction (PREC), the global analyses are defined by interpolation of gauge observations over land (PREC/L) and by EOF reconstruction of historical observations over ocean (PREC/O). This paper documents the creation of the land component of the analyses (PREC/L) on a 2.5° latitude/longitude grid for 1948–2000. These analyses are derived from gauge observations from over 17 000 stations collected in the Global Historical Climatology Network (GHCN), version 2, and the Climate Anomaly Monitoring System (CAMS) datasets. To determine the most suitable objective analysis procedure for gridding, the analyses generated by four published objective analysis techniques [those of Cressman, Barnes, and Shepard, and the optimal interpolation (OI) method of Gandin] were compared. The evaluation demonstrated two crucial points: 1) better results are obtained when interpolating anomalies rather than the precipitation totals, and 2) the OI analysis procedure provided the most accurate and stable analyses among the four algorithms that were tested. Based on these results, the OI technique was used to create monthly gridded analyses of precipitation over the global land areas for the 53-yr period from 1948 to 2000. In addition, some diagnostic investigations of the seasonal and interannual variability of large-scale precipitation over the global land areas are presented. The mean distribution and annual cycle of precipitation observed in the PREC/L showed good agreement with those in several published gauge-based datasets, and the anomaly patterns associated with ENSO resemble those found in previous studies. The gauge-based dataset (PREC/L) will be updated on a quasi-real-time basis and is available online (<ftp.ncep.noaa.gov/pub/precip/50-yr>).

1. Introduction

In recent years, several algorithms have been developed to construct analyses of global monthly precipitation by merging multiple individual data sources. One such algorithm developed by a group at the National Aeronautics and Space Administration Goddard Space Flight Center combines gauge observations with estimates derived from IR, outgoing longwave radiation (OLR), Special Sensor Microwave Imager (SSM/I), and Television IR Observational Satellite (TIROS) Operational Vertical Sounder (TOVS) observations (Adler et

al. 1993, 1994; Huffman et al. 1995). It has been applied successfully to construct the global monthly precipitation analyses for the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) for the period from 1979 to the present (Huffman et al. 1997; Adler et al. 2001, manuscript submitted to *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, hereinafter ADLR). Another merging algorithm is that of Xie and Arkin (1996), which takes the gauge observations, satellite estimates derived from IR, OLR, Microwave Sounding Unit, and SSM/I and the precipitation distributions from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP)–National Center for Atmospheric Research (NCAR) reanalysis as inputs. Using this algorithm, a global monthly precipitation dataset, called the Climate Prediction Center (CPC) Merged Analysis of Precipitation (CMAP; Xie and Arkin 1997), has been created for the same period as for the GPCP product. Both the GPCP and the CMAP monthly precipitation datasets have been applied widely in climate analysis (Curtis and Adler 2000), numerical model verifications

* Additional affiliation: RS Information Systems, Inc. (RSIS), McLean, VA.

Corresponding author address: Dr. Mingyue Chen, Climate Prediction Center, NOAA/NWS/NCEP, 5200 Auth Road, No. 800, Camp Springs, MD 20746.
E-mail: mingyue.chen@noaa.gov

(Stephenson et al. 1998; Janowiak et al. 1998; Dai et al. 2001), hydrological research (Trenberth and Guillemott 1998), and other investigations (Yang et al. 1999).

Both of these merging procedures rely heavily on the estimates derived from satellite observations, which are not available for the period before the 1970s. Many applications, especially those related to climate variability research, however, require precipitation analyses for a longer period. Although the GPCP and CMAP datasets cover a 22-yr period that includes 4–5 ENSO events, it is highly desirable to have a monthly dataset for an extended period so as to facilitate improved understanding of long-term climate variability and to determine how well numerical models can represent and predict it (Kumar et al. 1996; Kumar and Hoerling 1997; Rowell 1998).

The only source of precipitation measurements available for the period before the 1970s is that of the rain gauge observations. Although gauge observations suffer from various problems, such as poor spatial sampling over oceanic and unpopulated land areas, temporal inhomogeneity in historical records, and uncertainty in undercatchment due to wind and evaporation effects (Sevruk 1982, 1989; Hulme 1995), their extended record makes them a valuable source for precipitation “climatologies” and time series.

One of the most widely used climatologies of monthly precipitation is that of Jaeger (1976), in which analyzed values on a 4° latitude \times 5° longitude global grid are defined by subjective estimation based on several regional precipitation maps mainly representative of the period from 1931 to 1960. Another well-known precipitation climatology is that of Legates and Willmott (1990), which is constructed on a 0.5° latitude/longitude grid. Over land areas, this monthly climatology is defined by objectively interpolating gauge observations at over 24 000 stations; over the oceans it is based on empirical estimates derived from ship observations of present weather (Dorman and Bourke 1979, 1981). Recently, New et al. (1999) published a climatology of monthly terrestrial precipitation representative of the mean status over a 30-yr period from 1961 to 1990. Monthly precipitation values on a 0.5° latitude/longitude grid are calculated by interpolating corresponding climatological normals at over 19 000 gauge stations included in the dataset of Eischeid et al. (1991) and several other sources (e.g., reports from national meteorological agencies) collected by the Climate Research Unit (CRU) of the University of East Anglia (UEA) in the United Kingdom.

Many efforts have been focused on the construction of the time series of monthly precipitation from gauge observations. Assuming that accumulated station observations of precipitation follow the gamma distribution, Bradley et al. (1987) converted the anomaly of precipitation into percentiles for 1477 Northern Hemisphere stations collected by Bradley et al. (1985) and

interpolated them onto grid points at an interval of 400 km for a period beginning from the middle of the nineteenth century. Diaz et al. (1989) extended this analysis to the entire global land area by including gauge observations at 656 Southern Hemisphere stations taken from archives maintained by the CRU/UEA and NCAR.

Dai et al. (1997) described a unique effort in the construction of a gauge-based analysis of monthly precipitation over global land areas. First, EOF analysis is performed on the original time series of gauge observations from approximately 5300 stations collected in Eischeid et al. (1991) to remove temporal inhomogeneity caused by instrumental changes throughout the record period. A monthly analysis of global land precipitation is then defined on a 2.5° latitude/longitude grid for the period from 1900 to 1988. This analysis was combined with that of Xie and Arkin (1997) to document the global patterns of ENSO-induced precipitation anomalies (Dai and Wigley 2000).

A series of studies has been reported by a group in the CRU/UEA to create datasets of large-scale precipitation specifically suited for evaluation of general circulation models (GCMs). Hulme (1991, 1992) constructed a monthly analysis of precipitation on a 5° latitude/longitude grid over the global land areas for 1950–80 by interpolating quality-controlled gauge observations at approximately 2500 stations, based on the aforementioned archive of Eischeid et al. (1991) and enhanced by other CRU collections, and applied it to evaluate outputs from several GCMs. Hulme (1994) recreated the gauge-based precipitation analysis on a 2.5° latitude \times 3.75° longitude grid for the period from 1900 to 1992 using gauge observations at over 4900 stations collected in their updated database. Doherty et al. (1999) combined this gauge-based analysis with oceanic precipitation estimates derived from the OLR data observed by the polar-orbiting National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) satellites (Gruber and Krueger 1984) to create an analysis of monthly precipitation over the global tropical areas for the period from 1974 to 1994. Most recent, the CRU group, as reported by New et al. (2000), created monthly analyses of precipitation and several other climatic variables for the period from 1901 to 1996. The precipitation analysis is defined on a fine spatial resolution of 0.5° latitude/longitude over global land areas using gauge observations at up to 13 500 stations collected in the CRU archives, which have been updated for over 20 years.

As a key component of the GPCP (Arkin and Xie 1994), which was established to provide large-scale precipitation datasets for many World Climate Research Programme activities, the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) in Germany has developed a sophisticated system of data selection, quality control, and objective interpolation for constructing gauge-based analyses over the global land areas (Rudolf 1993; Schneider 1993). As of December of 2000, they have finished the monthly analyses on 2.5° and 1.0° latitude/

longitude grids for their quasi-real-time monitoring product for the period from January of 1986 to September of 2000 using gauge observations of almost 7000 stations obtained from the Global Telecommunication System (GTS). Applying the same algorithm as the GPCC, Xie et al. (1996) created a gauge-based analysis of global land precipitation on a 2.5° latitude/longitude grid for the period from 1971 to 1995 using gauge observations at over 6000 stations obtained from the version-1 dataset of the Global Historical Climatology Network (GHCN; Vose et al. 1992) of the NOAA National Climatic Data Center (NCDC) and the Climate Anomaly Monitoring System (CAMS; Ropelewski et al. 1985) of NOAA/CPC. The gauge-based analyses of Xie et al. (1996) for 1979–1985 and of the GPCC for 1986–present are used to construct the merged analysis of monthly precipitation in both the GPCP and the CMAP (ADLR; Xie and Arkin 1997).

All of the gauge-based precipitation analyses described above cover primarily only the land areas of the globe. Over the vast oceanic areas, direct quantitative observations of precipitation exist neither over a broad region nor for an extended period before the 1970s, for which no satellite observations are available, although there are several published efforts to construct a climatology of oceanic precipitation and its frequency using ship-observed present weather reports (Jaeger 1976; Dorman and Bourke 1979, 1981; Petty 1995; Dai 2001a,b).

Motivated by the increasing demand for a high-quality dataset of observation-based large-scale precipitation over both the land and oceanic areas of the globe for the period before the 1970s, we have launched a project to construct an analysis of monthly precipitation for an extended period from 1948 to the present. Although several gauge-based monthly analyses already exist (e.g., Dai et al. 1997; New et al. 2000), the recent release of the GHCN version-2 (GHCN2) dataset, which includes gauge observations of monthly precipitation for over 23 000 stations (Peterson and Vose 1997), makes it possible to create an analysis with improved quality over land. This extended analysis of monthly precipitation over the global land areas is defined by interpolating gauge observations collected in the GHCN2 and CAMS datasets. Over the global oceanic areas, the analysis is defined by projecting historical records of coastal, island, and ship observations onto spatial variation patterns of large-scale precipitation observed by satellites for later years using a technique applied successfully by Smith et al. (1996) to reconstruct sea surface temperature fields. The extended analysis of global monthly precipitation is targeted to begin in 1948 in consideration of the discontinuity and unavailability of meteorological observations over many stations during and before World War II. The spatial resolution of the dataset is 2.5° latitude/longitude, the same as those in the GPCP and CMAP merged analyses of monthly precipitation.

The objective of this paper is to report the construction of the monthly precipitation analysis over the global land areas by interpolating gauge observations in the GHCN2 and CAMS datasets. Section 2 describes the selection of the interpolation algorithms based on an intercomparison of several published methods, section 3 reports on the construction of the gauge-based analysis for the 53-yr period from 1948 to 2000, section 4 shows comparisons with several published datasets of gauge-based precipitation and applications of the 53-yr analysis in some simple diagnostics of annual and interannual variations of large-scale precipitation, and a summary is given in section 5.

2. Interpolation algorithm

The determination of the methodology for constructing a gauge-based analysis of precipitation involves two major issues: 1) design of interpolation strategy (directly interpolating the total precipitation or defining it by adding the interpolated anomaly to a climatology) and 2) selection of an interpolation algorithm to define the analyzed values at grid points from irregularly distributed station observations. The GPCC (Rudolf 1993; Schneider 1993) and Xie et al. (1996) defined their grid fields by directly interpolating the total values of the monthly precipitation observations; Bradley et al. (1987), Diaz et al. (1989), Hulme (1992, 1994), Dai et al. (1997), and New et al. (2000) chose the anomaly of precipitation as their interpolation quantity. It has not been shown, however, which approach yields better representation of precipitation, although it is argued that the anomaly scheme is better because some of the spatial variation of total precipitation is associated with local topography and is thus steady (Dai et al. 1997).

Many different interpolation algorithms have been applied to define these gauge-based precipitation analyses. Bradley et al. (1987) and Diaz et al. (1989) applied an approach similar to that of Barnes (1964), in which value at a grid point is calculated by taking the mean of observations at four nearby stations weighted by a negative exponential function of the square of the distance between the station and grid point. Hulme (1992, 1994) employed the algorithm of Thiessen's polygon, in which the analyzed value for a grid box is given as the mean of the surrounding gauge observations weighted by areas closest to each of the gauges within the grid box. In constructing their climatology of monthly precipitation, New et al. (1999) used a thin-plate spline-fitting technique that takes the precipitation as a function of latitude, longitude, and elevation. Later, however, when creating the time series of monthly precipitation anomaly, New et al. (2000) implemented a distance-weighting interpolation algorithm very similar to that of Shepard (1968).

Creutin and Obled (1982) examined several well-known schemes, including the nearest neighbor method, the arithmetic mean, the spline-plate fitting, the optimal

interpolation (OI), the kriging, and the EOF interpolation methods and recommended the OI of Gandin (1965) for its excellent results and relatively easy implementation. Bussieres and Hogg (1989) compared the performance of four algorithms (Cressman 1959; Barnes 1964; Shepard 1968; Gandin 1965) and concluded that OI does the best job and the method of Shepard (1968) performs almost as well. Both of these studies investigated the analyses of total precipitation of mesoscale with spatial scales of ~ 100 km and timescales of ~ 24 h. The suitability of interpolation schemes for total precipitation with much larger scales is reported by Legates (1987), who, after evaluating several procedures, found that a spherical adaptation of the Shepard method (Willmott et al. 1985) is the best for their interpolation of over 24 000 gauge observations of long-term (generally over 10 yr) mean precipitation. It is not clear, however, how well various algorithms perform in creating fields of total precipitation for temporal scales between daily and annual or how the accuracy of the analysis is affected by defining it through directly interpolating the total values or by adding the interpolated anomaly to the climatology.

To fill in this gap and to design the best strategy to construct the gauge-based analysis of global monthly precipitation, an intercomparison of several interpolation algorithms was conducted for both the total value and the anomaly of precipitation for daily, pentad, and monthly timescales.

a. Candidate interpolation algorithms

Four published interpolation algorithms are selected for their popularity and feasibility in implementation. These algorithms are the Cressman (1959), the Barnes (1964), the Shepard (1968), and the OI of Gandin (1965).

In the method of Cressman (1959), a first-guess field of interpolated values at the target grid points is defined. This first-guess field is then corrected by the weighted mean of the differences between the observed and interpolated values over gauge locations within a searching distance. This process is repeated four times, with decreasing search distance. In our implementation, the first guess is defined as the arithmetic mean of the gauge observations, and the searching distances for the four iterations are 320, 240, 150, and 120 km, respectively.

The algorithm of Barnes (1964) is also an interpolation technique based on iterative correction using distance weighting. It differs from the Cressman method in that the searching distance is fixed and the weighting coefficient is a negative exponential function of the gauge-gridpoint distance. After several trials, we set the searching distance for the Barnes as 300 km, the same as that used by Dai et al. (1997), who derived it based on the spatial correlation distance of gauge-observed precipitation.

In the algorithm of Shepard (1968), the interpolated

value at a target grid point is defined as a weighted sum of observed values at nearby gauge stations within a searching distance. The searching distance is variable depending on the gauge network density, so that 4–10 gauges are included in the calculation. The weighting function is inversely proportional to the gauge-gridpoint distance, yielding a sharper decrease than those in the Cressman and Barnes. In addition, directional correction is implemented to account for any uneven distribution of gauges in different directions.

The OI technique of Gandin (1965) defines the analysis value at a grid point by modifying a first-guess field with the weighted mean of the differences between the observed values and the first-guess values at station locations within a searching distance. Whereas in the Cressman, Barnes, and Shepard methods the weighting coefficient is a function only of gauge-gridpoint distance, in the OI technique it is determined from the variance and covariance relationship of the target precipitation field. In this study, the long-term mean of precipitation (see following sections for details) is used as the first guess, and the searching distance is set to 300 km as in Dai et al. (1997).

b. Intercomparison strategy

To assess which of the four objective analysis methods produces the most accurate precipitation estimates, an evaluation strategy was devised. Cross-validation tests were conducted for each of the four selected interpolation algorithms and for two sets of gauge observation data, one for daily precipitation using a dense network over the United States and the other for monthly precipitation over the entire global land area. For each dataset, gauge reports at 10%, randomly selected, of the stations were withdrawn and those at the remaining 90% of the stations were used to define the analysis values at locations of the withdrawn stations by interpolation. This process was conducted 10 times so that each gauge was withdrawn once. The analysis values produced by interpolation using the four selected algorithms were then compared with the corresponding observations to examine their performance. Note that in this cross-validation practice, the analysis values at the 10% of withdrawn gauge locations are calculated by directly interpolating observations at the remaining 90% of gauges rather than by interpolating analysis values at nearby regular grid points.

For the three interpolation algorithms based on distance weighting (the Cressman, Barnes, and Shepard), two different approaches were undertaken to define the analysis values of precipitation. In the first approach, the analysis value of total precipitation is defined by directly interpolating the observations of total precipitation at surrounding gauge stations; in the other approach, values of precipitation anomaly are first defined by interpolating the observed anomaly, and the analyzed values of total precipitation are then defined by adding

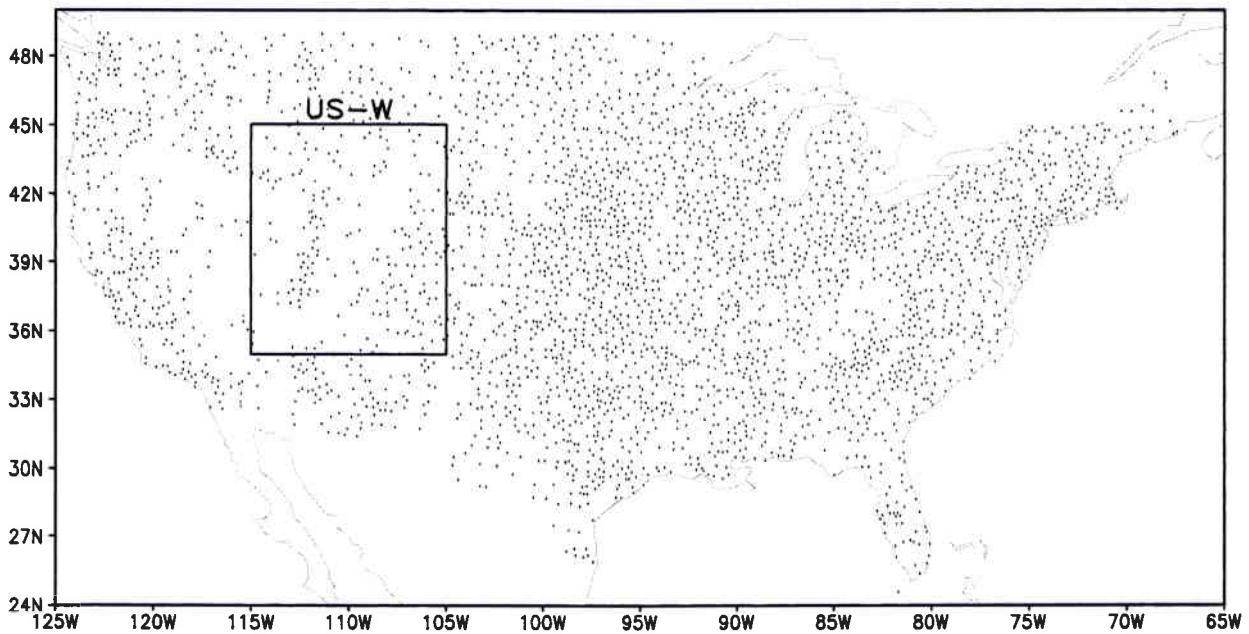


FIG. 1. Distribution of the gauge stations included in the NCDC "Surface Land Daily Cooperative Summary of the Day" dataset of daily precipitation with 80% or higher reporting rate during 1979–93. The labeled box indicates the subregion of the western U.S. mountainous area (see text).

the interpolated anomalies to the long-term mean. In the following discussions, we will refer to them as the direct and indirect approaches, respectively, for convenience. As described in section 2a, the OI technique implicitly analyzes anomalies, and thus only the indirect approach is applied for this technique.

Three statistical parameters were calculated to assess the agreement between the interpolated and the observed precipitation. They are the correlation, the bias, and the root-mean-square (rms) error. The correlation is an index of how well the spatial and temporal variation patterns match. The bias, defined as differences between the mean values of interpolated precipitation and those of the withdrawn station observations, provides a quantitative measure of how well the magnitudes agree. A positive bias indicates that interpolated values are larger than withdrawn observations. The rms error, defined as the root-mean-square differences between the analyzed values and the observations, helps us to understand how much the two sets of values differ in quantity. Both the bias and the rms error are normalized by the mean values of the observations. Because the frequency distribution of precipitation is highly skewed toward 0 (no rain), especially for short accumulations (e.g., daily), the normalized bias and rms error show very large values for cases with small mean precipitation (e.g., over dry regions).

c. Intercomparison over the United States

The first set of intercomparisons of the four interpolation algorithms was conducted using the gauge ob-

servations of daily precipitation over the United States collected in the "Surface Land Daily Cooperative Summary of the Day" by NCDC (Hughes et al. 1992). The original dataset includes gauge observations of daily precipitation at over 3800 stations for the period from 1979 to 1993. Only data for 3115 stations with 80% or higher reporting rates were used in this study. As shown in Fig. 1, these gauges are distributed relatively uniformly over the conterminous portion of the United States, with an average station-to-station distance of about 60 km.

To examine the effect of temporal averaging on the accuracy of interpolation, pentad and monthly precipitation values were calculated for each station by accumulating daily reports. Long-term means of daily, pentad, and monthly precipitation were then defined for each of the 3115 gauge stations using the corresponding data for the 15-yr period. These long-term means were then used as the first guess in the OI-based analysis and to define the total precipitation from the interpolated anomaly in the indirect approach using the three distance-weighting algorithms.

Although including data for longer periods yields more stable statistics, cross-validations for the interpolation of daily, pentad, and monthly precipitation were conducted for only 62 days (January and July of 1989), 37 pentads (pentads 1–37 of 1989), and 24 months (January 1989–December 1990), respectively, to reduce the computation amount to a manageable level. Because the spatial variability of precipitation varies from area to area, statistics were calculated for the entire

TABLE 1. Cross-validation results for daily, pentad, and monthly precipitation over the United States.

Region	Time	Cressman		Barnes		Shepard		OI indirect
		Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	
Correlation								
U.S.	Daily	0.773	0.865	0.782	0.860	0.750	0.842	0.848
	Pentad	0.875	0.904	0.877	0.898	0.858	0.892	0.902
	Monthly	0.902	0.924	0.902	0.925	0.890	0.921	0.929
US-W	Daily	0.564	0.766	0.600	0.784	0.550	0.723	0.738
	Pentad	0.736	0.797	0.752	0.797	0.725	0.787	0.802
	Monthly	0.780	0.863	0.793	0.874	0.764	0.864	0.883
Relative rms error (%)								
U.S.	Daily	204.5	160.2	199.8	162.7	215.6	173.9	170.8
	Pentad	83.8	73.6	82.8	75.7	89.3	78.4	74.7
	Monthly	37.9	33.4	37.7	33.3	40.1	34.2	32.4
US-W	Daily	312.6	230.2	294.0	223.7	318.3	255.1	245.5
	Pentad	132.4	117.8	127.3	116.0	134.6	120.7	115.7
	Monthly	60.3	48.2	58.5	46.2	62.2	47.9	44.5
Relative bias (%)								
U.S.	Daily	1.4	2.8	1.4	3.9	0.2	3.0	0.5
	Pentad	0.5	0.5	0.4	0.8	0.5	0.8	0.5
	Monthly	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2
US-W	Daily	5.2	7.9	5.4	12.3	0.7	7.4	-0.5
	Pentad	2.8	5.8	3.3	5.7	1.0	3.4	1.3
	Monthly	0.7	-0.4	1.7	0.1	0.1	0.4	0.4

United States and a subregion over the western U.S. mountainous areas (US-W; 35°–45°N, 105°–115°W). Table 1 presents the validation results for daily, pentad, and monthly precipitation.

As expected, the accuracy of the interpolated values improves with increasing temporal scale. For the OI-based interpolation of precipitation over the entire United States, the correlation, the relative rms error, and the relative bias are 0.848, 171%, and 0.5%, respectively, for daily accumulation; 0.902, 75%, and 0.5% for pentad; and 0.929, 32%, and 0.2% for monthly scale. The agreement between the interpolated values and the independent observations for the western U.S. region, however, is much worse than that for the entire United States. The OI-based interpolation of daily precipitation shows a correlation of 0.738 and a relative rms error of 246% for this region.

When the total value of precipitation is defined by directly interpolating observations from nearby stations (i.e., the direct approach), the three distance-weighting algorithms, the Cressman, Barnes, and Shepard, yield very similar statistics, showing reasonable agreements of the interpolated values with those from the withdrawn gauge observations. The correlations between the interpolated monthly precipitation and the gauge observations are 0.902, 0.902, and 0.890, respectively, for the Cressman, Barnes, and Shepard algorithms.

When the total value of precipitation is defined as the summation of the long-term mean and the anomaly interpolated from nearby stations (i.e., the indirect approach), the agreements in pattern for the analyses produced by the three distance-weighting algorithms, as measured by the correlation and the relative rms error,

exhibit consistent improvements when compared with those based on the direct approach. The correlation coefficients for the monthly precipitation based on the indirect approach over the entire United States are 0.924, 0.925, and 0.921, respectively, as compared with 0.902, 0.902, and 0.890 for the analyses based on the direct approaches. Particularly significant is the improvement over the western mountainous areas, for which the total precipitation receives substantial influences from topography. The correlation coefficients for monthly precipitation are 0.863, 0.874, and 0.864 for the analyses based on the indirect approach by the Cressman, Barnes, and Shepard algorithms, respectively, as compared with 0.780, 0.793, and 0.764 through the direct approach.

The agreement in magnitude, however, degrades for the indirect approach based on the three distance-weighting techniques, especially for applications to precipitation fields with large variability (shorter timescale and/or significant topographical effects). The relative biases for indirectly defined analyses of daily precipitation over the western mountainous areas are 7.9%, 12.3%, and 7.4% for the Cressman, Barnes, and Shepard methods, as compared with 5.2%, 5.4%, and 0.7% based on the direct approach. Positive biases in the indirect approach may be caused mainly by the limitation that the total precipitation has to be set to 0 when the summation of the climatology and the anomaly is negative.

The point values of precipitation interpolated by the OI algorithm, which by definition is an indirect approach, show equivalently good pattern agreements (correlation and rms error) when compared with those produced by the three distance-weighting algorithms through the indirect approach. However, the OI-based

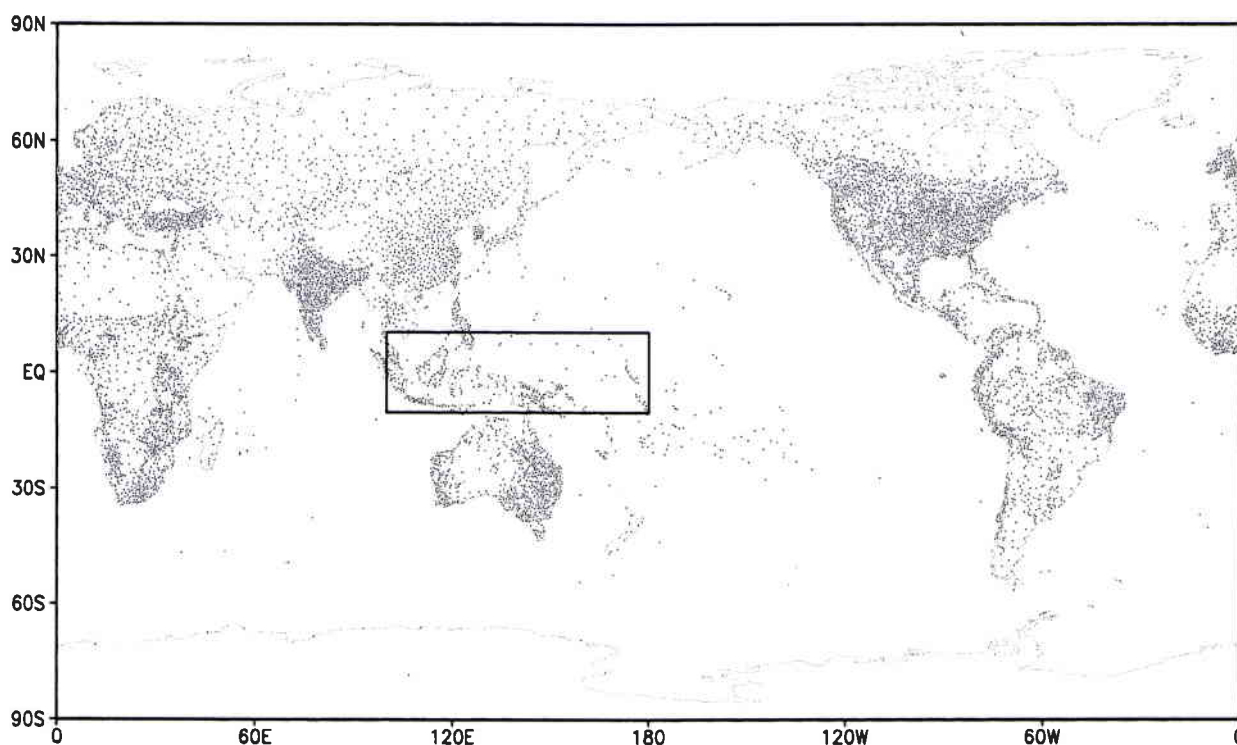


FIG. 2. Distribution of the gauge stations with 10-yr-or-longer recording periods from 1951 to 1990 collected in the GHCN2 and CAMS datasets. The labeled box indicates the subregion of the Indonesian islands (see text).

interpolation yields smaller biases, in general, than those based on the distance-weighting techniques, especially for shorter timescales. The correlation coefficient and relative bias for the interpolation of daily precipitation over the entire United States are (0.848, 0.5%) for the OI, and they are (0.865, 2.8%), (0.860, 3.9%), and (0.842, 3.0%) for the Cressman, Barnes, and Shepard algorithms through the indirect approach. In considering agreements in both the pattern and magnitude, the OI-based algorithm presents superior performance in interpolating precipitation for all temporal accumulation scales and over most regions in the United States.

d. Intercomparison over the global land areas

To understand further the performance of the four candidate algorithms in defining precipitation fields with various spatial variability, a similar intercomparison was conducted for land areas over the globe using station observations of monthly precipitation. A combination of two individual datasets was used: the version-2 dataset of the GHCN, compiled by NCDC, and the CAMS, maintained by the NOAA CPC.

As discussed in detail in the following section, the combined dataset of GHCN2 and CAMS is a collection of monthly precipitation reports from over 23 000 stations for the period from 1948 to 2000. The long-term mean of monthly precipitation was first calculated for each of the 17 493 stations with records greater than 10

years during the period from 1951 to 1990. This long-term mean was then used in the OI-based analysis as the first guess and in the indirect approach using the three distance-weighting algorithms to define total precipitation from the interpolated anomalies. Figure 2 shows the distribution of gauges for which the long-term mean of monthly precipitation is defined. Western Europe, India, East Asia, the east and west coastal areas of Australia, the United States, and some coastal areas in Africa and South America are covered by relatively dense gauge networks; precipitation over Amazonia and tropical Africa is observed by sparsely distributed gauges with notable gaps.

The number of gauge stations reporting precipitation varies with time, with a maximum of about 17 000 around 1970 (see Fig. 3 and discussion in the next section for details). To examine the performance of the algorithms in constructing precipitation fields observed by gauge networks of various density, the gauge data for January of 1970 were selected as the target month of the global intercomparison. In total, there are 16 682 gauge stations reporting monthly precipitation for that month.

Validation statistics were calculated for the entire global land area and for a subregion over the Indonesian islands (IND.ISL; 10°S–10°N, 100°E–180°). Table 2 shows the correlation, the relative rms error, and the relative bias of the interpolated point values of monthly precipitation against the withdrawn independent gauge

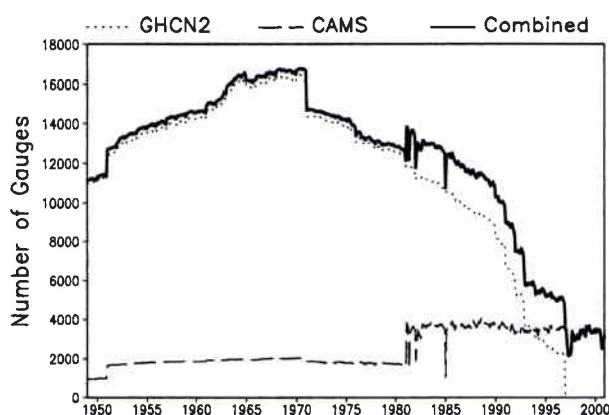


FIG. 3. Time series of numbers of gauges reporting monthly precipitation in GHCN2 (dotted line), CAMS (dashed line), and their combination (solid line).

observations for the entire global land area and the Indonesian islands.

As found in the regional intercomparison over the United States, interpolation of anomalies yields better pattern agreement than direct derivation from station observations of total precipitation for the three distance-weighting algorithms. Over the entire global land area, correlation coefficients for the indirect approach are 0.877, 0.857, and 0.895 for the Cressman, Barnes, and Shepard algorithms, and those for the direct approach are 0.760, 0.801, and 0.831, respectively (Table 2, top). Significant improvements in pattern agreement are observed over the Indonesian Maritime Continent region, where the topographic effects on the spatial distribution of total precipitation are substantial. The correlation coefficients are as low as 0.4–0.5 when directly interpolating total precipitation. These statistics go up to over 0.7 for the indirect approaches.

The indirect approach, defining total precipitation by adding the interpolated anomaly to the climatology, however, tends to produce analyses of monthly precipitation with larger bias than those derived through the direct approach, especially for those using the Barnes and Shepard algorithms. The bias of interpolated values over the entire global land area is -0.3% for the direct

approach using the Barnes algorithm; it is 1.7% for the indirect approach (Table 2, bottom).

The OI-based interpolation of monthly precipitation yields good agreements in both the pattern and magnitude. Both the pattern agreement, measured by the correlation and the relative rms error, and the magnitude agreement, measured by bias, are equally as good as or marginally superior to those for the three distance-weighting algorithms with the indirect approach over the entire global land area and most of the subregions.

The same intercomparison was repeated for the same month using gauge reports from 50%, 25%, and 10% of all available observations so as to examine the impact of varying gauge network density on the accuracy of the interpolated values of monthly precipitation. Table 3 shows the results for the entire global land area. The interpolation accuracy (correlation and relative rms error) degrades with the decreasing gauge network density for all algorithms and for both the direct and indirect approaches of interpolation. The indirect interpolation approach for the three distance-weighting algorithms and the OI scheme, however, appears more successful in interpolating station observations with less density. For the Barnes algorithm with the direct interpolation approach, the correlation decreases from 0.801 based on all available gauges to 0.582 based on 10% gauges, and it changes from 0.857 to 0.750 if the indirect approach is applied (Table 3, top).

Although the regional and global intercomparisons of the interpolation algorithms were conducted using limited data and although fluctuation and uncertainty exist in the statistics, three conclusions can be drawn from the results presented above:

- 1) When distance-weighting algorithms, such as those of Cressman (1959), Barnes (1964), and Shepard (1968), are applied, the issue that most influences the interpolation accuracy is not the interpolation algorithm (e.g., weighting function, searching distance) but the interpolation strategy (direct or indirect approaches). Once the strategy is determined, the accuracy of the interpolated fields is relatively insensitive to the algorithm used.

TABLE 2. Cross-validation results for monthly precipitation over the global land areas.

Regions	Cressman		Barnes		Shepard		OI Indirect
	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	
Correlation							
Globe	0.760	0.877	0.801	0.857	0.831	0.895	0.896
IND.ISL	0.402	0.749	0.445	0.722	0.544	0.761	0.772
Relative rms error (%)							
Globe	92.1	65.9	80.7	71.6	75.9	60.6	60.5
IND.ISL	67.3	45.5	59.3	49.3	58.2	44.5	42.8
Relative bias (%)							
Globe	3.5	2.3	-0.3	1.7	0.4	0.9	0.5
IND.ISL	0.5	0.7	-1.2	3.3	1.0	1.2	0.1

TABLE 3. Cross-validation results for gauge networks of reduced density.

Density of gauges	Cressman		Barnes		Shepard		OI indirect
	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	
	Correlation						
Full	0.760	0.877	0.801	0.857	0.831	0.895	0.896
50%	0.732	0.874	0.711	0.851	0.810	0.891	0.900
25%	0.692	0.847	0.683	0.835	0.774	0.873	0.880
10%	0.635	0.741	0.582	0.750	0.716	0.832	0.811
	Relative rms error (%)						
Full	92.1	65.9	80.7	71.6	75.9	60.6	60.5
50%	94.5	66.4	101.1	72.6	80.1	61.6	59.3
25%	103.5	74.2	105.4	76.9	87.8	67.8	66.1
10%	105.6	96.0	111.8	90.4	94.6	75.7	81.4
	Relative bias (%)						
Full	3.5	2.3	-0.3	0.9	0.4	0.9	0.5
50%	-0.3	0.9	0.8	0.9	0.4	0.9	0.3
25%	2.6	1.4	1.0	0.4	-0.5	0.4	0.0
10%	-0.4	1.4	-11.3	0.0	-2.0	0.0	-0.6

- 2) For the distance-weighting algorithms, the indirect approach, which defines the total precipitation by adding the interpolated anomaly to the climatology, yields substantial improvements in pattern agreement but degradation to some extent in magnitude agreement when compared with the direct approach, which creates precipitation analysis by directly interpolating observations of total precipitation from nearby stations.
- 3) In most cases, the OI algorithm of Gandin (1965) exhibits superior performance in constructing precipitation analysis when compared with the distance-weighting algorithms.

3. Construction of global analysis from 1948

Based on the results for the intercomparison of the four algorithms, it was decided to construct the analysis of monthly precipitation for the period from 1948 to 2000 by interpolating gauge observations using the OI algorithm.

Two sets of gauge observations of monthly precipitation were used jointly to construct the analysis. One is GHCN2 dataset, (Peterson and Vose 1997) and the other is the CAMS dataset (Ropelewski et al. 1985). These two datasets were described in section 2d.

The GHCN2 dataset contains quality controlled monthly precipitation data at over 23 000 stations over global land areas for an extensive period from the late 1690s to 1996. Not every station, however, has a precipitation observation for every month. As shown in Fig. 3, the number of GHCN2 gauge stations (dotted line) reporting precipitation increases from about 11 000 in 1948 to about 17 000 in 1970 and then declines down to about 3000 in 1996. In addition, the spatial distribution (Fig. 4, top) of the gauges is uneven in the dataset. Western Europe; India; eastern China; coastal areas of Australia, Africa, and South America; and the

United States are covered by relatively dense networks, but there are few gauges over central and northern Africa, central Asia, and the Amazon basin.

The monthly gauge observations in CAMS are based on two data sources, one obtained from the historical records collected and edited by NCAR for the period before 1981 and the other accumulated on a real-time basis from the GTS for the period after 1981 (Ropelewski et al. 1985). Although only an automatic screen check and gross quality control are conducted for monthly precipitation data, the CAMS relies heavily on "CLIMAT" station reports, which are of high quality. The number of gauge stations reporting precipitation (Fig. 3, dashed line) is roughly 1900 and 3500 for the two periods, respectively. In comparison with the GHCN2 dataset, the CAMS gauge network (Fig. 4, middle) is denser over Europe and central and East Asia but is much sparser over the rest of the global land areas.

Although adding more gauges does not necessarily lead to improvement in the quality of the resulting precipitation analysis, the extremely poor coverage of the gauge observations in both datasets in some of the land areas and the unavailability of the GHCN2 gauge observations for recent years required combination of the two gauge datasets (Fig. 4 bottom) so as to construct the global precipitation analysis of the highest possible quality. This is done by comparing the station identification and location and the time series of monthly precipitation. As a result, 1976 stations among the total of 5652 stations in the CAMS dataset were determined to be independent and were added to the GHCN2 dataset. Figure 3 shows the time series of the number of gauges available in the combined gauge dataset (solid line) from 1948 to 2000. Inclusion of the CAMS gauge data greatly improves the gauge coverage for the period after 1980 and makes it possible to construct the analysis for recent years.

As described in section 2a, the OI technique of Gan-

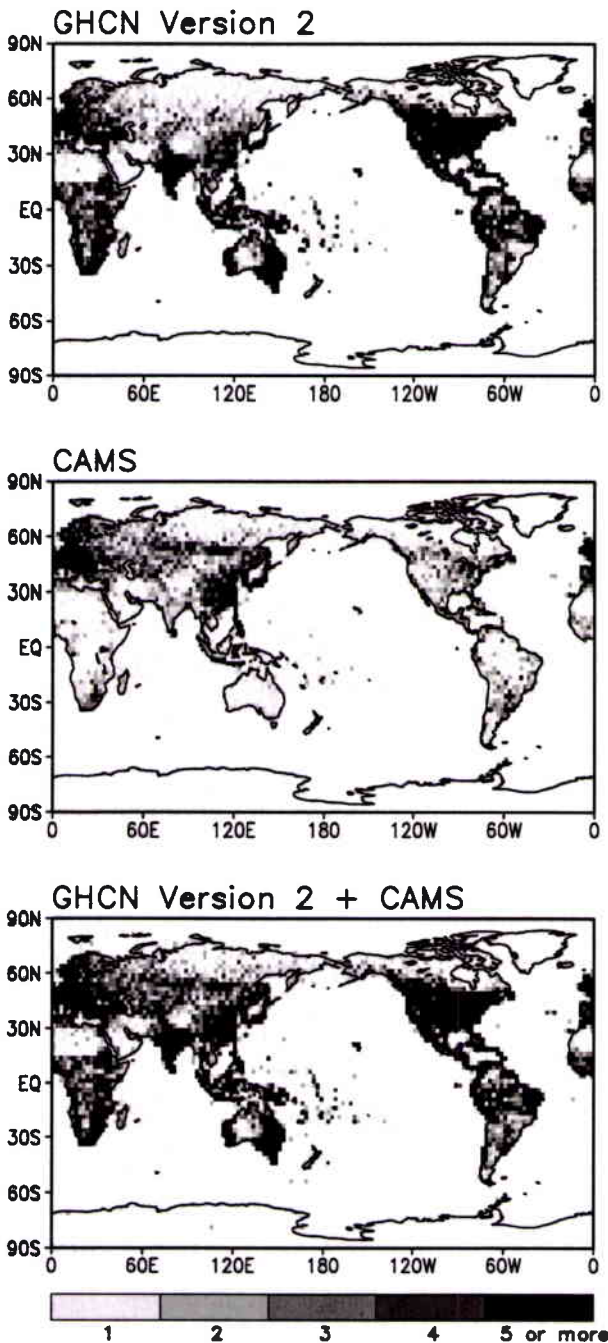


FIG. 4. Distribution of numbers of gauges in 2.5° latitude/longitude grid boxes available from (top) GHCN2, (middle) CAMS, and (bottom) their combination.

din (1965) defines the analysis value at a target grid point by modifying a first-guess value at the grid point with weighted mean of the differences between the observed values and the first-guess values at station locations within a search distance. Long-term means of monthly precipitation were used as the first guess in defining our gauge-based analysis. First, long-term

means of monthly precipitation were calculated at gauge locations from the station observations collected in the combined dataset described above. Long-term means of monthly precipitation at target grid points were then defined by interpolating those over gauge locations, using the algorithm of Shepard (1968). Raising the minimum years of observations required in calculating long-term means for each station improves the quantitative accuracy and stability at station locations, but it reduces the total number of qualified stations and therefore degrades the spatial representativeness of the resulting first-guess fields. After examining the effects of temporal and spatial sampling on the accuracy of interpolated fields of long-term means, Willmott et al. (1996) and Hulme and New (1997) both concluded that including additional stations yields more improvements than the degradation caused by reducing the number of years that define the climatology. To determine the best threshold for defining the long-term means, we tried several options ranging from 5 to 40 yr and found that a base period of 40 yr (1951–90) with at least 10 years of observations results in analyses of long-term means of monthly precipitation with balanced spatial representativeness and quantitative accuracy. Of over 23 000 stations available from the combined gauge dataset, 17 493 satisfy the requirements (Fig. 2). Note that reasonable gauge coverages are available over the Amazon basin and tropical Africa when using these criteria.

An analysis of monthly precipitation over global land areas was then constructed by interpolating the monthly gauge observations in the combined dataset by using the OI algorithm with the monthly long-term mean precipitation as the first guess. Following GPCP and Xie et al. (1996), the gauge-based analysis was first defined at grid points of 0.5° latitude/longitude intervals over the global land areas. Areal mean precipitation over each 0.5° latitude/longitude grid box was then defined as the arithmetic mean of the point values at its four corners. The areal mean precipitation over each 2.5° latitude/longitude grid box was calculated as the mean of the 25 0.5° grid boxes weighted by their areas. This gauge-based analysis of monthly precipitation was defined over global land areas for the 53-yr period from 1948 to 2000. Figure 5 is an example of the monthly precipitation analysis (top) and the number of gauges (bottom) in each 2.5° latitude/longitude grid box for January of 1970. Precipitation zones associated with the major convection centers are observed over the Southern Hemisphere portions of Africa, South America, and the Indonesian maritime continent. Additional rain areas appear over the eastern coastal areas of the United States, over western Europe, and over the northern and eastern coasts of Australia.

Several shortcomings exist in the gauge-based analysis of monthly precipitation because of problems and imperfections in the input station observations and in the interpolation algorithms. No modification is applied in this work to correct the bias in the station observa-

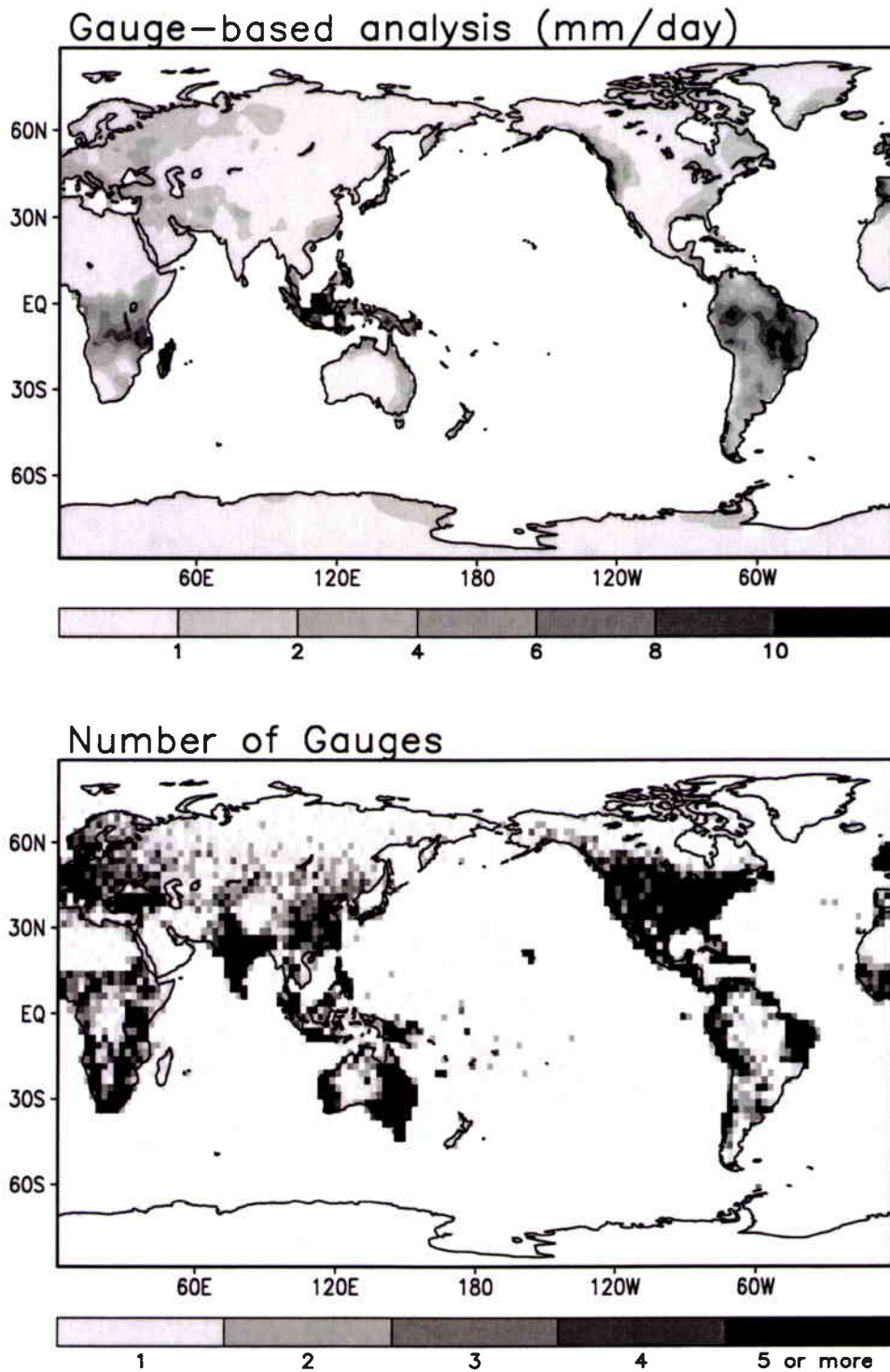


FIG. 5. (top) Gauge-based analysis of global monthly precipitation (mm day^{-1}) for Jan 1970 and (bottom) the number of gauges in each 2.5° latitude/longitude grid box used to define the analysis.

tions caused by the gauge undercatchments or to remove the discontinuity introduced from the changes in instruments. Although the gauge undercatchment is a formidable error source, especially during winter and early

spring over mid- and high-latitude land areas, it is very difficult, if not impossible, to correct it month by month without coincident information about the precipitation type and the wind speed. Accurate removal of discon-

tinuities also requires additional information about the time of the instrument changes, which is not generally available. The analysis ideally should be defined using station reports at the same stations throughout the target period to ensure temporal homogeneity. Only a small portion of the stations have full coverage for the 53-yr period, and monthly precipitation data from all reporting stations were used to create the analysis. Because of these factors, the resulting gauge-based analysis of monthly precipitation may result in underestimates of monthly precipitation over areas and for seasons with substantial snowfall, and its time series may also be contaminated with artificial long-term variability and trend. Another potential source of error of the gauge-based analysis lies in the handling of the orographic effect on precipitation. Although the OI algorithm is able to reproduce the precipitation distribution over mountainous areas better by adding interpolated anomalies to a monthly climatology based on a dense network of historical observations (see section 2), systematic error may occur over areas for which historical station observations are not available and nearby stations are unrepresentative. This may cause serious problems in some applications that require accurate estimates of heavy rainfall over a region with mountainous topography (Nijssen et al. 2001).

As mentioned in the introduction, our final goal is to create an analysis of monthly precipitation for an extended period from 1948 to the present by interpolating gauge observations over land and by EOF reconstruction of historical records over ocean. The gauge-based analysis of monthly precipitation described above is the land portion of this extended analysis. For convenience, we will label the extended analysis over the entire globe as PREC (precipitation reconstruction) and the gauge-based analysis over land and the reconstruction over ocean as PREC/L and PREC/O, respectively.

4. Validation and application of the gauge analysis

The new 53-yr monthly analysis of global land precipitation (PREC/L) was compared with four published gauge-based precipitation analyses and was used to examine the seasonal and interannual variations of large-scale precipitation over the land areas of the globe.

The four datasets of gauge-based monthly precipitation to be compared here are those of New et al. (2000), Dai et al. (1997), the GPCC gauge-based analysis (Rudolf 1993), and Xie et al. (1996). The monthly analysis of New et al. (2000) was originally constructed on a 0.5° latitude/longitude grid over global land areas for the period from 1901 to 1996. However, only the precipitation data averaged on 5.0° latitude/longitude grid boxes were available free of charge and were used in this comparison. The dataset of Dai et al. (1997) contains a time series of monthly precipitation anomalies over the global land areas. Total precipitation was defined by adding these anomalies to the monthly cli-

matology of Shea (1986). All three of the remaining gauge-based analyses were created on a 2.5° latitude/longitude grid over global land areas and covered time periods from 1900 to 1988 in Dai et al. (1997), from 1986 to the present in the GPCC, and from 1971 to 1996 in Xie et al. (1996). Because of the different temporal coverages in the various datasets, two sets of comparisons were conducted: one among our 53-yr analysis (PREC/L), New et al. (2000), and Dai et al. (1997) for the period from 1948 to 1988, and the other among the PREC/L, GPCC, and Xie et al. (1996) for the period from 1986 to 1995. Only the 2.5° latitude/longitude grid boxes with 50% or more land coverage were included in the comparison.

Figure 6 shows the spatial distributions of annual mean precipitation averaged for the 41-yr period from 1948–88 as obtained from the PREC/L, New et al. (2000), and Dai et al. (1997) (left column) and for the 10-yr period from 1986 to 1995 from the PREC/L, GPCC, and Xie et al. (1996) (right column). Several blank areas are observed in the analyses of New et al. (2000) and Dai et al. (1997) due to their assignments of the analysis over no-gauge grid boxes as missing. Otherwise, the annual averages for the 41-yr period obtained from the three datasets, all of which were defined through adding interpolated anomalies to the climatology (the indirect approach), show very similar spatial distribution patterns, characterized by rainbands associated with the intertropical convergence zone, the South Pacific convergence zone, and midlatitude storm tracks.

The spatial distribution patterns of annual means for the 10-yr period are also very similar among the PREC/L, GPCC, and Xie et al. (1996). Noticeable differences in magnitude, however, are observed over India, the Amazon, and several other tropical land areas, for which our new 53-yr analysis (PREC/L) presents heavier rainfall than those in the GPCC and Xie et al. (1996). A detailed examination (results not shown here) revealed that most of these differences are caused by biases in the analyses of the GPCC and Xie et al. (1996) within regimes of precipitation with large spatial variations observed by sparse gauge networks. The direct approach, like those of the GPCC and Xie et al. (1996), defines total precipitation by interpolating observations from surrounding stations, resulting in biases for cases where there are systematic differences between the precipitation values at the target grid point and its surrounding stations. The indirect approach, like the OI used in the PREC/L, is able to reproduce better the magnitude by defining the long-term means using observations from dense gauge networks for a historical period and then modifying them by anomalies from stations with reports for the target month.

Table 4 shows the precipitation averaged over the two hemispheres and the whole globe and for the seasonal periods of December–January–February (DJF) and June–July–August (JJA), as well as the entire year. Only

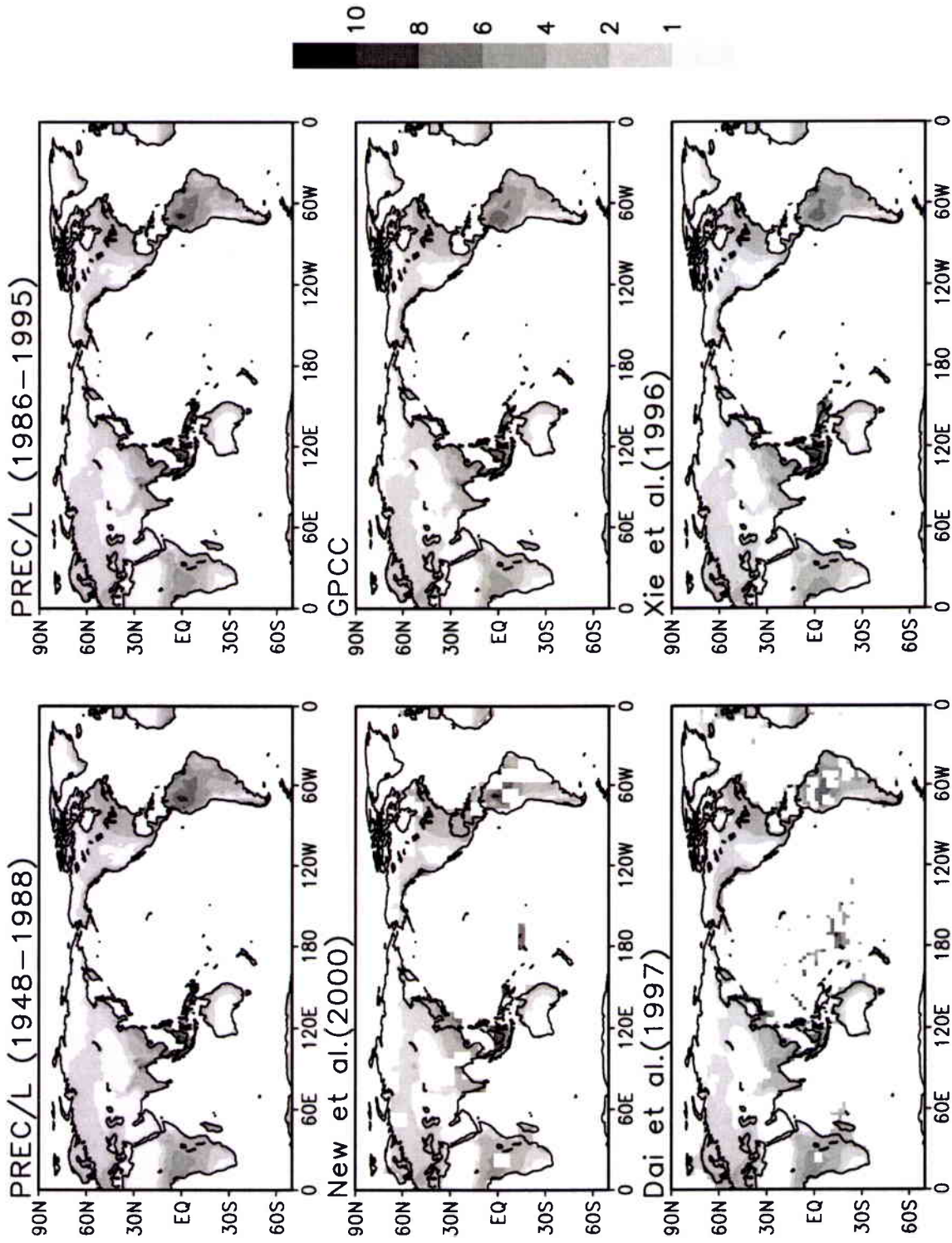


FIG. 6. Mean annual precipitation (mm day^{-1}) defined for (left) a 41-yr period (1948–88) from (top) our gauge-based analysis (PREC/L), (middle) New et al. (2000), and (bottom) Dai et al. (1997); and (right) for a 10-yr period (1986–95) from (top) our new gauge-based analysis (PREC/L), (middle) the GPCC, and (bottom) Xie et al. (1996).

TABLE 4. Mean precipitation (mm day^{-1}) over 2.5° latitude/longitude grid boxes with 50% or more land.

Sources	DJF			JJA			Annual		
	Globe	NH	SH	Globe	NH	SH	Globe	NH	SH
	(1948–88)								
PREC/L	1.97	1.03	4.34	2.59	3.15	1.16	2.18	1.96	2.73
New et al.(2000)	2.01	1.05	4.41	2.61	3.18	1.19	2.21	1.99	2.76
Dai et al.(1997)	1.99	1.05	4.37	2.55	3.06	1.25	2.18	1.94	2.78
	(1986–95)								
PREC/L	2.06	0.99	4.70	2.46	2.93	1.32	2.18	1.84	3.00
GPCC	1.97	0.93	4.51	2.29	2.73	1.21	2.06	1.74	2.84
Xie et al.(1996)	2.01	0.92	4.70	2.25	2.68	1.19	2.05	1.70	2.89

the grid boxes with analyzed values of precipitation available from all datasets are included in the calculation of the long-term mean (Table 4) and annual cycle (Fig. 7). In general, the long-term averages obtained from our PREC/L analysis agree very well with those of New et al. (2000) and Dai et al. (1997). The annual mean precipitation over the global land areas is 2.18 mm day^{-1}

while those over the Northern and Southern Hemispheres are 1.96 and 2.73 mm day^{-1} , respectively. The PREC/L, however, exhibits larger values of average precipitation than those defined from the gauge-based analyses of GPCC and Xie et al. (1996).

Figure 7 shows the annual cycle of precipitation averaged over the land areas of the two hemispheres and

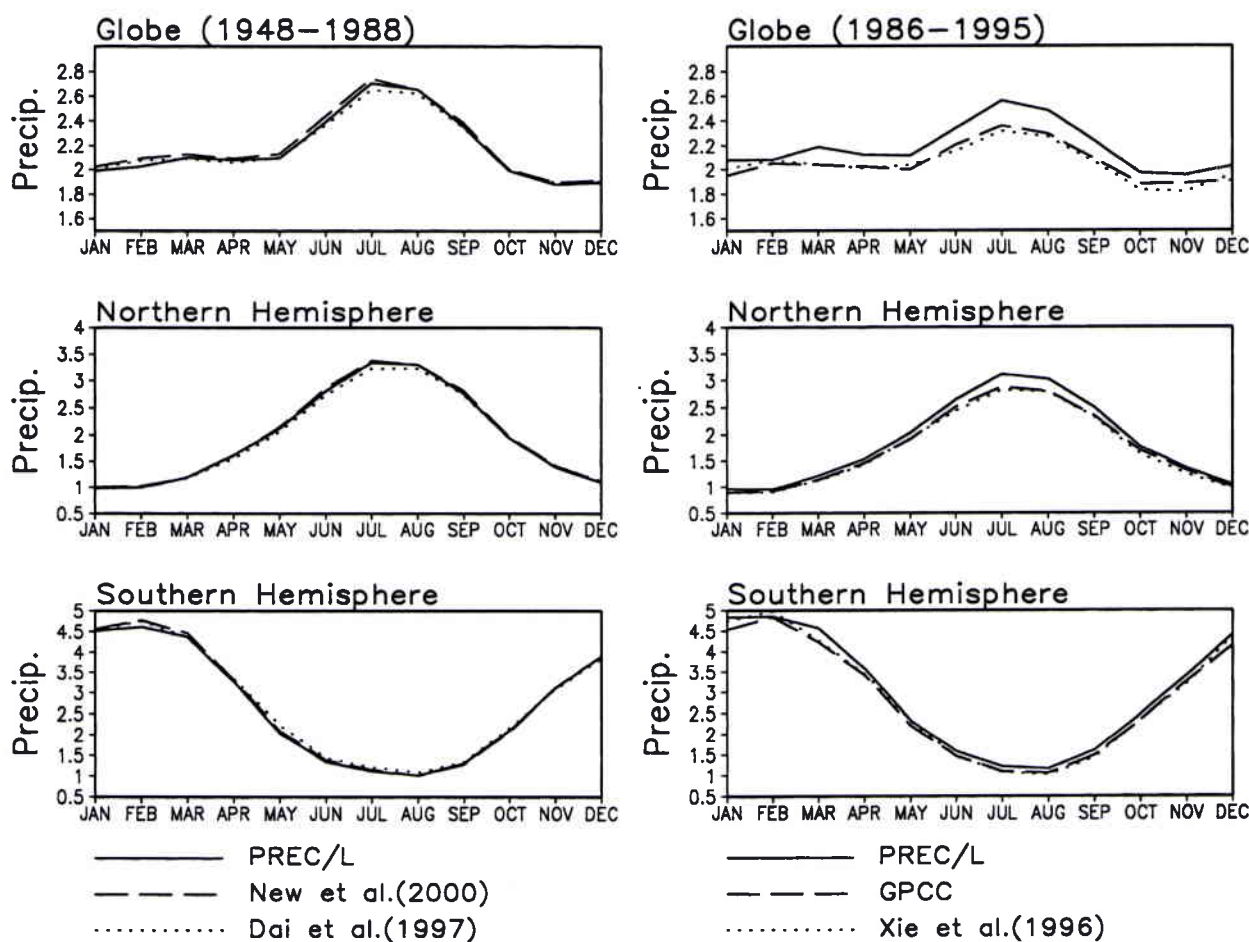


FIG. 7. Annual cycles of mean precipitation (mm day^{-1}) over 2.5° latitude/longitude grid boxes with at least 50% land coverage over (top) the entire globe, and the (middle) Northern and (bottom) Southern Hemispheres as defined by several datasets. (left) The results for the 41-yr period from 1948 to 1988. (right) Those for the 10-yr period from 1986 to 1995.

the entire globe. The annual cycles averaged for the 41-yr period from 1948 to 1988 are very close for the three sets of gauge-based analyses examined here. In particular, our PREC/L and the New et al. (2000) show almost exactly the same curve over the Northern Hemisphere. Over the Northern Hemisphere, the annual cycle of precipitation peaks in July–August; over the Southern Hemisphere, the peak is found in January–February. The annual cycles defined from the Dai et al. (1997) dataset show somewhat smaller peak values than those from the other two during boreal summer. The annual cycles for the 10-yr period are very close for the GPCP and the Xie et al. (1996), reflecting the fact that the two of them were created by the same algorithm and from similar gauge networks. These annual cycles, however, are consistently smaller than that from our PREC/L, especially for months with heavier precipitation. As discussed before, this difference can likely be attributed to the biases in the GPCP and the Xie et al. (1996) datasets.

One of the potential applications of this 53-yr gauge-based monthly analysis is the examination of interannual variability of large-scale precipitation over the land areas of the globe. Here, as an example of such applications, the interannual variability associated with the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) phenomenon is described. Although there are many ways to define an ENSO episode, we adopted a simple and objective approach in which a cold/warm ENSO episode is declared for a season if the SST anomaly over the Niño-3 area (5°N – 5°S , 150° – 90°W) is $\leq -0.5^{\circ}\text{C}$ or $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$. This classification results in 45 cold- and 52 warm-event seasons, more than 10 events for each season, and 99 normal seasons for the period from 1950 to 1998. These classification results are in general agreement with those of Ropelewski and Halpert (1989), which are based on the Southern Oscillation index. Particularly noticeable is that, with 10 or more warm or cold events observed for each season during the period, it becomes possible to quantify the precipitation variability observed among different ENSO episodes with increased confidence using this new gauge-based analysis.

To this end, mean precipitation was composited for the warm and cold events as determined above. The departure of these composite fields from overall mean depicts shifts in precipitation that are associated with the ENSO cycle. In Fig. 8 (top), we show these departures for the DJF season, after having normalized them by the standard deviation of seasonal means over the 53-yr period. As expected, the pattern of anomalous precipitation is similar to the observations of Ropelewski and Halpert (1987, 1989), Janowiak (1988), Janowiak and Arkin (1991), Dai et al. (1997), and Dai and Wigley (2000). By normalizing the anomalies, however, other high-latitude signals appear that are diminished when analyzing nonnormalized data. For example, wetter-than-normal conditions tend to be observed in Mexico and the southern parts of the United States, during

warm episodes, and normal to anomalously dry conditions tend to prevail there during cold events.

Because the dataset extends over 53 years, an ample number of ENSO events exist in the record so that we can assess variability in precipitation among the events with reasonable confidence. To examine this variability, we plot the standard deviation of the normalized anomalies among the cold- and warm-event DJF seasons (Fig. 8, bottom). Note that we plot these statistics only in regions for which the seasonal mean precipitation exceeds 0.3 mm day^{-1} ; that is, there is no shading where the mean precipitation is less than 0.3 mm day^{-1} . In general, there is more variability in precipitation during cold episodes than during warm episodes. To be specific, this is observed over much of Australia, southern Africa, the eastern United States, and in northern South America. In contrast, more variability is observed among warm episodes in southeastern China, parts of Indonesia, and Mexico than among cold events.

5. Summary and future work

Analyses of monthly precipitation have been constructed on a 2.5° latitude/longitude grid over global land areas for the period from 1948 to 2000 by interpolating gauge observations at over 17 000 stations collected in two individual datasets: the Global Historical Climatology Network, version 2, of NOAA/NCDC and the Climate Anomaly Monitoring System of NOAA/CPC.

First, an intercomparison was conducted among four published algorithms [Cressman (1959); Barnes (1964), Shepard (1968), and the optimal interpolation method of Gandin (1965)] to examine their performance in interpolating gauge observations of daily, pentad, and monthly precipitation. The results showed that all of these algorithms perform better in interpolating anomaly of precipitation than the total values and that the OI scheme yields superior and stable statistics in most cases when compared with the other three algorithms. The correlation between the analysis values and the withdrawn independent station observations is about 0.8 and the bias is almost 0 for interpolation of monthly precipitation using the OI algorithm.

Based on these results, the OI algorithm was selected to construct the analysis of monthly precipitation over global land areas for a 53-yr period from 1948 to 2000. First, quality control was conducted for the station observations of monthly precipitation collected in the GHCN2 and CAMS datasets to remove erroneous and questionable values and to remove redundancy. Climatologies of monthly precipitation were then defined for stations with records of 10 years or longer during the 40-yr period from 1951 to 1990 and were used to construct analyzed fields of monthly precipitation climatology over the global land areas. Last, analyses of monthly precipitation were created by interpolating the

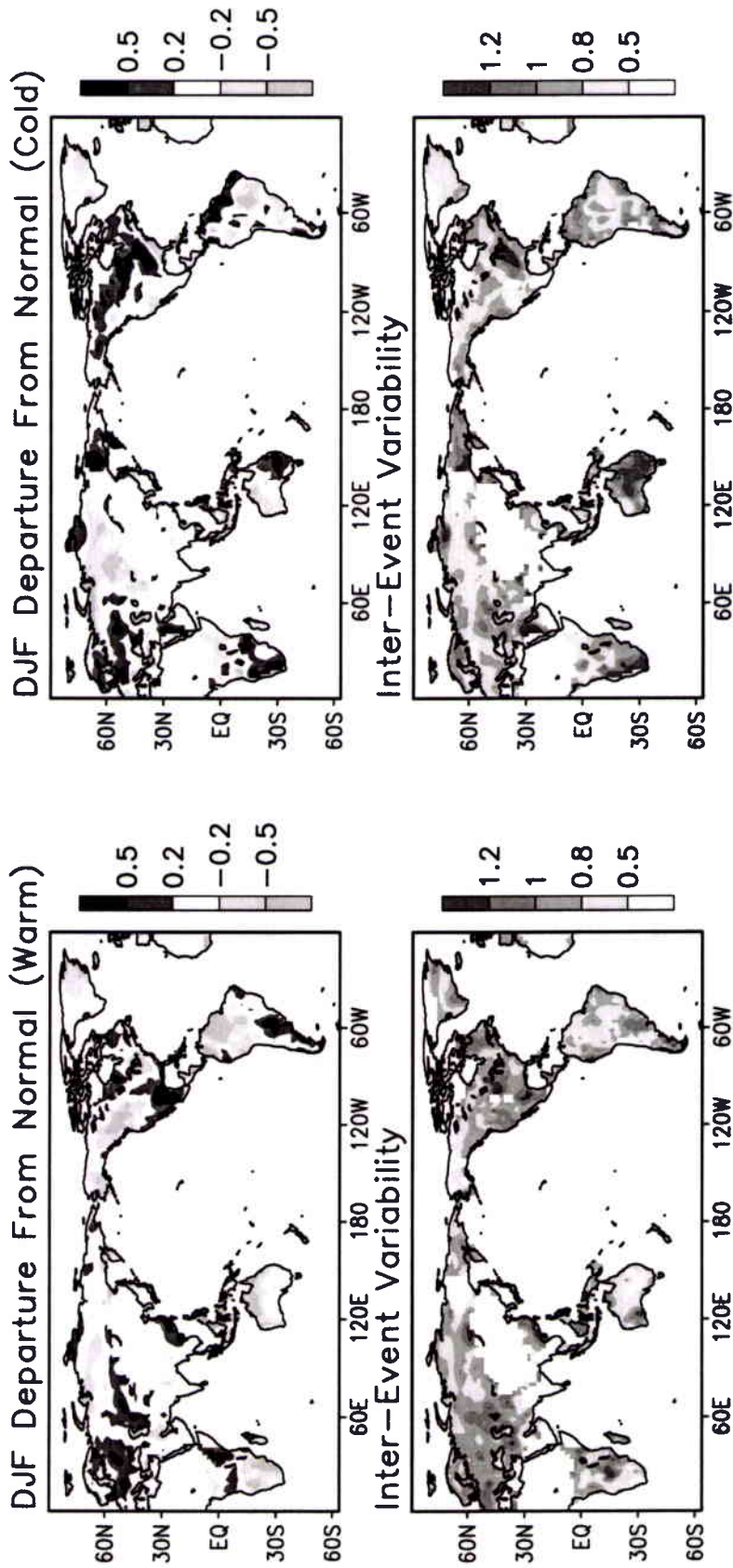


FIG. 8. (top) The normalized anomalous precipitation for DJF for (left) warm-event and (right) cold-event ENSO composites from the 53-yr PREC/L analysis. (bottom) The precipitation variability among (left) warm and (right) cold events. This "inter-event" variability is defined as the standard deviation of the normalized anomalies for each year in the composites in the top panel.

quality-controlled monthly station data via the OI algorithm using the climatology as the first guess.

The 53-yr gauge-based analysis of monthly precipitation over land (PREC/L) was compared with four published gauge-based datasets: New et al. (2000), Dai et al. (1997), the GPCC, and Xie et al. (1996). Close agreements in both the phase and the magnitude of the mean annual cycles were observed among the PREC/L, Dai et al. (1997), and New et al. (2000), in which total precipitation was defined by adding interpolated anomalies to the climatology. The PREC/L, however, exhibits larger precipitation amounts when compared with those of GPCC and Xie et al. (1996), in which analysis values were calculated by direct interpolation of precipitation observations over surrounding gauge stations. PREC/L was used to examine the interannual variations in large-scale precipitation and showed ENSO-related anomaly patterns similar to those reported by previous studies.

The work reported here is an integral part of our efforts to construct an analysis of monthly precipitation over the entire globe for an extended period from 1948 to the present. Known as precipitation reconstruction, this monthly analysis of precipitation consists of gauge-based analysis over land and the reconstructed fields over ocean. The 53-yr gauge-based analysis (PREC/L) described in this paper is the land portion of the analysis over the entire globe (PREC). Work is under way to define monthly analysis of precipitation over oceanic areas (PREC/O) for the same period as PREC/L. This oceanic precipitation analysis will be derived by EOF reconstruction that combines the spatial variability distribution patterns defined from satellite observations for later years with temporal variation information taken from historical records of gauge and ship observations. This technique was developed by Smith et al. (1996), who successfully applied it to construct sea surface temperature analyses for the presatellite era.

Acknowledgments. We thank S. Curtis, R. Bruno, A. Dai, A. Gruber, M. Halpert, G. J. Huffman, M. Hulme, M. New, D. J. Seo, T. Smith, E. Yarosh, and X.-B. Zhang for their invaluable discussions and comments throughout this study. We are also indebted to the editor and three anonymous reviewers, whose comments lead to improvements to the original manuscript. The 53-yr gauge-based analysis of global land precipitation was available through anonymous FTP at ftp.ncep.noaa.gov/pub/precip/50-yr. In addition, an analysis on 0.5° latitude/longitude is also available on request.

REFERENCES

- Adler, R. F., A. J. Negri, P. R. Keehn, and I. M. Hakkarinen, 1993: Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding waters from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 335–356.
- , G. J. Huffman, and P. R. Keehn, 1994: Global rain estimates from microwave adjusted geosynchronous IR data. *Remote Sens. Rev.*, **11**, 125–152.
- Arkin, P. A., and P. Xie, 1994: The Global Precipitation Climatology Project: First Algorithm Intercomparison Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **75**, 401–419.
- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, **3**, 396–409.
- Bradley, R. S., P. M. Kelly, P. D. Jones, C. M. Goodess, and H. F. Diaz, 1985: A climatic data bank of Northern Hemisphere land areas, 1851–1980. U.S. Department of Energy Tech. Rep. 017.
- , H. F. Diaz, J. K. Eischeid, P. D. Jones, P. M. Kelly, and C. M. Goodess, 1987: Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century. *Science*, **237**, 171–175.
- Bussieres, N., and W. Hogg, 1989: The objective analysis of daily rainfall by distance weighting schemes on a mesoscale grid. *Atmos.–Ocean*, **27**, 521–541.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367–374.
- Creutin, J. D., and C. Obled, 1982: Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields: An objective comparison. *Water Resour. Res.*, **18**, 413–431.
- Curtis, S., and R. F. Adler, 2000: ENSO indices based on patterns of satellite-derived precipitation. *J. Climate*, **13**, 2786–2793.
- Dai, A., 2001a: Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations. *J. Climate*, **14**, 1092–1111.
- , 2001b: Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part II: Diurnal variations. *J. Climate*, **14**, 1112–1128.
- , and T. M. L. Wigley, 2000: Global patterns of ENSO induced precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1283–1286.
- , I. Y. Fung, and A. D. Del Genio, 1997: Surface observed global land precipitation variations during 1900–88. *J. Climate*, **10**, 2943–2962.
- , T. M. L. Wigley, B. A. Boville, J. T. Kiehl, and L. E. Buja, 2001: Climates of the twentieth and twenty-first centuries simulated by the NCAR climate system model. *J. Climate*, **14**, 485–519.
- Diaz, H. F., R. S. Bradley, and J. K. Eischeid, 1989: Precipitation fluctuations over global land areas since the late 1800s. *J. Geophys. Res.*, **94**, 1195–1210.
- Doherty, R. M., M. Hulme, and C. G. Jones, 1999: A gridded reconstruction of land and ocean precipitation for the extended tropics from 1974 to 1994. *Int. J. Climatol.*, **19**, 119–142.
- Dorman, C. E., and R. H. Bourke, 1979: Precipitation over the Pacific Ocean, 30°S to 60°N. *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 896–910.
- , and —, 1981: Precipitation over the Atlantic Ocean, 30°S–70°N. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 554–563.
- Eischeid, J. K., H. F. Diaz, R. S. Bradley, and P. D. Jones, 1991: A comprehensive precipitation dataset for global land areas. U.S. Department of Energy Tech. Rep. DOE/ER-6901T-H1, 81 pp. [Available from National Technical Information Service, U.S. Dept. of Commerce, Springfield, VA 22161.]
- Gandin, L. S., 1965: *Objective Analysis of Meteorological Fields*. Israel Program for Scientific Translations, 242 pp.
- Gruber, A., and A. F. Krueger, 1984: The status of the NOAA outgoing longwave radiation dataset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **65**, 958–962.
- Huffman, G. J., R. F. Adler, B. R. Rudolf, U. Schneider, and P. R. Keehn, 1995: Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. *J. Climate*, **8**, 1284–1295.
- , and Coauthors, 1997: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 5–20.
- Hughes, P. Y., E. H. Mason, T. R. Karl, and W. A. Brower, 1992: United States historical climatology network daily temperature and precipitation data. Tech. Rep. ORNL/CDIAC-50, NDP-042, Carbon Dioxide Information Analysis Center, ORNL, Oak Ridge, TN, 40 pp.
- Hulme, M., 1991: An intercomparison of model and observed global precipitation climatologies. *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 1715–1718.

- , 1992: A 1951–80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models. *Climate Dyn.*, **7**, 57–72.
- , 1994: Validation of large-scale precipitation fields in general circulation models. *Global Precipitations and Climate Change*, M. Desbois and F. Desalmand, Eds., Springer-Verlag, 387–405.
- , 1995: Estimating global changes in precipitation. *Weather*, **50**, 34–42.
- , and M. G. New, 1997: Dependence of large-scale precipitation climatologies on temporal and spatial sampling. *J. Climate*, **10**, 1099–1113.
- Jaeger, L., 1976: Monatskarten des Niederschlags für die Ganze Erde (Monthly precipitation maps for the whole earth). Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 33 pp.
- Janowiak, J. E., 1988: An investigation of interannual rainfall variability in Africa. *J. Climate*, **1**, 240–255.
- , and P. A. Arkin, 1991: Rainfall variation in the Tropics during 1986–1989, as estimated from observations of cloud-top temperature. *J. Geophys. Res.*, **96**, 3359–3373.
- , A. Gruber, C. R. Kondragunta, R. E. Livezey, and G. J. Huffman, 1998: A comparison of NCEP–NCAR reanalysis precipitation and the GPCP rain gauge–satellite combined dataset with observational error considerations. *J. Climate*, **11**, 2960–2979.
- Kumar, A., and M. P. Hoerling, 1997: Interpretation and implications of the observed inter–El Niño variability. *J. Climate*, **10**, 83–91.
- , —, M. Ji, A. Leetmaa, and P. Sardeshmukh, 1996: Assessing a GCM's suitability for making seasonal predictions. *J. Climate*, **9**, 115–129.
- Legates, D. R., 1987: A climatology of global precipitation. *Publ. Climatol.*, **40**, 85 pp.
- , and C. J. Willmott, 1990: Mean seasonal and spatial variability in gauge corrected, global precipitation. *Int. J. Climatol.*, **10**, 111–127.
- New, M. G., M. Hulme, and P. D. Jones, 1999: Representing twentieth century space–time climate variability. Part I: Development of a 1961–90 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, **12**, 829–856.
- , —, and —, 2000: Representing twentieth century space–time climate variability. Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, **13**, 2217–2238.
- Nijssen, B., G. M. O'Donnell, and D. P. Lettenmaier, 2001: Predicting the discharge of global rivers. *J. Climate*, **14**, 3307–3323.
- Peterson, T. C., and R. S. Vose, 1997: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2837–2849.
- Petty, G. W., 1995: Frequencies and characteristics of global oceanic precipitation from shipboard present-weather reports. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **76**, 1593–1616.
- Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1606–1626.
- , and —, 1989: Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, **2**, 268–264.
- , J. E. Janowiak, and M. S. Halpert, 1985: The analysis and display of real time surface climate data. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1101–1106.
- Rowell, D. P., 1998: Assessing potential seasonal predictability with an ensemble of multidecadal GCM simulations. *J. Climate*, **11**, 109–120.
- Rudolf, B., 1993: Management and analysis of precipitation data on a routine basis. *Int. Symp. on Precipitation and Evaporation*, Bratislava, Slovakia, WMO, 69–76.
- Schneider, U., 1993: The GPCC quality-control system for gauge-measured precipitation data. *Proc. Analysis Methods of Precipitation on a Global Scale: Report of a GEWEX Workshop*, Koblenz, Germany, GPCC, WCRP-81, WMO/TD-588, A5–A9.
- Sevruk, B., 1982: Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use. Operational Hydrology Rep. 21, WMO Rep. 589, 91 pp.
- , 1989: Reliability of precipitation measurements. *Proc. Int. Workshop on Precipitation Measurements*, St. Moritz, Switzerland, WMO/IAHS/ETH, 13–19.
- Shea, D. J., 1986: Climatological atlas: 1950–1979. NCAR Tech. Note TN-269+STR, 35 pp. [Available from National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO 80307.]
- Shepard, D., 1968: A two dimensional interpolation function for regularly spaced data. *Proc. 23d National Conf. of the Association for Computing Machinery*, Princeton, NJ, ACM, 517–524.
- Smith, T. M., R. W. Reynolds, R. E. Livezey, and D. C. Stokes, 1996: Reconstruction of historical sea surface temperature using empirical orthogonal functions. *J. Climate*, **9**, 1403–1420.
- Stephenson, D. B., F. Chauvin, and J.-F. Royer, 1998: Simulation of the Asian summer monsoon and its dependence on model horizontal resolution. *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 237–265.
- Trenberth, K. E., and C. J. Guillemott, 1998: Evaluation of the atmospheric moisture and hydrological cycle in the NCEP reanalysis. *Climate Dyn.*, **14**, 213–231.
- Vose, R. S., R. L. Schmoyer, P. M. Steurer, T. C. Peterson, R. Heim, T. R. Karl, and J. K. Eischeid, 1992: The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea-level pressure, and station pressure data. Tech. Rep. ORNL/CDIAC-53, Carbon Dioxide Information Analysis Center Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 26 pp.
- Willmott, C. J., C. M. Rowe, and W. D. Philpot, 1985: Small-scale climate maps: A sensitivity analysis of some common assumptions associated with grid-point interpolation and contouring. *Amer. Cartogr.*, **12**, 5–16.
- , S. M. Robeson, and M. J. Janis, 1996: Comparison of approaches for estimating time-averaged precipitation using data from the USA. *Int. J. Climatol.*, **16**, 1103–1115.
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1996: Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions. *J. Climate*, **9**, 840–858.
- , and —, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2539–2558.
- , B. Rudolf, U. Schneider, and P. A. Arkin, 1996: Gauge-based monthly analysis of global land precipitation from 1971–1994. *J. Geophys. Res.*, **101** (D14), 19 023–19 034.
- Yang, S., K.-M. Lau, and P. S. Schopf, 1999: Sensitivity of the tropical Pacific Ocean to precipitation-induced freshwater flux. *Climate Dyn.*, **15**, 737–750.