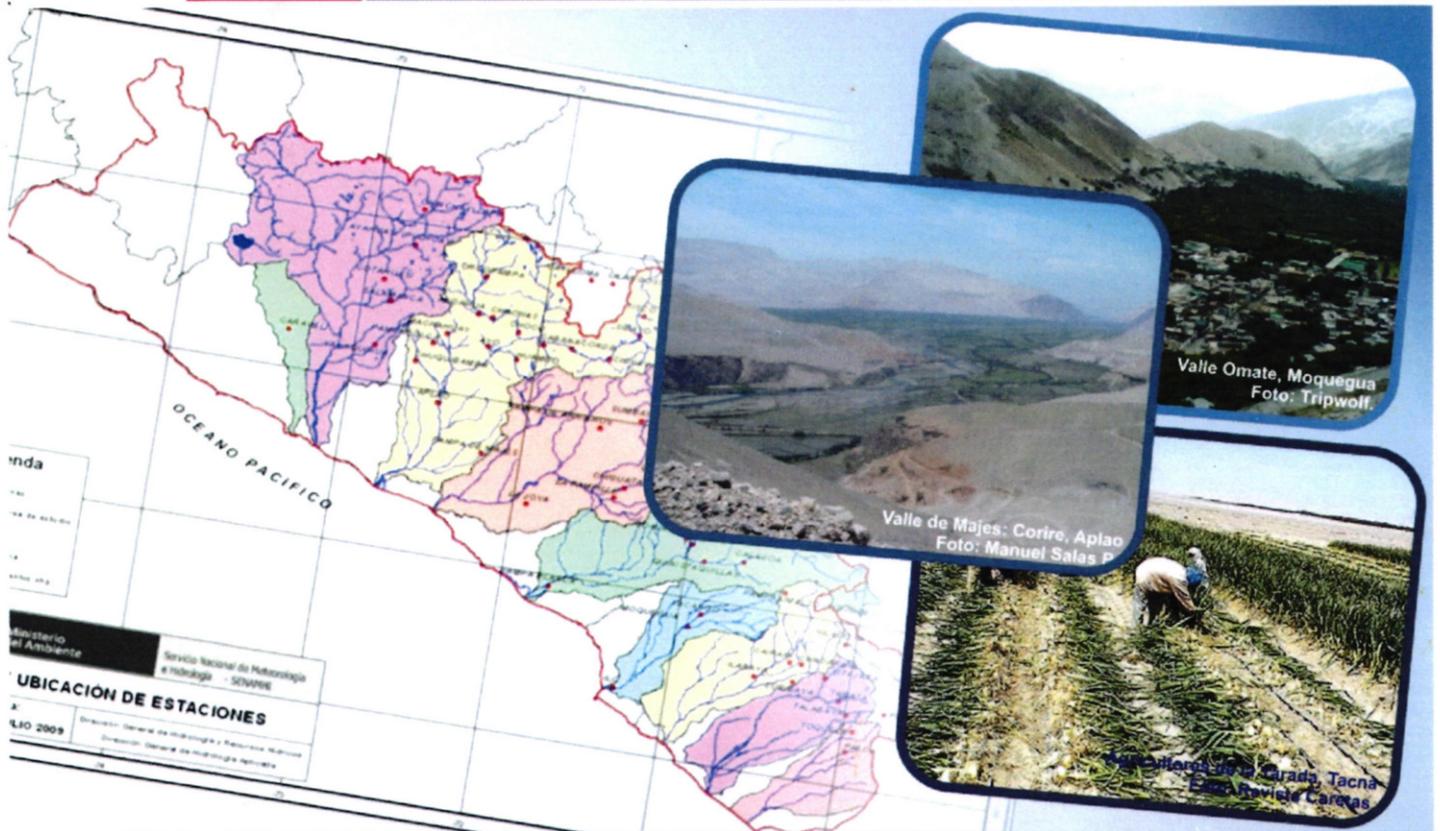




PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI



VIGILANCIA DE LA SEQUÍA HIDROLÓGICA EN LAS CUENCAS DE LAS REGIONES DE AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA Y PUNO



Enero 2013

0632

551.48
SE 474



Presidenta Ejecutiva del SENAMHI
Ing. Amelia Díaz Pabló

Director General de Hidrología y Recursos Hídricos
Ing. Gladys Iris Chamorro de Rodríguez

Director de Hidrología Aplicada
Ing. Oscar Felipe Obando

Equipo Técnico: *Ing. Ricardo Manuel Villasís Cuestas*
Ing. Juan Carlos Huamaní C.

Colaboración: *Bach. Miriam Casaverde Riveros*
Srta. Dula Cruzate García

Revisión: **Oscar Felipe Obando**

Febrero - 2013

LIMA – PERÚ

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	4
II. OBJETIVO	4
III. ZONA DE ESTUDIO.....	4
IV. MATERIALES Y EQUIPOS.....	12
V. METODOLOGÍA.....	16
VI. RESULTADOS.....	18
VII. TENDENCIA PARA FEBRERO.....	31
VIII. CONCLUSIONES.....	32
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Régimen pluviométrico regional, Arequipa-Moquegua y Tacna.....	6
Cuadro 2: Régimen pluviométrico regional, Puno.....	10

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Red de estaciones pluviométricas y convencionales de la región Pacífico	14
Tabla 2: Red de estaciones pluviométricas y convencionales de la región Puno	15
Tabla 3: Clasificación de los SPI y probabilidad de ocurrencia	17
Tabla 4: Precipitación mensual regional para enero.....	18
Tabla 5: SPI de Enero-2013 por escalas, Estación y Región. Arequipa, Moquegua y Tacna	19
Tabla 6: Categorías del SPI según regiones para diferentes escalas de tiempo. Arequipa Moquegua y Tacna	20
Tabla 7: Frecuencia de eventos normales, secos y húmedos por regiones. Arequipa, Moquegua y Tacna	21
Tabla 8: Consolidado de eventos secos, normales y húmedos. Arequipa, Moquegua y Tacna	22
Tabla 9: Precipitación acumulada mensual regional para enero. Arequipa, Moquegua Y Tacna.....	26
Tabla 10: Valores del SPI de enero a diferentes escalas por estación y región. Región Puno.....	27
Tabla 11: Categorías del SPI según regiones para diferentes escalas de tiempo. Región Puno.....	28
Tabla 12: Frecuencia de eventos normales, secos y húmedos según regiones. Región Puno	28

Tabla 13: Consolidado de eventos secos, normales y húmedos. Región Puno	29
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cuencas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna.	5
Figura 2: Cuencas de la región de Puno.....	5
Figura 3: Mapa de Regionalización pluviométrica.....	6
Figura 4: Histogramas de normales de precipitación mensual por regiones homogéneas. Región Arequipa-Moquegua y Tacna.....	8
Figura 5: Grupos homogéneos de precipitación en la Región Puno.....	9
Figura 6: Histogramas de normales de precipitación por zonas homogéneas. Puno	11
Figura 7: Red de estaciones pluviométricas y convencionales del Pacífico Sur.....	12
Figura 8: Red estaciones pluviométricas de la Región Puno	13
Figura 9: Mapa de Sequías SPI-1, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.....	22
Figura 10: Mapa de Sequías SPI-3, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.	23
Figura 11: Mapa de Sequías SPI-6, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.	24
Figura 12: Mapa de Sequías SPI-12, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.....	25
Figura 13: Mapa de sequías SPI-1, cuencas de Puno.	29
Figura 14: Mapa de sequías SPI-3, cuencas de Puno.	30
Figura 15: Mapa de sequías SPI-6, cuencas de Puno.	30
Figura 16: Mapa de sequías SPI-12, cuencas de Puno.	31

BOLETIN DE VIGILANCIA DE LA SEQUÍA HIDROLÓGICA EN LAS CUENCAS DE LAS REGIONES DE AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA Y PUNO ENERO – 2013

I.- INTRODUCCIÓN

En esta 1ra Edición del año, del Boletín de Vigilancia de la Sequía Hidrológica, se presenta el análisis y discusión de los resultados de la caracterización pluviométrica correspondiente al mes de Enero, con énfasis en el monitoreo de la sequía, a fin de detectar condiciones de deficiencia hídrica que pudiera poner en riesgo el abastecimiento normal de agua en cuencas de las regiones de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno. Esta actividad de Vigilancia, que es desarrollada operacionalmente por el SENAMHI, tiene como antecedente los estudios hidroclimáticos de caracterización de las sequías en las cuencas de estas regiones, en el marco de un Programa de Prevención por sequías ejecutado por SENAMHI-INDECI en el 2009, que priorizó la atención en cuencas de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno.

La metodología utilizada para la identificación y caracterización espacio-temporal de las sequías es el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) el cual permite evaluar el estado de humedad de la cuenca en diferentes escalas de tiempo, poniendo énfasis en las escalas de 1, 3, 6 y 12 meses, que son las más utilizadas operacionalmente para evaluar los impactos de las sequías en los caudales. El SPI-1, determina el estado de humedad del mes actual; los SPI-3, SPI-6, SPI-9 y SPI-12 meses refleja la condición media del comportamiento pluviométrico acumulado de los últimos 3, 6, 9 y 12 meses, respectivamente.

Los resultados del análisis pluviométrico evaluado a enero del 2013 para las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna indica un comportamiento normal en niveles medios de las cuencas, mientras que en niveles altos sobre los 3500,0 msnm se ha presentado deficiencia pluviométrica extrema que ha afectado una menor disponibilidad hídrica en los embalses. En la región de Puno el comportamiento pluviométrico ha sido predominantemente normal.

II.- OBJETIVO

Evaluar temporal y espacialmente el comportamiento pluviométrico en las cuencas de estudio, mediante la utilización del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) a fin caracterizar el estado hídrico de las cuencas.

III.- ZONA DE ESTUDIO

3.1 Descripción general

El área del estudio comprende una extensa zona de la región hidrográfica del Pacífico abarcando una extensión de 106,495 km² (**Figura 1**) y la región del Titicaca en la región Puno con un área de 66,997 km² (**Figura 2**); enmarcada entre los paralelos 68° 45' 00" y 74° 59' 00" de longitud oeste y

los meridianos 13° 00' 00" y 18° 21' 00" de latitud sur. El estudio en la región de Puno se centra en las cuencas de la vertiente del Titicaca.

Política y administrativamente la zona de estudio abarca los departamentos: Arequipa, Moquegua, Tacna, Ayacucho, Apurímac, Cuzco y Puno.



Figura 1. Cuencas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna
Fuente: Autoridad Nacional del Agua 2008

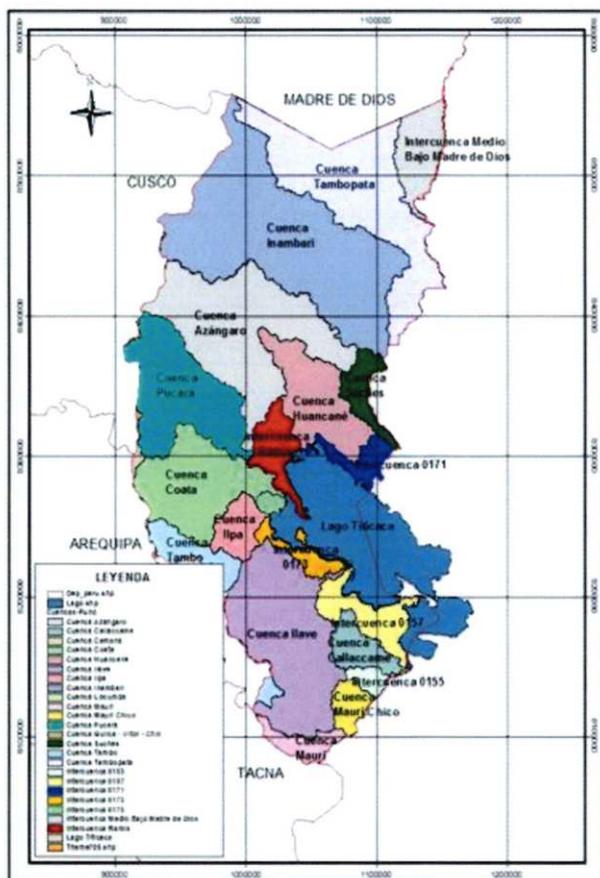


Figura 2. Cuencas de la región Puno
Fuente: Elaboración propia

3.2 Regiones Pluviométricas en los Departamentos Arequipa, Moquegua y Tacna

El estudio de regionalización y caracterización pluviométrica en las cuencas de Arequipa, Moquegua y Tacna, realizado por la DGH del SENAMHI en el 2009, determinó 6 regiones de comportamiento homogéneo de la precipitación que se ilustra en la **Figura 3**; las características pluviométricas de cada región corresponde a la precipitación promedio de las estaciones que forman parte de cada grupo o región, según se describe en el **Cuadro 1**.

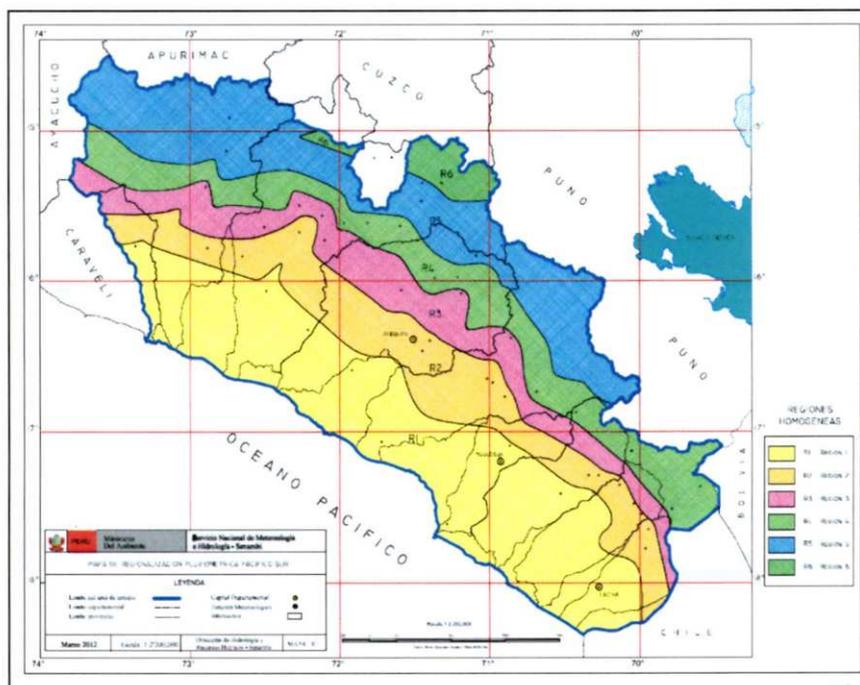


Figura 3. Mapa de regionalización pluviométrica

Fuente: DGH- 2009.

Las normales mensuales de la precipitación correspondientes al periodo 1969-2012 y el patrón pluviométrico regional se describe en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Régimen pluviométrico regional, Arequipa-Moquegua-Tacna

Región Homogénea	PATRÓN PLUVIOMÉTRICO	Altitud (msnm)	Precipitación anual (mm)
1	Pico en febrero, con lluvias importantes en enero a marzo (60%), el resto del año seco.	0.0 - 1800	13
2	Pico en febrero, con lluvias importantes de enero a marzo (86%), el resto mínimas.	1800 - 2800	148
3	Pico en febrero, pero con lluvia importantes en diciembre y marzo (87%), el resto mínimas.	2800 - 3800	266
4	Pico en enero, con el mismo comportamiento que el grupo 3. Los máximos valores de precipitación entre diciembre y marzo (85%)	3800 - 4000	385
5	Pico en enero. Los mayores valores de precipitación entre diciembre a marzo (80%)	4000 - 4400	598
6	Grupo con los picos máximos de precipitación entre enero y febrero. Los mayores valores diciembre y marzo (76%)	4400- 4600	819

Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Región 1 (R-1)

Comprende las cuencas bajas de los ríos Caravelí, Ocoña, Camaná-Majes, Quilca-Chili, Tambo, Ilo-Moquegua, Locumba, Sama y Caplina; la superficie total de esta región es de 29665,0 km². Los niveles altitudinales de esta región pluviométrica están comprendidos entre 0,0 y 1800,0 msnm.

La precipitación promedio anual, para el periodo 1969-2012, es de 13,0 mm. Según las series de tiempo (1969-2008), la temperatura máxima mensual de la estación Caravelí varía entre 28,5°C en Octubre y 27,0°C en Febrero

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge esta región corresponde a un Desierto desecado – subtropical (dd-s).

3.2.2 Región 2 (R-2)

Comprende parcialmente las cuencas de los ríos Caravelí, Ocoña, Camaná-Majes, Quilca-Chili, Tambo, Ilo-Moquegua, Locumba, Sama y Caplina; la superficie de esta región es de 15265,0 km². Los niveles altitudinales en la cuencas referenciales están comprendidos entre 1800,0 y 2800,0 msnm.

La precipitación promedio anual, para el periodo 1969-2011, es de 148,0 mm. Según las series de tiempo (1969-2008), la temperatura máxima mensual de la estación La Pampilla alcanza 22,0°C en enero.

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge esta región corresponde a un Matorral desértico con un clima árido templado cálido.

3.2.3 Región 3(R-3)

Comprende las cuencas de los ríos Caravelí en su zona norte, Ocoña, Camaná-Majes, Quilca-Chili, Tambo en su zona central, Ilo-Moquegua, y Locumba en su zona noreste; Sama y Caplina en su zona este. La superficie de esta región es 11271,0 km². Los niveles altitudinales referenciales están comprendidos entre los 2800,0 y 3800,0 msnm.

La precipitación promedio anual para el periodo 1969-2011 es de 266,0 mm. La temperatura máxima mensual de la estación El Frayle, para el periodo 1969-2008, alcanza 14,7°C en noviembre y 12,0°C en julio.

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge esta región corresponde a Matorral desértico montano bajo (md-MB) de clima árido templado y Matorral desértico montano (md-M) con un clima árido a semi-árido.

3.2.4 Región 4 (R-4)

Comprende las cuencas de los ríos Ocoña y Majes en su zona central norte, Quilca-Chili y Tambo en su zona noreste, Locumba y Sama en su zona este y con la cuenca del Maure en su zona sur; el área de esta región es 13 134,0

km² y sus niveles altitudinales referenciales están comprendidos entre los 3800,0 y 4000,0 msnm.

La precipitación promedio anual para el periodo 1969-2011 alcanza los 385,0 mm. La temperatura máxima mensual de la estación Chivay, para el periodo 1969-2008, alcanza 20,5°C en Noviembre y 18,0°C en Enero.

De acuerdo a clasificación de zonas de vida de Holdridge esta región corresponde a Estepa – Montano Subtropical (e-MS) de clima subhúmedo-templado-frío.

3.2.5 Región 5 (R-5)

Comprende las cuencas de los ríos Ocoña en su zona norte, Camaná-Majes en su zona noreste y Quilca-Chili en su zona este.

La superficie de esta región es 18116,0 km² y sus niveles altitudinales referenciales están comprendidos entre los 4000,0 y 4400,0 msnm. La precipitación promedio anual para el periodo 1969-2011 alcanza los 598,0 mm.

La clasificación de zonas de vida de esta región es Páramo muy húmedo-Subalpino Subtropical (pmh-SaS) y presenta un clima perhúmedo-Frío.

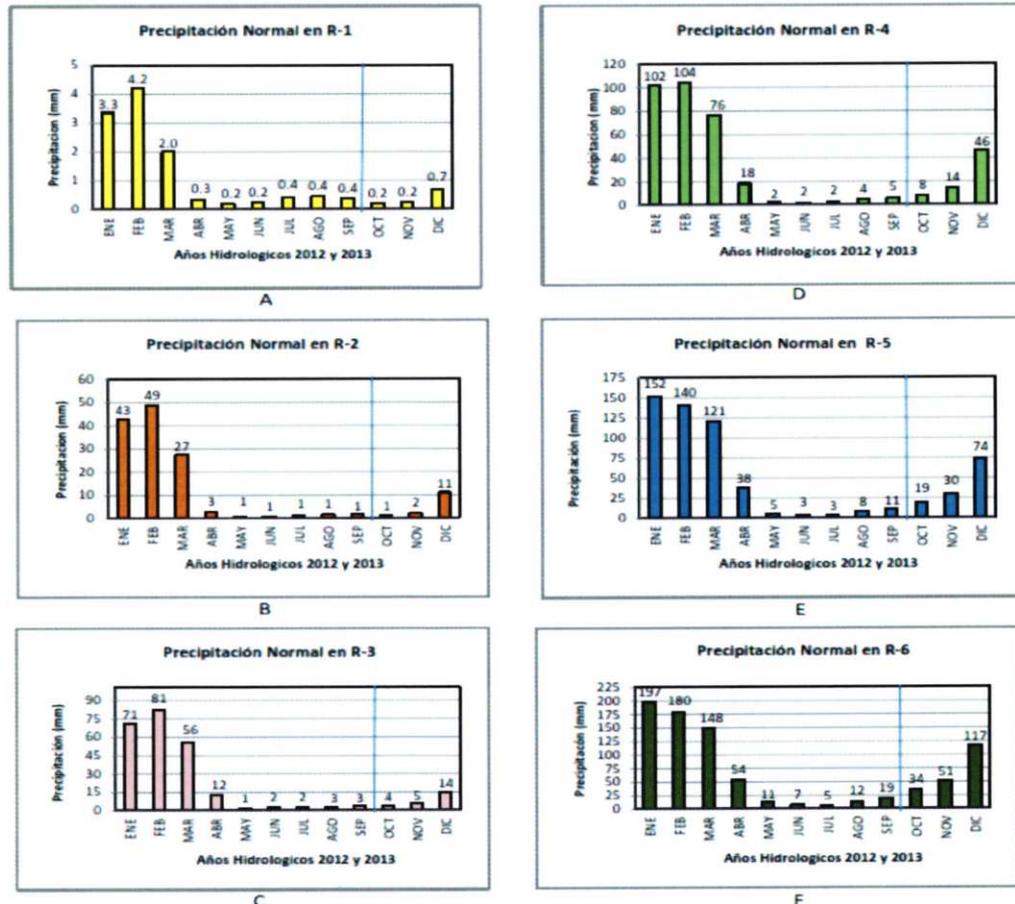


Figura 4. Histogramas de normales de precipitación mensual por regiones homogéneas. Región Arequipa-Moquegua y Tacna

Fuente: Elaboración Propia

3.2.6 Región 6 (R-6)

Se extiende sobre las cuencas de los ríos Camaná-Majes en su zona norte central y limita con la cuenca del río Apurímac en su zona oeste.

La superficie de esta región es 2172,0 km² y sus niveles altitudinales están comprendidos entre los 4400,0 msnm y 4600,0 msnm.

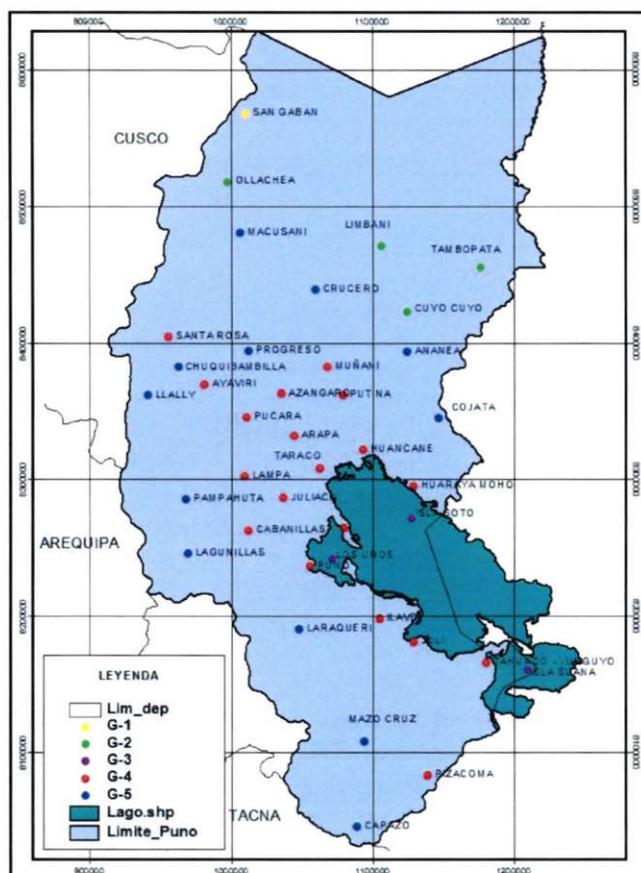
La precipitación promedio anual para el periodo 1969-2011 alcanza los 820,0 mm. De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge esta región corresponde a Páramo muy húmedo-Subalpino Subtropical (pmh-SaS) y presenta un clima perhúmedo-frío.

Las normales de precipitación mensual por región para el periodo 1969-2012 se presenta en los histogramas de la **Figura 4**.

3.3 Regiones homogéneas de precipitación en Puno

Huamaní, 2009, en el estudio de “Aplicación de Índices de sequía en Puno” determinó 5 grupos de estaciones homogéneas de precipitación mediante la metodología de Clúster. La red utilizada es la que se presenta en la **Figura 5**.

Las normales mensuales de la precipitación corresponden al periodo 1969-2010 y el patrón pluviométrico regional es el que se describe en el **Cuadro 2**.



Los histogramas de precipitación normal obtenidos por cada región pluviométrica se ilustran en la **Figura 6**.

Figura 5. Grupos homogéneos de precipitación en la Región Puno

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2. Régimen pluviométrico regional, Puno

Región Homogénea	PATRON PLUVIOMETRICO	Altitud (msnm)	Precipitación anual (mm)
1	Pico en enero, la mayor concentración de la precipitación trimestre DEF (40%) y menor concentración JJA (15%).	600 - 820	6263
2	Pico en enero, la mayor concentración de la precipitación trimestre DEF (47%) y menor concentración JJA (8%).	1340 - 3550	1197
3	Pico en enero, la mayor concentración de la precipitación trimestre DEF (56%) y menor concentración JJA (4%).	3770 - 3870	788
4	Pico en enero, la mayor concentración de la precipitación trimestre DEF (56%) y menor concentración JJA (3%).	3820 - 3940	744
5	Pico en enero, la mayor concentración de la precipitación trimestre DEF (56%) y menor concentración JJA (4%).	3950 - 4660	814

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 Región 1 (G-1)

Esta zona es la de mayor pluviometría anual, la cual alcanza en promedio los 6263,0 mm, con precipitación máxima en Enero con 896,0 mm/mes y precipitación mínima en Junio con 221,0 mm/mes. Hidrográficamente esta zona corresponde a la cuenca del río Inambari. La altitud media para esta región es de 820,0 msnm.

3.3.2 Región 2 (G-2)

Esta zona es la segunda en mayor pluviometría anual, con una precipitación promedio anual de 1197,0 mm. En el ciclo anual las precipitaciones máximas se alcanza en Enero con 213,0 mm/mes, y la precipitación mínima se alcanza en Junio con 24,0 mm/mes. Hidrográficamente las estaciones de este grupo pertenecen a las nacientes de las cuencas de los ríos Inambari y Tambopata. El rango altitudinal de esta zona está comprendido entre los 1340,0 y 3555,0 msnm.

3.3.3 Región 3 (G-3)

En esta zona la precipitación promedio anual alcanza los 788,0 mm, con precipitación máxima en Enero de 187,0 mm/mes y precipitación mínima en Julio con 6,0 mm/mes. Las estaciones de este grupo corresponden a las islas que se forman en el Lago Titicaca que se distribuyen en un rango altitudinal entre los 3770,0 y 3870,0 msnm.

3.3.4. Región 4 (G-4)

Esta zona está constituida por el mayor número de estaciones; la precipitación promedio anual alcanza los 743,0 mm, con precipitaciones máximas en enero con 173,0 mm/mes y precipitación mínima en Julio con 4,0 mm/mes. Esta zona se distribuye en el anillo circunlacustre del Lago Titicaca en un rango altitudinal comprendido entre los 3820,0 msnm y 3940,0 msnm.

3.3.5. Región 5 (G-5)

En esta zona la precipitación promedio anual alcanza los 814,0 mm, con precipitaciones máximas en enero de 182,0 mm y precipitaciones mínimas de 7,0 mm en Julio. Las estaciones que forman este grupo se distribuyen espacialmente en forma radial hacia el Lago Titicaca, en altitudes comprendidas entre los 3950,0 msnm y los 4660,0 msnm.

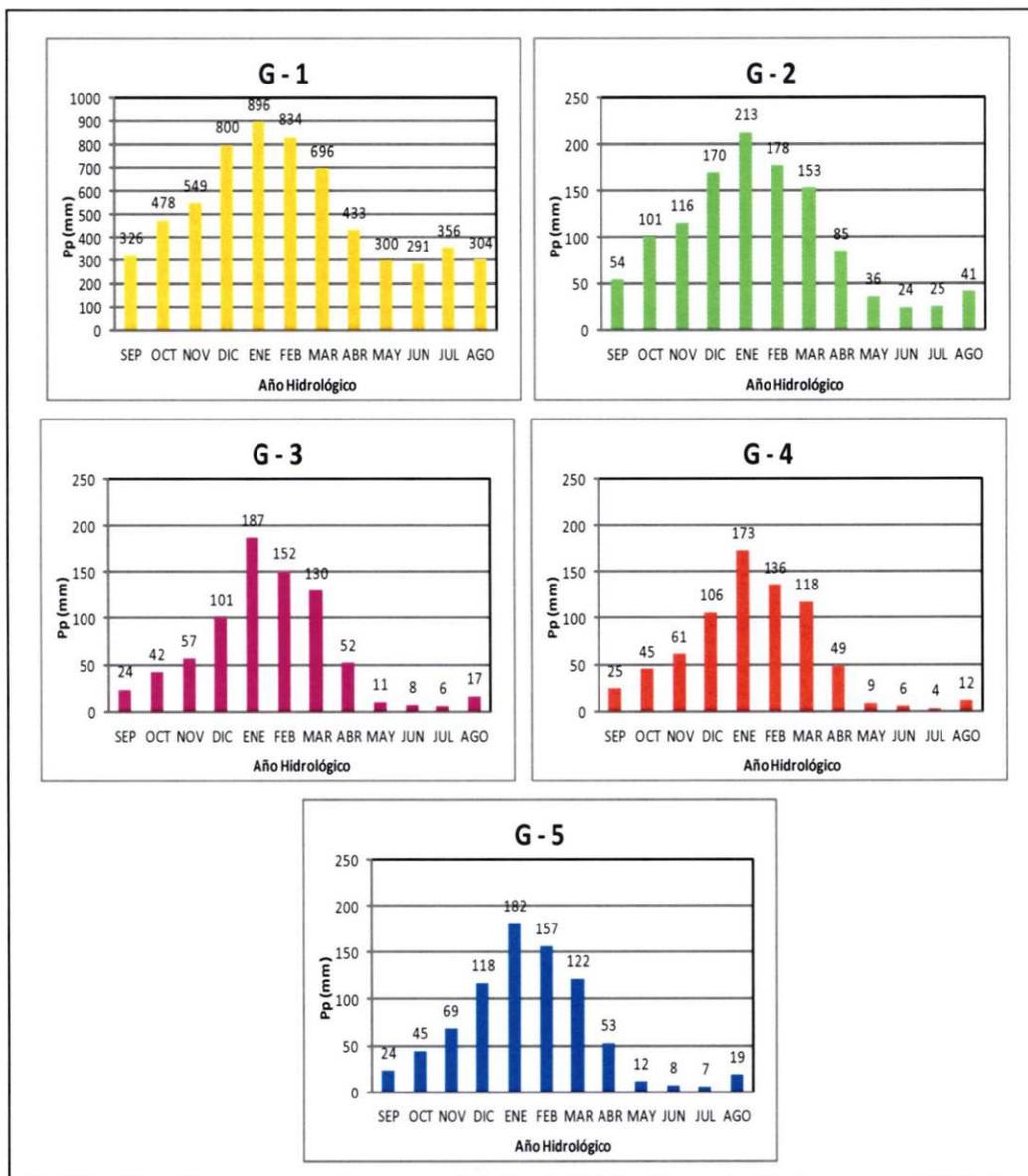


Figura 6. Histogramas de normales de precipitación por zonas homogéneas. Región Puno

Fuente: Elaboración propia

IV.- MATERIALES Y EQUIPOS

4.1 Datos disponibles

- Normales de precipitación homogenizadas para el período de referencia de Enero 1969 – Diciembre 2012.
- Datos Climáticos.
 - Base de Datos Access de precipitación mensual actualizada, enero 2013 DGH - SENAMHI.
 - Series de datos mensuales de temperaturas máximas y mínimas DGH-SENAMHI 1964-2009.
- Mapa temático de regionalización pluviométrica de las cuencas de Arequipa, Moquegua y Tacna. 2009

Se presenta la red de estaciones utilizada para el análisis pluviométrico de la región del Pacífico, cuya distribución espacial se aprecia en la **Figura 7**.

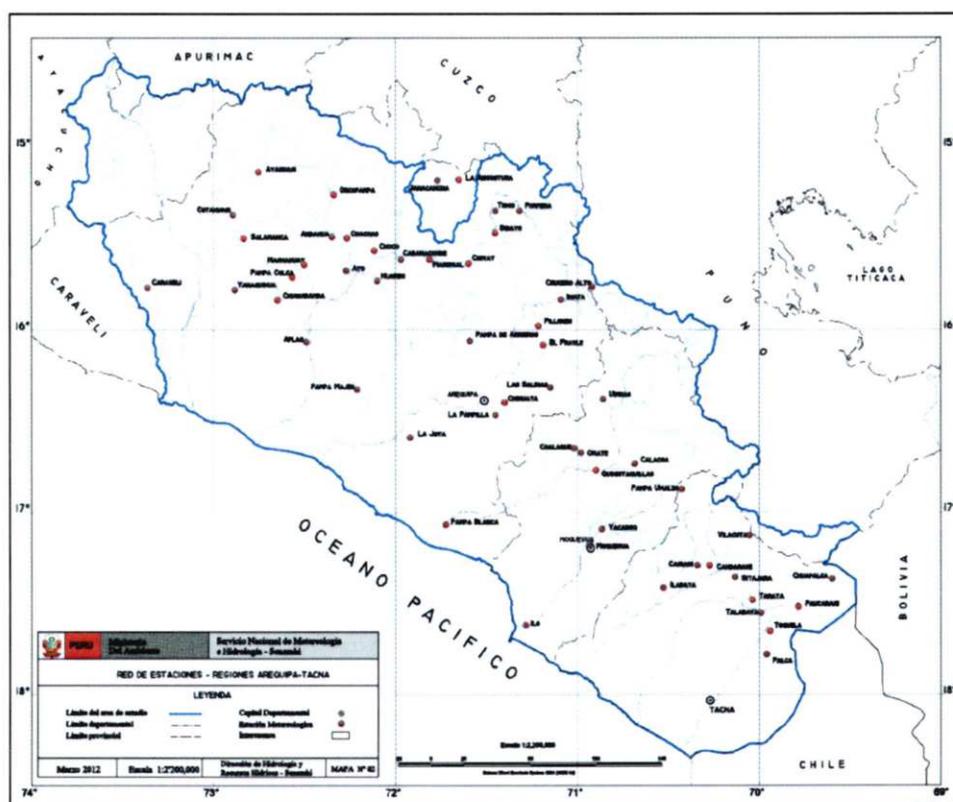


Figura 7. Red de estaciones pluviométricas y convencionales del Pacífico Sur.
Fuente: SENAMHI, 2009.

Se presenta la red de estaciones utilizada para el análisis pluviométrico de la región Puno, cuya distribución espacial se aprecia en la **Figura 8**.

En las **Tablas 1 y 2**, se muestra la relación de las estaciones con información pluviométrica utilizada para el monitoreo de la Sequía, en las regiones de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno.

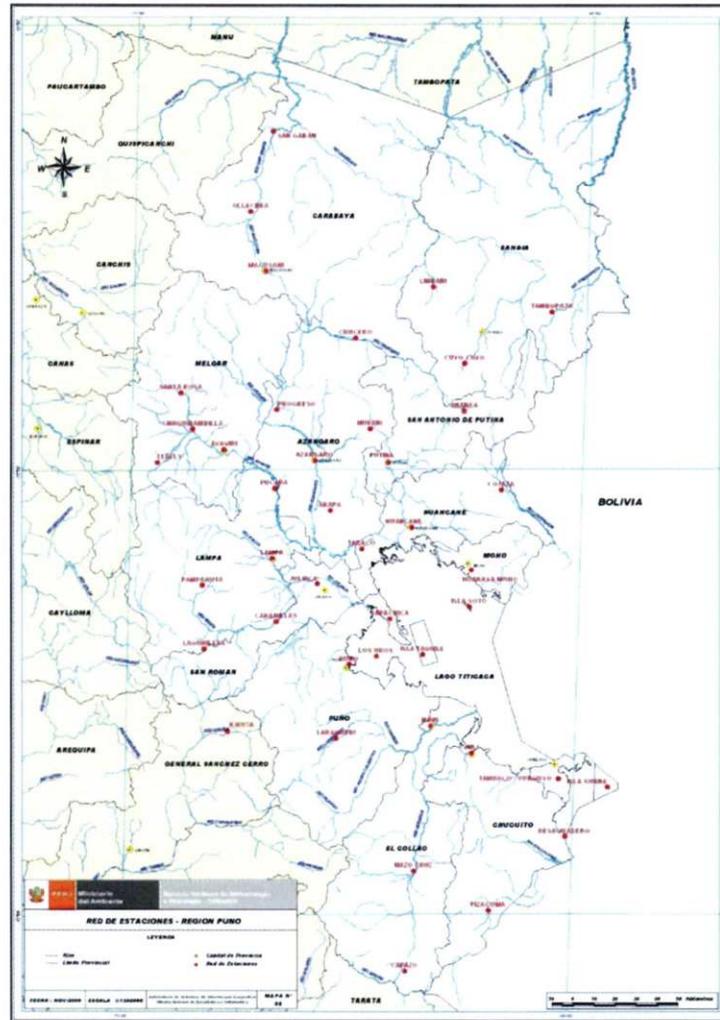


Figura 8. Red estaciones pluviométricas de la Región Puno

Fuente: Elaboración propia

En las **Tablas 1 y 2**, se muestra la relación de las estaciones con información pluviométrica utilizada para el monitoreo de la Sequía, en las regiones de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno

4.2 Software utilizado

- Microsoft Office 2010: Excel, Access y Word.
- Programa Minitab 15.
- Programa Hydraccess 4.3, Instituto Francés para el desarrollo (IRD).
- Programa Fortran "Spindex 44", adaptación 2013, Centro Nacional de Mitigación de Sequías de la Universidad de Nebraska.
- Programa MatLab del INRS-ETE Quebec, Canadá, 2009.
- Autocad Civil 3D 2012
- Arcgis 9.2

Tabla 1. Red de estaciones pluviométricas y convencionales de la región Pacífico

Código	Nombre	Región Hidrográfica	Unidad Hidrográfica	Latitud	Longitud	Altitud
0000805	PAMPA DE MAJES	Pacífico	Cuenca Camana	-72.210833	-16.327778	1434
0000840	ILO	Pacífico	Cuenca Ilo - Moquegua	-71.170000	-17.370000	80
0000837	PAMPA BLANCA	Pacífico	Cuenca Tambo	-71.722778	-17.068611	100
0000833	APLAO	Pacífico	Cuenca Camana	-72.490556	-16.069444	645
0000804	LA JOYA	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.919167	-16.592500	1292
0000874	MOQUEGUA	Pacífico	Cuenca Ilo - Moquegua	-70.55504	-17.10314	1420
0000863	ILABAYA	Pacífico	Cuenca Locumba	-70.313600	-17.244400	1425
0000746	CARAVELI	Pacífico	Cuenca Caraveli	-73.361667	-15.771389	1779
0000852	YACANGO	Pacífico	Cuenca Ilo - Moquegua	-70.51569	-17.05367	2191
0158301	QUINISTAQUILLAS	Pacífico	Cuenca Tambo	-70.53494	-16.46086	1765
0157313	AYO	Pacífico	Cuenca Camana	-72.270278	-15.679167	1956
0000850	OMATE	Pacífico	Cuenca Tambo	-70.584360	-16.402950	2166
0000839	LA PAMPILLA	Pacífico	Cuenca Camana	-71.450278	-16.466944	2400
0000750	CHUQUIBAMBA	Pacífico	Cuenca Camana	-72.648611	-15.838056	2879
0000847	CHIGUATA	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.400278	-16.400278	2900
0158321	PALCA	Pacífico	Cuenca Caplina	-69.57273	-17.46393	3023
0000864	YANAQUIHUA	Pacífico	Cuenca Ocoña	-72.8825	-15.783333	3130
0158318	SITAJARA	Pacífico	Cuenca Sama	-70.07562	-17.21159	3166
0000877	TARATA	Pacífico	Cuenca Sama	-70.02096	-17.2845	3175
0158323	TALABAYA	Pacífico	Cuenca Sama	-69.59156	-17.33045	3409
0000876	CANDARAVE	Pacífico	Cuenca Locumba	-70.16218	-17.17262	3415
0158313	CAIRANI	Pacífico	Cuenca Locumba	-70.20178	-17.17245	3443
0158325	TOQUELA	Pacífico	Cuenca Caplina	-69.56214	-17.38593	3650
0157314	CHOCO	Pacífico	Cuenca Camana	-72.116944	-15.566944	2473
0000749	COTAHUASI	Pacífico	Cuenca Ocoña	-72.891111	-15.374722	2683
0000751	PAMPA COLCA	Pacífico	Cuenca Camana	-72.567500	-15.714167	2950
0157312	CHACHAS	Pacífico	Cuenca Camana	-72.267222	-15.498889	3055
0007308	MACHAHUAY	Pacífico	Cuenca Camana	-72.502222	-15.645278	3150
0157315	HUAMBO	Pacífico	Cuenca Camana	-72.100278	-15.733611	3332
0000851	UBINAS	Pacífico	Cuenca Tambo	-70.512300	-16.225600	3370
0158204	PAMPA DE ARRIEROS	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.589167	-16.063333	3715
0000849	EL FRAYLE	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.187222	-16.084722	4060
0000801	SALAMANCA	Pacífico	Cuenca Ocoña	-72.833611	-15.500278	3203
0157317	MADRIGAL	Pacífico	Cuenca Camana	-71.811667	-15.616667	3262
0000795	CABANA CONDE	Pacífico	Cuenca Camana	-71.968611	-15.618611	3379
0158308	CALACOA	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-70.68275	-16.734889	3478
0007310	ANDAGUA	Pacífico	Cuenca Camana	-72.349167	-15.493611	3587
0000758	CHIVAY	Pacífico	Cuenca Camana	-71.596944	-15.638056	3619
0157311	ORCOPAMPA	Pacífico	Cuenca Camana	-72.338889	-15.260833	3779
0000860	CHUAPALCA	Titicaca	Cuenca Maure	-69.354500	-17.215000	4250
0158209	LAS SALINAS	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.148333	-16.318056	4310
0158208	PILLONES	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.213611	-15.978889	4360
0000861	VILACOTA	Titicaca	Cuenca Maure	-70.03052	-17.074300	4390
0000854	PAUCARANI	Titicaca	Cuenca Maure	-69.470000	-17.310000	4600
0158309	PAMPA UMALZO	Pacífico	Cuenca Locumba	-70.252380	-16.522900	4609
0157326	AYAHUASI	Pacífico	Cuenca Ocoña	-72.753056	-15.136111	3450
0000755	SIBAYO	Pacífico	Cuenca Camana	-71.451667	-15.470556	3810
0157325	TISCO	Pacífico	Cuenca Camana	-71.450278	-15.350278	4175
0000803	CRUCERO ALTO	Pacífico	Cuenca Camana	-70.916944	-15.766944	4470
0000765	IMATA	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.087778	-15.836667	4519
0000754	LA ANGOSTURA	Amazonas	Intercuenca	-71.649444	-15.179722	4150
0157329	PORPERA	Pacífico	Cuenca Camana	-71.316944	-15.350278	4195
0000753	JANACANCHA	Pacífico	Cuenca Quilca-Vitor-Chili	-71.766944	-15.183611	4315

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Red de estaciones pluviométricas y convencionales de la región Puno

CODIGO	ESTACION	CUENCA	DPTO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
113077	SAN GABAN	INAMBARI	PUNO	-70.4049	-13.4408	640
114049	LIMBANI	INAMBARI	PUNO	-69.6843	-14.1267	3010
113044	OLLACHEA	INAMBARI	PUNO	-70.4974	-13.8042	3420
114096	CUYO CUYO	INAMBARI	PUNO	-69.5386	-14.4667	3555
114043	TAMBOPATA	TAMBOPATA	PUNO	-69.1624	-14.2252	1340
100110	PUNO	ILAVE	PUNO	-70.0180	-15.8234	3840
116033	LARAQUERI	ILAVE	PUNO	-70.0669	-16.1550	3970
116026	MAZO CRUZ	ILAVE	PUNO	-69.7064	-16.7404	3970
114039	MACUSANI	ILAVE	PUNO	-70.4241	-14.0685	4331
115046	PUCARA	RAMIS	PUNO	-70.3672	-15.0425	3910
114038	AYAVRI	RAMIS	PUNO	-70.5932	-14.8729	3920
115035	ARAPA	RAMIS	PUNO	-70.1185	-15.1365	3920
114047	SANTA ROSA	RAMIS	PUNO	-70.7868	-14.6240	3940
114035	CHUQUIBAMBILLA	RAMIS	PUNO	-70.7326	-14.7851	3950
114040	PROGRESO	RAMIS	PUNO	-70.3658	-14.6895	3965
114058	CRUCERO	RAMIS	PUNO	-70.0238	-14.3626	4130
114034	LLALLY	RAMIS	PUNO	-70.8862	-14.9368	4190
114050	ANANEA	RAMIS	PUNO	-69.5345	-14.6787	4660
115047	TARACO	RAMIS	PUNO	-69.9753	-15.3037	3820
114041	AZANGARO	RAMIS	PUNO	-70.1910	-14.9146	3863
115049	ISLA TAQUILE	INTER. TITICACA	PUNO	-69.6913	-15.7708	3850
116009	ISLA SUANA	INTER. TITICACA	PUNO	-68.8581	-16.3406	3770
100088	LOS UROS	INTER. TITICACA	PUNO	-69.9003	-15.7836	3808
100065	ISLA SOTO	INTER. TITICACA	PUNO	-69.4893	-15.5540	3815
115028	LAGUNILLAS	CABANILLAS	PUNO	-70.6613	-15.7680	4250
115027	PAMPAHUTA	CABANILLAS	PUNO	-70.6761	-15.4838	4320
115138	JULIACA	CABANILLAS	PUNO	-70.1667	-15.4667	3820
115033	CABANILLAS	CABANILLAS	PUNO	-70.3464	-15.6393	3890
100081	LAMPA	CABANILLAS	PUNO	-70.3708	-15.3569	3900
114093	PUTINA	HUANCANE	PUNO	-69.8680	-14.9149	3878
115037	HUANCANE	HUANCANE	PUNO	-69.7538	-15.2018	3880
114042	MUÑANI	HUANCANE	PUNO	-69.9521	-14.7672	3899
115038	HUARAYA MOHO	INTER. TITICACA	PUNO	-69.4846	-15.3886	3890
115053	COJATA	INTER. TITICACA	PUNO	-69.3640	-15.0257	4380
100021	CAPACHICA	INTER. TITICACA	PUNO	-69.8443	-15.6158	3850
116060	DESAGUADERO	INTER. TITICACA	PUNO	-69.0404	-16.5688	3860
116030	TAHUACO-YUNGUYO	INTER. TITICACA	PUNO	-69.0750	-16.3081	3860
100059	ICHUÑA	TAMBO	MOQUEGUA	-70.5524	-16.1329	3910
116061	JULI	CALLACAME	PUNO	-69.4602	-16.2041	3825
116027	ILAVE	ZAPATILLA	PUNO	-69.6453	-16.0885	3850
116029	PIZACOMA	MAURE CHICO	PUNO	-69.3688	-16.9073	3940
117041	CAPAZO	MAURE	PUNO	-69.7358	-17.1880	4530

Fuente: Elaboración Propia

V.- METODOLOGÍA

5.1 Análisis de Precipitación

Comprende una primera fase procesamiento de datos y control de calidad de las series de precipitación mensual mediante el análisis exploratorio de datos, con el programa estadístico Minitab. Un segundo nivel de análisis, fue la evaluación de consistencia de la precipitación; utilizando el método gráfico de doble masa. Finalmente se realizó la completación de datos faltantes mediante el método de promedios de las normales de estaciones vecinas.

El cálculo del SPI se ejecuta de manera automática con un código escrito en matlab, que permite el procesamiento en simultáneo para todas las estaciones y su posterior mapeo mediante métodos geostatísticos en Arcgis.

El SPI (Standardized Precipitation Index) fue desarrollado por McKee et al. (1993 y 1995) para obtener una adecuada identificación de los periodos anormalmente secos y húmedos. Su uso se ha generalizado en todo el mundo y su principal aplicación es para el monitoreo de las sequías.

Las ventajas del SPI es que se puede computar a diferentes escalas temporales, es muy adecuado para el seguimiento espacial de las sequías en tiempo real y determina la intensidad con la que la sequía está teniendo lugar (Hayes et al. 1999).

El requisito básico para procesar el SPI es disponer de datos mensuales homogéneos y continuos de precipitación con una longitud no menor a 30 años (McKee et al. 1993).

5.2 Análisis de sequías y de exceso hídrico local y/o Regional

En esta etapa se desarrollaron las siguientes actividades:

- a) Preparación de Datos de Precipitación Mensual
Elaboración de los archivos de entrada de precipitación mensual, tipo texto y Excel con formato, por estación para el programa Matlab y Fortran, Spindex 44.
- b) Determinación de SPI
Cálculo de los SPI escalas de 3, 6 y 12 meses mediante el programa Fortran "Spindex 44" y SPI escala 1 mes con el programa MatLab, obteniéndose un archivo salida de tipo TXT y un archivo Excel consolidado.
- c) Actualización de la base de datos precipitación mensual Pacífico Sur-Puno 2013.
 - Digitación de los datos de precipitación mensual en la tabla de precipitación por cada estación pluviométrica y creación de nuevo código Id_PP por cada estación.

- Importación del archivo SPI "salida" (TXT), convertido a Excel y con formato específico en la tabla SPI y creación de nuevo código Id_SPI por cada estación

Tabla 3. Clasificación de los SPI y probabilidad de ocurrencia

Valores de SPI	Categoría de Sequedad	Ocurrencia
2,00 a Más	Extremadamente húmedo	2,3 %
1,50 a 1,99	Muy húmedo	4,4 %
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo	9,2 %
0,00 a 0,99	Ligeramente húmedo	34,1 %
0,00 a -0,99	Ligeramente seco	34,1 %
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco	9,2 %
-1,50 a -1,99	Muy seco	4,4 %
-2,00 a menos	Extremadamente seco	2,3 %

Fuente: Lloyd-Hughes y otros, 2002

- d) Actualización de la base de datos precipitación mensual Pacífico Sur-Puno 2012.
 - Digitación de los datos de precipitación mensual en la tabla de precipitación por cada estación pluviométrica y creación de nuevo código Id_PP por cada estación.
 - Importación del archivo SPI "salida" (TXT), convertido a Excel y con formato específico en la tabla SPI y creación de nuevo código Id_SPI por cada estación.
- e) Determinación de las Normales de Precipitación, SPI Máximo y Mínimo
 - Mediante consultas a la base de datos Access, se determinaron las normales de precipitación mensual al mes de referencia por cada estación y se elaboraron los hietogramas de precipitación Regional.
 - Idem para los SPI Máximos secos y Máximos húmedos extremos de cada una las estaciones y regiones homogéneas.
- f) Análisis Estadístico Puntual y/o Regional
 - Selección, distribución y cuantificación de los eventos secos, húmedos y normales mediante Excel Office 2010.
 - Determinación de la frecuencia, concentración e intensidad de los eventos secos, húmedos y normales (SPI1, SPI3, SPI6, SPI12).
- h) Máximos extremos secos regionales en base de datos de precipitación del Pacífico Sur y Puno
 - Mediante dos consultas a la base de datos Access 2012 se han filtrado los SPI 12 de categoría extremadamente seco para un análisis de intensidad y persistencia de sequías por regiones homogéneas y ámbitos territorial provincial durante cuatro décadas (1969-78, 1979-88, 1989-98, 1999-2008) y el período 2009-2012.
 - Mediante consultas a la base de datos Access 2012 se han filtrado los SPI 12 de categoría extremadamente húmedo (>3.0) para un análisis de intensidad y persistencia de humedad por regiones homogéneas y ámbitos territoriales durante las décadas referidas y el período 2009-2012.
- i) Elaboración de Mapa Temático de Sequía

- Obtención de los archivos de coordenadas geográficas de puntos SPIXM de la Base de Datos Access para cada escala de tiempo.
- Utilización del programa AutoCAD Civil 3D 2012 en el proceso de interpolación mediante la metodología de redes irregulares de triangulación (TIN) y su respectivo suavizado de curvas mediante splines. Luego la exportación a archivo CAD generándose un mapa base temático de SPI.
- Se han creado los polígonos por categorías de sequías y/o humedad. Finalmente con las herramientas AutoCAD 2012 se han editado los mapas temáticos de sequías y/o humedad (Unesco-WMO.1977).
- Para la región Puno se hace uso del SIG, ArcGis 9.2 y mediante métodos de interpolación geoestadística (Krigging) se obtiene los mapas del SPI para las diferentes escalas de tiempo analizados.

j) Análisis Puntual y espacial del SPI

- Mediante las herramientas de los referidos programas se han determinado las áreas de los polígonos de sequedad e insertado los polígonos de ámbitos provinciales.
- Utilizando el Excel se han elaborado las tablas de distribución de las áreas de sequedad de los mapas temáticos.
- Clasificación espacial de las sequías, gráfica y cuantificación por escala de tiempo, por categoría y ámbito territorial a nivel provincial.
- Análisis del SPI por cada estación, cuantificación de las áreas secas y húmedas a nivel de cuencas para la región Puno.

VI.- RESULTADOS

6.1 Región de Arequipa - Moquegua y Tacna

6.1.1 Análisis de la precipitación media mensual

El análisis de la precipitación media mensual regional efectuada muestra una anomalía positiva de 20% en la región 1 y anomalías negativas en las regiones 2 al 6, que van de forma creciente con valores de 19% al 75%. (Tabla 4).

Tabla 4. Precipitación media mensual regional - Enero-2013

Región Homogénea	NORMAL (mm)	ENERO - 2013 (mm)	Anomalía %
1	3.3	4.0	20
2	42.6	34.7	-19
3	70.7	40.9	-42
4	102.2	61.6	-40
5	151.6	72.3	-52
6	197.1	49.8	-75

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Análisis del SPI por estación y región pluviométrica

Los SPI obtenidos según la metodología (pág. 17), donde observamos concentraciones de normalidad forma parcial en las regiones 1 al 6 para las escalas de 1, 3 y 6 meses. En la escala de 12 meses encontramos concentraciones de humedad casi en su totalidad en las regiones 1 al 3 y de forma parcial en las regiones 4 y 5. Las concentraciones de sequedad se presentaron en las regiones 5 y 6 en las escala de 1 mes (Tabla 5).

Tabla 5. SPI de Enero-2013 por escalas, Estación y Región

Id_SPI	Nom	Region	AÑO	MES	SPI_1M	SPI_3M	SPI_6M	SPI_12M
79982	APLAO	1	2013	1	1.9	1.6	1.6	1.7
79989	CARAVELI	1	2013	1	-1.7	-0.4	-0.4	2.3
80000	ILABAYA	1	2013	1	1.3	1.5	1.5	2.2
80001	ILO	1	2013	1	0.3	0.0	0.2	1.1
80005	LA JOYA	1	2013	1	-0.3	1.0	0.4	0.6
80010	MOQUEGUA	1	2013	1	0.1	0.1	-0.1	1.7
80014	PAMPA BLANCA	1	2013	1	-0.1	-0.7	-0.4	-0.4
80017	PAMPA DE MAJES	1	2013	1	0.9	1.9	1.8	1.7
80032	YACANGO	1	2013	1	0.5	1.2	1.1	1.8
79984	AYO	2	2013	1	-0.1	1.2	1.1	1.6
79986	CAIRANI	2	2013	1	-0.5	0.3	0.2	1.3
79988	CANDARAVE	2	2013	1	1.0	1.4	1.3	2.0
79991	CHIGUATA	2	2013	1	-1.2	-1.8	-1.9	-0.1
79995	CHUQUIBAMBA	2	2013	1	-0.3	0.0	-0.1	1.7
80006	LA PAMPILLA	2	2013	1	0.5	0.4	0.4	1.8
80011	OMATE	2	2013	1	0.6	1.0	0.9	1.8
80013	PALCA	2	2013	1	0.4	0.6	0.5	1.4
80022	QUINISTAQUILLAS	2	2013	1	0.7	0.2	0.0	1.9
80025	SITAJARA	2	2013	1	0.3	0.6	0.6	1.6
80026	TALABAYA	2	2013	1	0.7	1.1	1.2	1.8
80027	TARATA	2	2013	1	-0.1	0.7	0.6	1.4
80029	TOQUELA	2	2013	1	-2.0	0.9	0.8	1.4
80033	YANAQUIHUA	2	2013	1	-0.7	0.0	-0.1	1.4
79990	CHACHAS	3	2013	1	-0.2	0.6	0.7	1.7
79993	CHOCO	3	2013	1	-0.7	-0.3	-0.2	0.8
79996	COTAHUASI	3	2013	1	0.8	1.8	1.8	1.7
79998	EL FRAYLE	3	2013	1	-0.3	0.6	0.7	1.5
79999	HUAMBO	3	2013	1	-0.9	0.1	0.2	1.5
80008	MACHAHUAY	3	2013	1	-0.9	-0.3	-0.4	1.5
80015	PAMPA COLCA	3	2013	1	-1.3	-0.2	-0.2	1.3
80016	PAMPA DE ARRIEROS	3	2013	1	-1.4	-0.1	0.0	0.6
80030	UBINAS	3	2013	1	0.2	0.8	0.7	1.5
79981	ANDAGUA	4	2013	1	-1.0	0.4	0.3	1.4
79985	CABANAONDE	4	2013	1	-0.6	0.0	0.2	1.0
79987	CALACOA	4	2013	1	-1.5	-0.3	-0.4	0.7
79992	CHIVAY	4	2013	1	0.5	0.9	1.1	1.8
79994	CHUAPALCA	4	2013	1	-0.7	0.3	0.3	0.7
80007	LAS SALINAS	4	2013	1	0.3	0.3	0.5	1.2
80009	MADRIGAL	4	2013	1	-0.7	0.3	0.5	1.5
80012	ORCOPAMPA	4	2013	1	-1.0	0.2	0.4	0.9
80018	PAMPA UMALZO	4	2013	1	-0.5	-1.2	-1.1	-0.6
80019	PAUCARANI	4	2013	1	0.0	0.3	0.3	0.7
80020	PILLONES	4	2013	1	-0.2	0.8	1.0	1.2
80023	SALAMANCA	4	2013	1	-1.3	-0.4	-0.8	0.7
80031	VILACOTA	4	2013	1	-0.8	0.2	0.2	0.2
79983	AYAHUASI	5	2013	1	-0.3	-0.2	-0.2	0.1
79997	CRUCERO ALTO	5	2013	1	-1.3	-1.0	-0.6	0.5
80002	IMATA	5	2013	1	-0.2	0.7	0.9	1.2
80024	SIBAYO	5	2013	1	-1.0	0.4	0.5	1.8
80028	TISCO	5	2013	1	-2.0	-0.7	-0.5	1.0
80003	JANACANCHA	6	2013	1	-2.3	-0.5	-0.4	0.3
80004	LA ANGOSTURA	6	2013	1	-2.9	-1.2	-1.2	0.0
80021	PORPERA	6	2013	1	-1.8	-1.0	-0.8	0.3

Fuente: Base de Datos, 27/01/2013

La **Tabla 6**, muestra dos máximos húmedos (1,9) de SPI1 en las escalas de 1 y 3 meses, apreciándose la predominancia de las condiciones normales para la Región 1. Se observa un evento seco severo, un SPI 1 máximo seco (-1,7).

Se aprecia un valor de SPI1 máximo seco (-2,0) y un SPI 12 máximo húmedo (2.0), predominando un comportamiento normal en la Región 2. Realizada la comparación con el del mes de diciembre se observa una variabilidad en las escalas de 1 y 3 meses de condición moderadamente húmeda a normal. Las escalas de 6 y 12 meses no han sufrido cambios

En la Región 3 presenta dos máximos húmedos (1,8) en las escalas de 3 y 6 meses, un máximo seco (-1,4) SPI en la escala de un mes, observándose la predominancia de las condiciones normales para esta Región, salvo en la escala de 12 meses. Con respecto a los SPI del mes de noviembre se observa una variabilidad en todas las escalas. Las escalas 1, 3 y 6 meses de condición moderadamente húmedo a normal. La escala de 12 meses de condición muy húmeda a moderadamente húmeda.

La Región 4 tiene un valor máximo húmedo (1,8) de SPI en la escala de 12 meses y un SPI máximo seco (-1,4) en la escala de 1 mes, con un comportamiento normal predominante en todas las escalas. Respecto a los SPI del mes de diciembre el comportamiento ha variado en las escalas de 1 y 12 meses en el presente mes.

En la Región 5 se presentan un valor de SPI máximo húmedo (1,8) y un valor de SPI máximo seco (1,5), con un comportamiento normal predominante. Con respecto a los SPI del mes de diciembre el comportamiento ha variado en la escala de 1 mes de muy húmedo a moderadamente seco y en la escala de 12 meses de moderadamente húmedo a normal.

Se aprecia el valor de SPI1 máximo seco (-2,9) y sin condiciones de humedad para la Región 6, predominando un comportamiento normal en sus escalas de 3, 6 y 12 meses. Con respecto a los SPI del mes de diciembre es semejante al actual, salvo la escala de 1 mes de moderadamente húmedo a extremadamente seco.

Tabla 6. Categorías del SPI según regiones para diferentes escalas de tiempo

Region Pluviométrica	Max Húm / Max Seco / Categoría	ESCALA DE TIEMPO (Meses)			
		1	3	6	12
1	Maximo (Húmedo)	19	19	18	2.3
	Minimo (Seco)	-17	-0.7	-0.4	-0.4
	Categoría	Normal	Normal	Normal	Muy húmedo
2	Maximo (Húmedo)	10	14	13	2.0
	Minimo (Seco)	-2.0	-18	-19	-0.1
	Categoría	Normal	Normal	Normal	Muy húmedo
3	Max (húmedo)	0.8	18	18	17
	Minimo (Seco)	-14	-0.3	-0.4	0.6
	Categoría	Normal	Normal	Normal	Moderadamente húmedo
4	Max (Seco)	0.5	0.9	11	18
	Minimo (seco)	-15	-12	-11	-0.6
	Categoría	Normal	Normal	Normal	Normal
5	Maximo (Húmedo)	-0.2	0.7	0.9	18
	Minimo (Seco)	-2.0	-10	-0.6	0.1
	Categoría	Moderadamente seco	Normal	Normal	Normal
6	Maximo	-18	-0.5	-0.4	0.3
	Minimo	-2.9	-12	-12	0.0
	Categoría	Extremadamente seco	Normal	Normal	Normal

Fuente: Elaboración propia

En la evaluación de los máximos extremos secos de las seis (6) regiones pluviométricas; se desprende que las regiones 2, 5 y 6 presentan picos de sequías (-2,0 -2,0 -2,9) de categoría extremadamente seco respectivamente,

los cuales corresponden igualmente a las estaciones Toquela (Cuenca del río Sama), Tisco (Cuenca del Camana) y La Angostura (Cuenca del Apurímac). La primera estación se ubica en la provincia de Tacna, la segunda y tercera estación se ubican en la provincia de Caylloma (Dpto. Arequipa).

Los SPI máximos extremos húmedos se identificados en la zona de estudio se presentaron dos picos (2,3 2,2) en la región 1 de las estaciones Caraveli (Prov. Caraveli) e Ilabaya (Prov. J. Basadre), la primera estación se ubica en la cuenca del río Caraveli y la segunda en la cuenca del río Locumba. Un tercer pico de categoría extremadamente húmedo (2,0) se presentó en la estación Candarave (Prov. Candarave) de la cuenca del río Locumba.

Respecto a la estadística de la frecuencia de sequías regionales de las 53 estaciones, en su análisis puntual sean obtenido un total de 20 eventos secos que se han producido en la escalas SPI 1 (13), SPI3 (4) y SPI 6 (3) concentrándose principalmente en la región 6; mientras los eventos húmedos alcanzaron un total de 56 eventos concentrados en la escalas SPI1 (3), SPI 3 (9), SPI6 (9) y SPI12 (35), concentrándose principalmente en las regiones 1 y 2. La distribución regional se detalla en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Frecuencia de eventos normales, secos y húmedos por regiones

TIPO EVENTO	Región	ESCALA DE TIEMPO			
		SPI_1M	SPI_3M	SPI_6M	SPI_12M
Seco	1	1	0	0	0
	2	2	1	1	0
	3	2	0	0	0
	4	2	1	1	0
	5	3	1	0	0
	6	3	1	1	0
Normal	1	6	4	5	2
	2	11	10	10	1
	3	7	8	8	2
	4	11	12	11	7
	5	2	4	5	3
	6	0	2	2	3
Húmedo	1	2	5	4	7
	2	1	3	3	13
	3	0	1	1	7
	4	0	0	1	6
	5	0	0	0	2
	6	0	0	0	0
TOTAL		53	53	53	53

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 8**, se observa la estadística consolidada del comportamiento pluviométrico de enero considerando el universo de estaciones evaluadas para las cuatro categorías del SPI, con la interpretación adjunta:

- Las condiciones de sequías alcanzaron una persistencia de 25% en la escala de 1 mes, 8% en la escala de 3 meses, 6% en la escala de 6 meses y están distribuidas principalmente en las regiones 6, 5 y 2 respectivamente. La persistencia en la escala de 1 mes es muy superior a la de humedad e inferior a la de normalidad.

- Las condiciones húmedas distribuidas en las seis regiones presentan persistencias de 6%, 17%, 17% y 66% en las escalas de 1, 3, 6 y 12 meses respectivamente; y siendo estas muy superiores a las condiciones de sequías, salvo en la escala de 1 mes.
- Las condiciones normales de precipitación alcanzaron persistencias de 70%, 75%, 77% y 34% en las escalas de 1, 3, 6 y 12 meses respectivamente; y siendo superiores a los eventos de sequías y humedad en todas las escalas, salvo en la escala de 12 meses donde la persistencia de normalidad es inferior solamente a las de humedad.

Tabla 8. Consolidado de eventos secos, normales y húmedos por estación

TIPO EVENTO	ESCALA DE TIEMPO							
	SPI1M		SPI3M		SPI6M		SPI12M	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Seco	13	25	4	8	3	6	0	0
Normal	37	70	40	75	41	77	18	34
Húmedo	3	6	9	17	9	17	35	66
TOTAL	53	100	53	100	53	100	53	100

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Análisis Espacial del SPI

En el mapa temático N° 6 de sequías SPI 1 (**Figura 9**) es predominante la zona 6 (Z6) con un estado hídrico normal; cuya superficie total alcanza 60837 km² (68.5%) de la zona de estudio y comprendida desde la región 1 hasta la región 5.

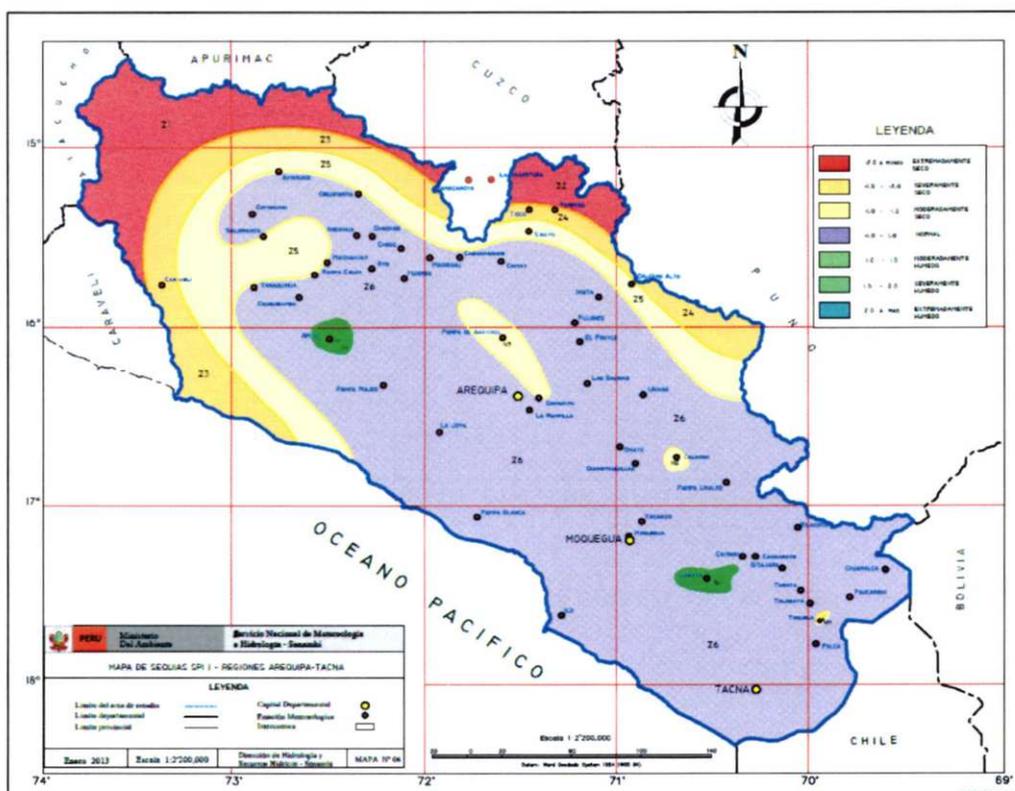


Figura 9. Mapa de Sequías SPI-1, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia dos zonas (Z1, Z2) de categoría extremadamente seco cubren una superficie total de 7449 km² (8.4%) se ubican en las provincias de Parinacochas, Paucar de Sarasara (Dpto. Ayacucho), La Unión, Caravelí, Condesuyos, Castilla, Caylloma (Dpto. Arequipa). Las cuencas que se encuentran afectadas por la sequedad extrema son: Caravelí, Ocoña, Camaná-Majes

El mapa presenta además un núcleo (N1) y dos zonas (Z3, Z4) de categoría severamente seco que cubren una superficie total de 8248 km² (9.3%). El núcleo se ubica en la provincia de Tacna y las zonas Z3 y Z4 se ubican en las provincias de Paucar de Sarasara (Dpto. Ayacucho), La Unión, Caravelí, Camaná, Condesuyos, Castilla, Caylloma (Dpto. Arequipa), Lampa, San Roman, Puno (Dpto. Puno), G.S. Cerro (Dpto. Moquegua). Las cuencas que se encuentran afectadas por la sequedad severa son las mismas que se encuentran afectadas por la sequedad extrema y además la cuenca de Tambo.

Se observan además dos pequeño núcleos de humedad severa y moderada (N5 y N4) de 486 km² (0.5%) y favorecen a las cuencas de Camaná-Majes y Locumba respectivamente.

El mapa temático de sequías SPI 3, N° 7 (Figura 10) para la escala temporal de 3 meses se aprecia la zona Z8 de condiciones normal; abarcando una extensión total de 80800 km² (91%) de la zona de estudio.

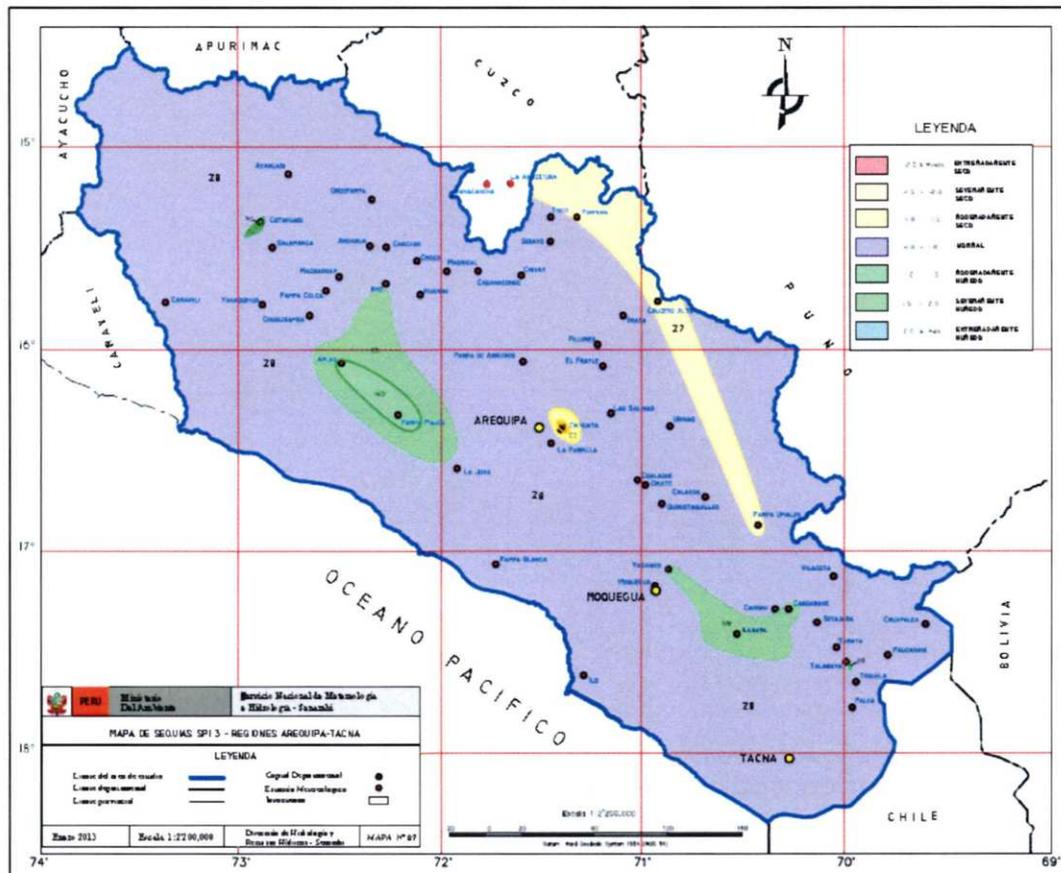


Figura 10. Mapa de Sequías SPI-3, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.
Fuente: Elaboración propia

Se observa un pequeño núcleo, corona y zona de sequedad severa (N6, C3 y Z7) que abarcan 2890 km² (3.2%) que afectan a la cuenca Tambo y Quilca-Chili.

Las áreas de humedad severa se presentan en dos pequeños núcleos (N7 y N10) que abarcan 732 km² (0.8%) que favorecen a las cuencas Ocoña, Camaná y Quilca-Chili en las provincias de Condesuyos, La Unión y Arequipa (Dpto. Arequipa).

El mapa temático de sequías SPI6 N° 8 (**Figura 11**), se aprecia la zona Z10 de condición normal abarcando 83451 km² (94%) de la zona de estudio.

Las áreas de sequedad moderada a severamente seco (N11, N12, C6 y Z9) afectan a las cuencas de Ocoña y Camaná-Majes, cubriendo una superficie de 693 km² (0.7%) del área de estudio y territorialmente se encuentran en las provincias de Caylloma, Arequipa (Dpto. Arequipa), Mariscal Nieto (Dpto. Moquegua), Concepción (Dpto. Cuzco), Lampa (Dpto. Puno) y Candarave (Dpto. Tacna).

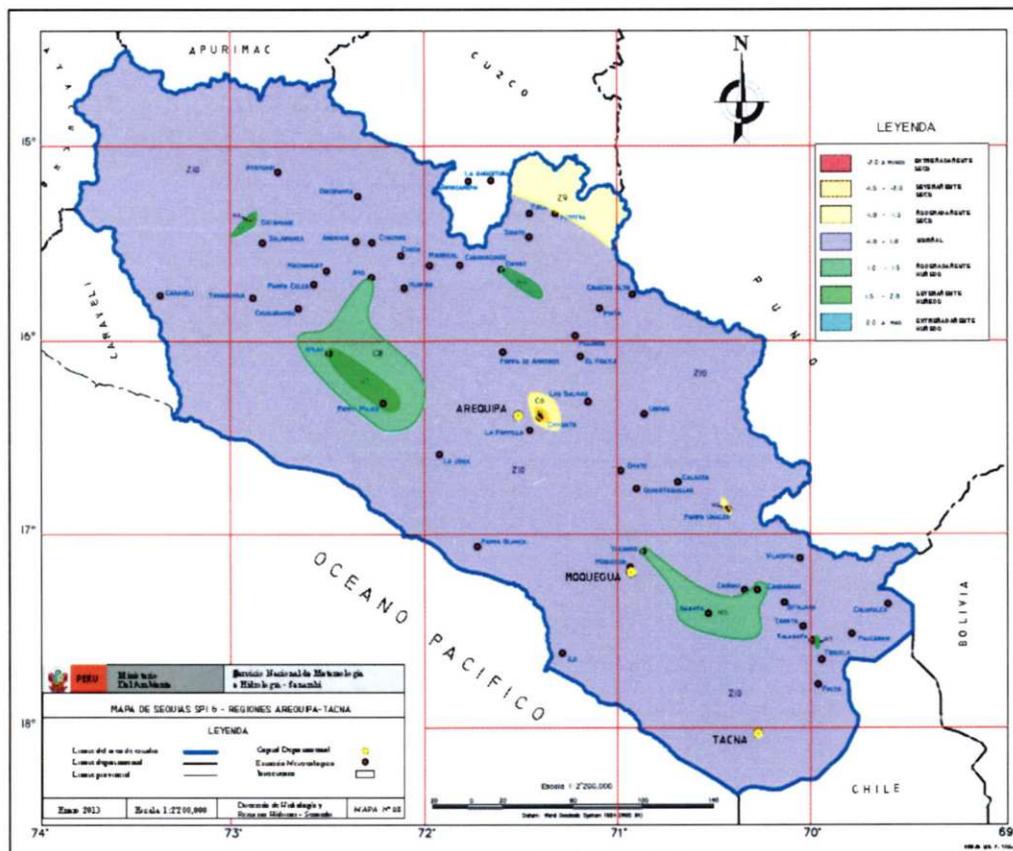


Figura 11. Mapa de Sequías SPI-6, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.

Fuente: Elaboración propia

Las áreas de humedad moderada a severa (N13,...N17, C7, C8), se extienden en 4607 km² (5.2%) de la zona de estudio que favorecen a las cuencas de Ocoña, Camaná, Ilo-Moquegua, Locumba y Sama. Estas áreas territorialmente comprenden las provincias de La Unión, Condesuyos, Castilla, Caylloma, Arequipa (Dpto. Arequipa), Mariscal Nieto (Dpto. Moquegua), J. Basadre, Candarave, Tarata (Dpto. Tacna).

El mapa temático N° 9 de sequías SPI 12, (**Figura 12**), de escala 12 meses, se aprecian las zonas (Z14 –Z16) de condición normal abarcando un total de 38811 km² (44%) de la zona de estudio. Las áreas de humedad: núcleo, corona y zonas (N18-N20, C9, Z11-Z13), abarcan 56% de la zona de estudio y no existen áreas de sequedad.

Las áreas de humedad presentan características que van de moderada a extremadamente húmedo cubriendo una superficie total de 49941 km², que favorecen a las cuencas de Caravelí, Ocoña, Camaná, Quilca-Chili, Tambo, La Honda, Ilo-Moquegua, Locumba, Sama, Caplina, Hospicio, La de la Concordia y LLuta.

Estas áreas de humedad territorialmente comprenden las provincias de los departamentos de Arequipa, Moquegua, Tacna y parte de las provincias de Parinacochas y Páucar de Sarasara (Dpto. de Ayacucho).

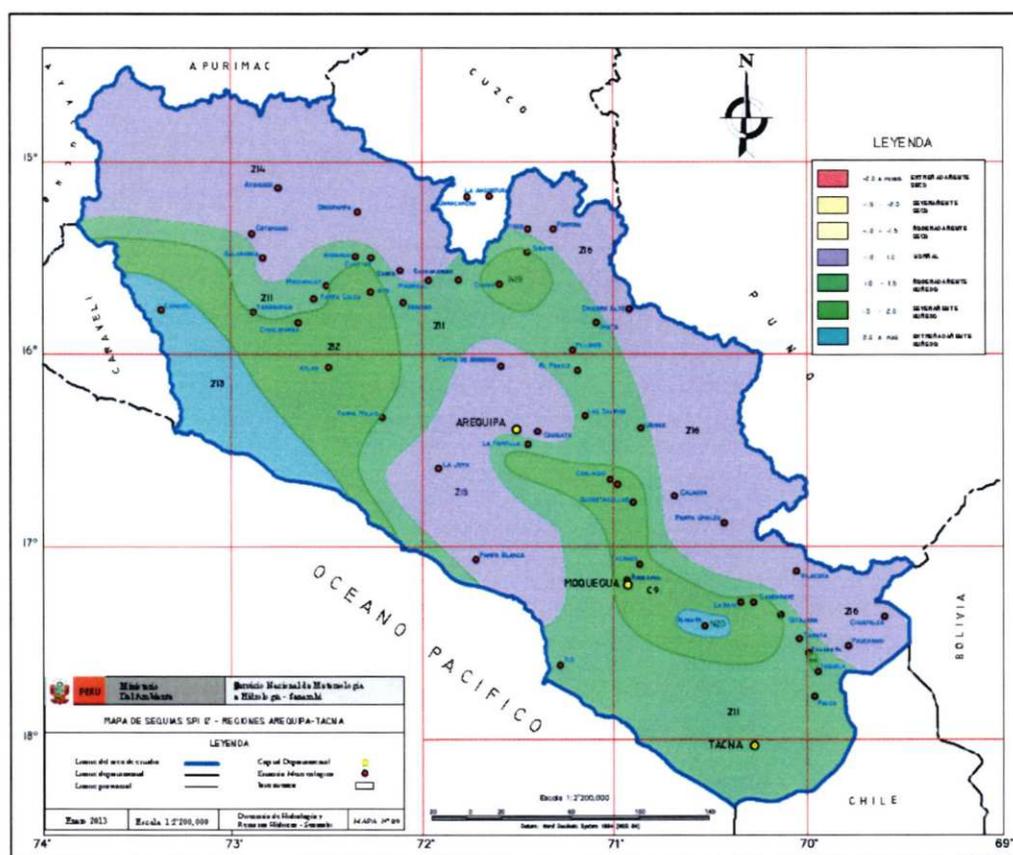


Figura 12. Mapa de Sequías SPI-12, Región de Arequipa, Moquegua y Tacna.
Fuente: Elaboración propia

6.2 Región de Puno

6.2.1 Análisis de la precipitación acumulada mensual

Para el análisis pluviométrico la región de Puno, y en particular en las cuencas de la Región hidrográfica del Titicaca, se ha utilizado la información histórica de 44 estaciones meteorológicas con registro de 44 años. Para enero del 2013, usando índices porcentuales, el comportamiento promedio regional se indica en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Precipitación acumulada mensual región, enero 2013

Región Homogénea	PP NORMAL ENE (mm)	PP ENE 2013 (mm)	Anomalía %
1	886.2	515.8	-41.8%
2	212.6	200.9	-5.5%
3	185.4	208.9	12.7%
4	170.2	164.3	-3.4%
5	162.1	176.2	8.7%

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Análisis temporal del SPI a nivel puntual y regional

A escala SPI-01 mes; las condiciones pluviométricas de enero del 2013 en las cuencas de Puno, en todos los grupos tuvieron la categoría normal. A nivel puntual los valores SPI-01 presentaron un máximo de 1.34 en la estación de Ananea, y un mínimo de -1.15 en San Gabán.

A escala SPI-03 meses, de manera general, se presentan condiciones normales al norte y condiciones húmedas al sur y suroeste del lago Titicaca. En el grupo G-05 se presentaron condiciones húmedas y muy húmedas, condiciones de normalidad de lluvias en el grupo G-04, condiciones moderadas de humedad para el grupo G-03; condiciones variables de humedad para el grupo G-02, condiciones normales a moderadamente secas para el grupo G-01. A nivel puntual los valores SPI-03 presentaron un máximo de 1.86 en la estación de Mañazo, y un valor mínimo de -1.01 en Tambopata.

A escala SPI-06 meses, las condiciones de humedad son muy similares a las presentadas en la escala SPI-03 meses, con condiciones normales al norte y condiciones húmedas al sur y suroeste del lago Titicaca. A nivel puntual los valores SPI-06 presentaron un máximo de 1.40 en la estación Mañazo y un valor mínimo de -1.64 correspondiente a la estación Tambopata.

A escala SPI-12 meses, se aprecia condiciones normales predominantes en la parte central y norte de la región de Puno, y condiciones húmedas al suroeste de la región. A nivel puntual los valores SPI-12 presentaron un máximo de 2.37 en la estación de Mañazo, y un valor mínimo de -1.27 para la estación de Tambopata.

Los resultados del análisis antes descrito, se presentan en la **Tablas 10 y 11**, las cuales muestran por estación y región pluviométrica el comportamiento del SPI en las escalas de tiempo de 1, 3, 6 y 12 meses.

Según los resultados de la **Tabla 12**, la mayor de frecuencia de eventos secos se da en el grupo G-02, en las escalas de SPI-03, SPI-06 y SPI-12 meses. La mayor frecuencia de eventos normales se da en el grupo G-04 y a las escalas de SPI-01 y SPI-03, SPI-06 y SP-12 meses. La mayor frecuencia

de eventos húmedos se da en los grupos G-04 y G-05, en las escalas de SPI-01, SPI03, SPI-06 y SPI-12 meses.

El comportamiento pluviométrico consolidado de enero para toda la región de estudio se consolida en la **Tabla 13**

Tabla 10. Valores del SPI de enero-2012 a diferentes escalas por estación y región.

ESTACION	GRUPO	AÑO	MES	SPI-1M	SPI-03M	SPI-6M	SPI-12M
SAN GABAN	1	2013	ENE	-1.15	0.90	0.63	0.98
TAMBOPATA	2	2013	ENE	0.56	-1.01	-1.64	-1.27
LIMBANI	2	2013	ENE	-0.06	1.09	0.78	0.86
OLLACHEA	2	2013	ENE	-0.52	-0.06	-0.35	0.15
CUYO CUYO	2	2013	ENE	0.26	-0.26	-0.74	-0.37
ISLA SUANA	3	2013	ENE	-0.29	0.57	-0.15	0.94
LOS UROS	3	2013	ENE	0.92	1.38	1.21	1.80
ISLA SOTO	3	2013	ENE	0.53	1.13	0.63	1.32
TARACO	4	2013	ENE	0.05	0.33	-0.05	-0.11
JULIACA	4	2013	ENE	0.32	0.72	0.25	0.62
JULI	4	2013	ENE	-0.48	0.82	0.25	1.35
PUNO	4	2013	ENE	-0.05	0.79	0.18	1.28
ISLA TAQUILE	4	2013	ENE	-0.53	-0.42	-0.78	-0.32
ILAVE	4	2013	ENE	-0.51	1.31	0.76	1.12
CAPACHICA	4	2013	ENE	-0.37	0.23	-0.25	-0.04
DESAGUADERO	4	2013	ENE	0.36	0.76	0.49	0.49
TAHUACO - YUNGUYO	4	2013	ENE	-0.17	0.78	0.31	0.97
AZANGARO	4	2013	ENE	0.88	0.14	-0.16	0.16
PUTINA	4	2013	ENE	0.48	0.72	0.03	-0.17
HUANCANE	4	2013	ENE	0.20	0.07	-0.54	0.02
CABANILLAS	4	2013	ENE	0.53	0.95	0.59	1.08
HUARAYA MOHO	4	2013	ENE	-0.02	0.74	0.44	1.41
MUÑANI	4	2013	ENE	0.48	0.59	0.06	-0.04
LAMPA	4	2013	ENE	-0.56	0.48	0.12	0.61
ICHUÑA	4	2013	ENE	0.02	0.74	0.45	1.54
PUCARA	4	2013	ENE	-0.54	-0.13	-0.75	-0.19
AYAVIRI	4	2013	ENE	0.28	0.75	0.31	0.79
ARAPA	4	2013	ENE	0.22	0.42	-0.14	0.00
RINCON DE LA CRUZ	4	2013	ENE	0.43	1.06	0.58	1.39
MAÑAZO	4	2013	ENE	0.87	1.86	1.40	2.37
PIZACOMA	4	2013	ENE	0.16	0.28	0.17	0.68
SANTA ROSA	4	2013	ENE	0.21	0.20	-0.17	0.11
CHUQUIBAMBILLA	5	2013	ENE	1.03	0.91	0.61	0.71
PROGRESO	5	2013	ENE	-0.05	0.47	-0.09	0.21
LARAQUERI	5	2013	ENE	0.90	1.52	1.32	1.58
MAZO CRUZ	5	2013	ENE	0.28	0.96	0.80	1.07
CRUCERO	5	2013	ENE	-0.26	-0.15	-0.59	-0.90
LLALLY	5	2013	ENE	0.49	1.02	0.62	0.69
LAGUNILLAS	5	2013	ENE	0.37	1.28	1.21	1.95
PAMPAHUTA	5	2013	ENE	-0.27	0.77	0.71	1.01
MACUSANI	5	2013	ENE	0.31	0.24	-0.14	-0.12
COJATA	5	2013	ENE	0.27	0.81	0.31	0.55
CAPAZO	5	2013	ENE	-0.04	0.45	0.45	0.31
ANANEA	5	2013	ENE	1.34	1.75	1.05	1.12

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos, SENAMHI

Tabla 11. Categorías del SPI según regiones para diferentes escalas de tiempo, enero 2013.

GRUPO	Extremos SPI	SPI-1M	SPI-03M	SPI-6M	SPI-12M
G1	Max	-1.15	0.90	0.63	0.98
	Min	-1.15	0.90	0.63	0.98
	Categoría	Moderad. Seco	Moderad. Húmedo	Normal	Moderad. Húmedo
G2	Max	0.56	1.09	0.78	0.86
	Min	-0.52	-1.01	-1.64	-1.27
	Categoría	Moderad. Húmedo	Normal	Normal	Normal
G3	Max	0.92	1.38	1.21	1.80
	Min	-0.29	0.57	-0.15	0.94
	Categoría	Normal	Moderad. Húmedo	Normal	Muy Húmedo
G4	Max	0.88	1.86	1.40	2.37
	Min	-0.56	-0.42	-0.78	-0.32
	Categoría	Normal	Normal	Normal	Moderad. Húmedo
G5	Max	1.34	1.75	1.32	1.95
	Min	-0.27	-0.15	-0.59	-0.90
	Categoría	Normal	Moderad. Húmedo	Normal	Normal

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos – SENAMHI.

Tabla 12. Frecuencia de eventos normales, secos y húmedos según Regiones, enero 2013.

TIPO DE EVENTO	REGION	SPI-1M	SPI-03M	SPI-6M	SPI-12M
SECO	G-1	1	0	0	0
	G-2	0	1	1	1
	G-3	0	0	0	0
	G-4	0	0	1	0
	G-5	0	0	0	1
NORMAL	G-1	0	0	1	0
	G-2	4	2	2	2
	G-3	2	1	2	0
	G-4	22	16	21	14
	G-5	9	4	8	6
HUMEDO	G-1	0	1	0	1
	G-2	0	1	1	1
	G-3	1	2	1	3
	G-4	2	8	2	10
	G-5	3	8	4	5
TOTAL		44	44	44	44

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos – SENAMHI.

A escala de SPI-01 mes, se tiene que el 84.1 % de las estaciones analizadas fueron categorizadas con condición normal, el 13.6% en la categoría húmeda, y el 2.3% en la categoría de seca.

A escala de SPI-03 meses, se tiene que el 52.3% de las estaciones alcanzó la categoría de normal, el 45.5% la categoría de húmeda y apenas el 2.3% la categoría de seca.

A escala de SPI-06 meses, el 77.3% de las estaciones alcanzó la categoría de normal, el 18.2% alcanzó la categoría de húmeda, y el 4.5% la categoría de seca.

A escala de SPI-12 meses, el 50.0% de las estaciones alcanzó la categoría de normal, el 45.5% alcanzó la categoría de húmeda y el 4.5% la categoría de seca.

Tabla 13. Consolidado de eventos secos, normales y húmedos por estación, enero 2013

TIPO DE EVENTO	ESCALA DE TIEMPO							
	SPI - 01M		SPI - 03M		SPI - 06M		SPI - 12M	
	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%
SECO	1	2.3%	1	2.3%	2	4.5%	2	4.5%
NORMAL	37	84.1%	23	52.3%	34	77.3%	22	50.0%
HUMEDO	6	13.6%	20	45.5%	8	18.2%	20	45.5%
TOTAL	44	100.0%	44	100.0%	44	100.0%	44	100.0%

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos, SENAMHI

6.2.3 Análisis espacial del SPI

Para el SP-01, en el mapa de la **Figura 13** se puede apreciar condiciones predominantemente normales para casi toda la región de Puno (84.1%).

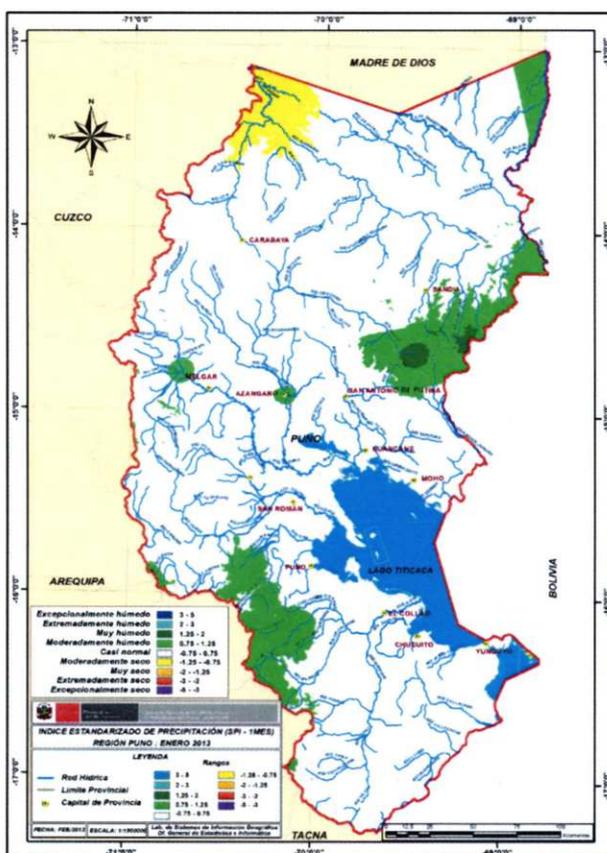


Figura 13. Mapa de índices de sequía en la escala de SPI-01 mes, cuencas de Puno.

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos – SENAMHI.

Para el SPI-03, en el mapa de la **Figura 14**, se observa condiciones normales para el centro y norte de la Región de Puno, condiciones húmedas a muy húmedas al suroeste y sur de la Región.

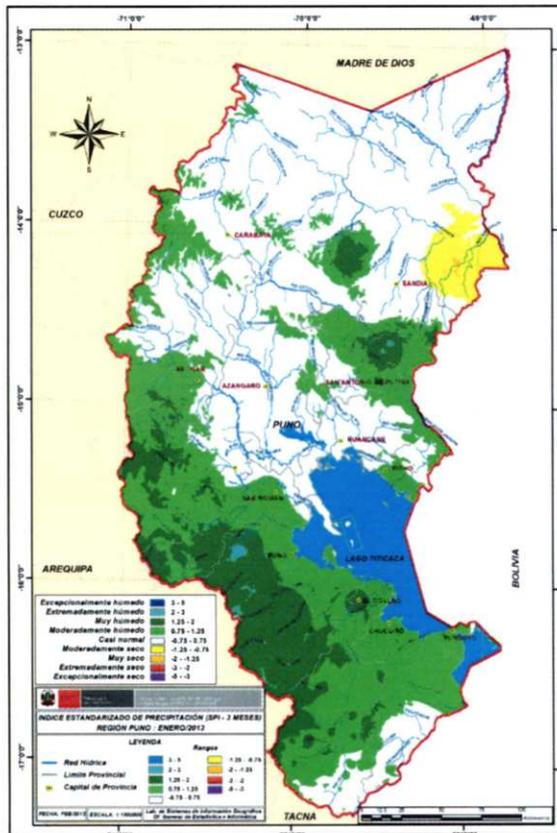


Figura 14. Mapa de índices de sequía en la escala de SPI-03 meses, cuencas de Puno.

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos – SENAMHI.

Para el SPI-06, en el mapa de la **Figura 15** muy similar que el mapa SPI-03 meses, se observa condiciones normales para el centro y norte de la Región de Puno, condiciones húmedas a muy húmedas al suroeste y sur de la Región.

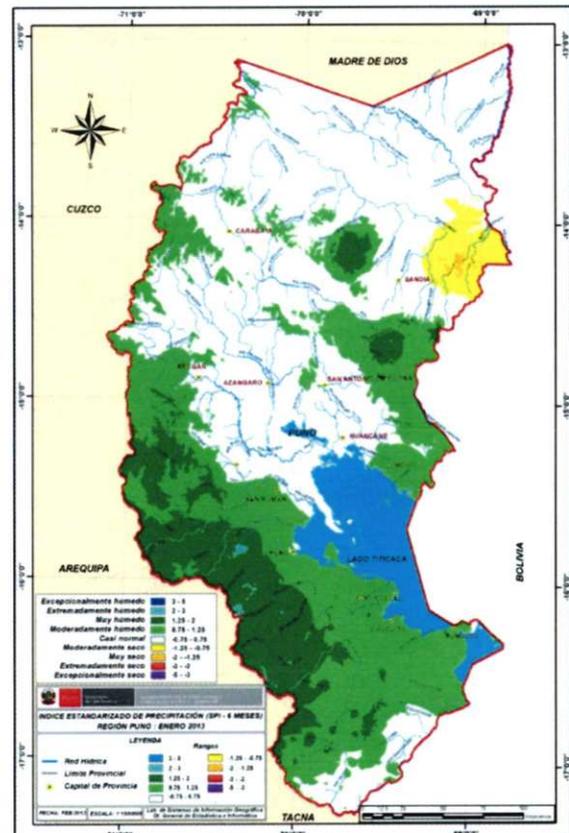


Figura 15. Mapa de índices de sequía en la escala de SPI-06 meses, cuencas de Puno.

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos – SENAMHI.

Para el SPI-12, en el mapa de la **Figura 16**, se identifica un comportamiento pluviométrico normal en gran parte de la Región de Puno, exceptuando el suroeste de Puno que tuvo condiciones de humedad que variaban de húmedas a muy húmedas.

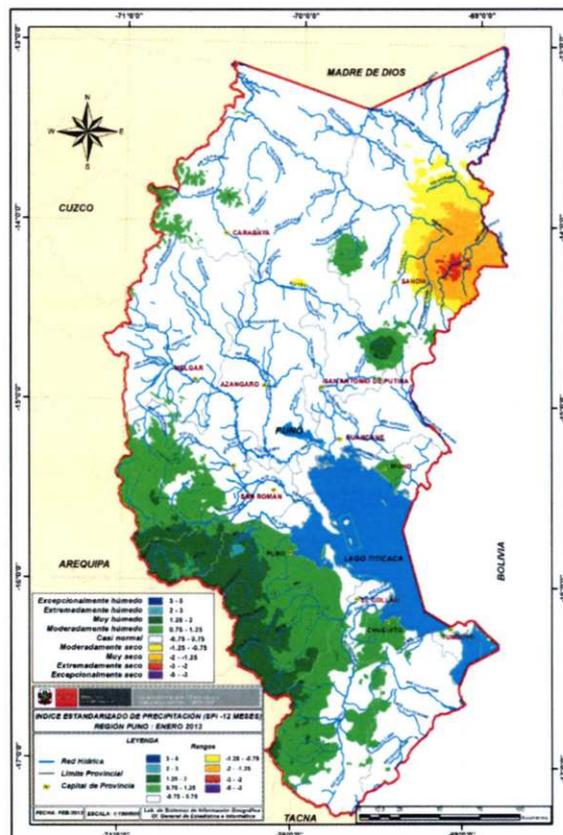


Figura 16. Mapa de índices de sequía en la escala de SPI-12 meses, cuencas de Puno.

Fuente: Dirección de Hidrología y Recursos Hídricos - SENAMHI.

VII.- TENDENCIA PARA FEBRERO

Para febrero, se espera una variabilidad moderada al comportamiento de la precipitación en las regiones del Pacífico sur, cuyas características espacio-temporales del SPI mostrarán un patrón de tendencia de comportamiento normal en sus escalas de tiempo.

Para febrero, siguiendo la tendencia del patrón de lluvias del mes anterior, y del comportamiento de sus índices de sequía en sus diversas escalas, se espera condiciones de humedad entre normales a moderadamente húmedas para la región de Puno.

VIII.- CONCLUSIONES

8.1 Regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna

- A escala SPI-1 se ha determinado que para enero-2013 el 70% de las estaciones evaluadas alcanzaron la categoría *normal*, el 6% de las estaciones la categoría húmedo; el 25% la categoría seco. Especialmente el déficit de precipitación se concentró al nor-oeste de la zona de estudio, principalmente en las regiones R-2 al R-6, de las provincias de Parinacochas, Páucar Sarasara (Dpto. Ayacucho), La Unión, Caravelí, Condesuyos, Castilla (Dpto. Arequipa), Aymaraes (Dpto. Apurímac), Espinar (Dpto. Cuzco).
- A escala SPI-3 se ha determinado que para enero-2013 el 75% de las estaciones evaluadas alcanzaron la categoría normal, el 17% la categoría de Húmedo y el 8% la categoría seco. Especialmente los zonas de sequedad se distribuyeron en las regiones R-2, R-3, R-4, R-5 y R-6, de las provincias de Arequipa, Caylloma (Dpto. Arequipa), G.S. Cerro, Mariscal Nieto (Dpto. Moquegua) y Espinar (Dpto. Cuzco), Lampa, San Román (Dpto. Puno).
- A escala SPI-6 se ha determinado que para enero-2013 el 77% de las estaciones evaluadas alcanzaron la categoría normal, el 6% la categoría de seco y el 17% la categoría de húmedo. Especialmente los núcleos de sequedad se concentraron en las regiones R-2, R-3, R4 y R6 de las provincias: Caylloma, Arequipa (Dpto. Arequipa), Espinar (Cuzco), Lampa (Puno), Mariscal Nieto, Candarave (Dpto. Moquegua).
- A escala SPI-12 se ha determinado que para enero-2013 el 66% de las estaciones evaluadas alcanzaron la categoría normal y el 34% la categoría de húmedo, cuya distribución espacial comprende todas las regiones (R-1 al R5) de las provincias de los departamentos de Arequipa, Moquegua, Tacna y parte de las provincias de Parinacochas, Páucar del Sarasara (Dpto. de Ayacucho).
- En síntesis para estas cuencas el comportamiento pluviométrico ha sido normal en niveles medios, mientras que en niveles altos se ha acentuado importantes deficiencias de lluvia que ha afectado un menor almacenamiento de agua en los principales embalses.

8.2 Región Puno

- A escala de SPI-01, para enero-2013 se ha mostrado que el 84.1% de las estaciones analizadas fueron categorizadas de condición normal; y el 13.6% en la categoría húmeda y apenas un 2.3% en la categoría seca.
- A escala de SPI-03 en enero 2013, el 52.3% de las estaciones alcanzó la categoría de normal, el 45.5% alcanzaron condiciones húmedas, y apenas un 4.5% alcanzaron la categoría de seca. Las condiciones de humedad se concentraron al suroeste de la región de Puno.

- A escala de SPI-6, para enero-2013, el 77.3% de las estaciones alcanzó la categoría normal, el 18.2% la categoría húmeda y un 4.5 % de las estaciones alcanzaron la condición de seca.
- A escala de SPI-12, para enero-2013, el 50.0% de las estaciones analizadas fueron categorizadas como normal, el 45.5% en la categoría húmeda, y un 4.5% en la categoría seca.

IX.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Unesco - WMO.** 1977. Hydrological maps, 47-58
- **Edwards, D.C. y McKee, T.B.,** 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Atmospheric Science Paper N° 634.
- **Hayes, M.** 2002. Drought indexes // Drought indices. 9p. Lincoln, NE: University of Nebraska.
- **Israel Velasco, Javier Aparicio, Juan B. Valdés y otros,** 2004: "Evaluación de índices de sequías en las cuencas afluentes del río Bravo/Grande".
- **Komuscu A.U.** 1999: Using The SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey. Drought Network News.
- **McKee et al.** 1993 y 1995 "Standardized Precipitation Index".
- **SENAMHI,** 2009. "Vigilancia de la sequía hidrológica en las regiones de Arequipa y Tacna". 52-55, 67.
- **Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A. y Hu, Q.,** 2001: An evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the Statistical z-score. International Journal of Climatology 21: 745-758.
- **INRENA (Autoridad Nacional del Agua),** 2008: Metodología de Unidades Geográficas de Pfafstetter, Plano de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú.
- **Hayes, Michael J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite, and O. V. Vanyarkho.** 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index (SPI). Bulletin of the American Meteorological Society 80, no. 3: 429-438.
- **Lloyd-Hughes, Benjamin y Saunders, Mark A.** 2002. A Drought Climatology for Europe. International Journal of Climatology 22: 1571-1592.