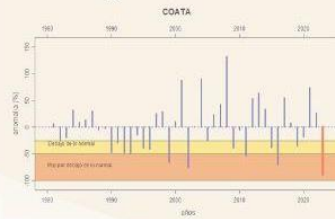
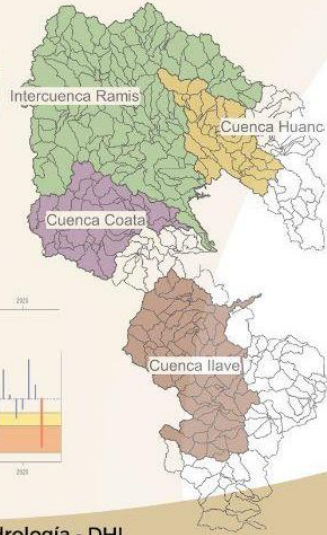
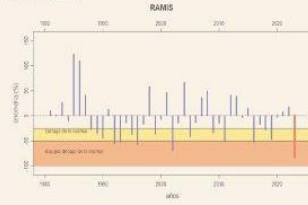




PERÚ

Ministerio del Ambiente



Condiciones hidrológicas en la Región hidrográfica del Titicaca (Perú)

Déficit de caudales

Periodo Setiembre 2022 a Enero 2023

Dirección de Hidrología - DHI
Subdirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas

Foto: Río Azángaro Est. HLG Pte. Azángaro (Ene. 2023) © DZ 13 - Puno



Condiciones hidrológicas en la región hidrográfica del Titicaca (Perú)

Déficit de caudales

Período Setiembre 2022 a Enero 2023

Introducción

Dado al déficit de precipitaciones desde comienzos del año hidrológico 2022-2023 a la fecha y sus respectivas respuestas en los niveles de agua y caudales de los ríos en la región hidrográfica del Titicaca (RHT), así como la declaratoria de emergencia por déficit hídrico DECRETO SUPREMO N° 137-2022-PCM por peligro inminente de sequías en algunos distritos del departamento de Puno, se ha realizado un análisis detallado de las condiciones hidrológicas en la RHT enfocado en el déficit de caudales y niveles del Lago Titicaca.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), a través del Sistema de monitoreo y pronóstico de la sequía hidrológica (OASIS) y la Plataforma Hidrológica de Información Sistematizada e Integrada (PHISIS) brinda información espacial y temporal de las sequías hidrológicas basado en el análisis del índice de Anomalía de Caudal (AC), así como información de caudales y niveles de agua en tiempo casi real respectivamente.

Es así, que este **Reporte Extraordinario** presenta el análisis y evaluación del comportamiento de los caudales y niveles en los ríos de la RHT en el período setiembre 2022 a enero 2023 y su pronóstico para los próximos cinco meses.

Metodología

En adelante, se define los índices de sequía hidrológica: anomalía de caudal y anomalía de precipitación evaluados en el presente Reporte.

El **Índice de Anomalía de Caudal (AC)**, es una medida de desviación del caudal de su valor normal a largo plazo (Ec. 1), brinda información del déficit o superávit de caudales. El término "Normal", es el valor promedio de caudal en un período de 30 años (1991-2020). El AC puede ser calculado para diferentes escalas temporales (semana, decadiario, mes, año, etc).

$$AC (\%) = 100 \times (Q_i - Q_n) / Q_n \quad (\text{Ec. 1})$$

El AC se ha clasificado en seis categorías, ver Tabla 1.

Tabla 1. Categorías de anomalía de caudal. Fuente: SENAMHI, 2021

Categoría	Anomalía de caudal (AC) en %
Muy por debajo de lo normal	$-100 < AC \leq -50$
Debajo de lo normal	$-50 < AC \leq -25$
Normal	$-25 < AC \leq 25$
Sobre lo normal	$25 < AC \leq 50$
Muy sobre lo normal	$50 < AC \leq 100$
Alto	$AC > 100$

El índice de anomalía de precipitación (AP) es una medida de la desviación de las precipitaciones de su valor normal a largo plazo (Ec. 2), el término “Normal”, también corresponde al valor promedio de la precipitación en 30 años (1991-2020) y puede ser calculado en diferentes escalas temporales similar al AC.

$$AP (\%) = 100 \times (P_i - P_n) / P_n \quad (\text{Ec. 2})$$

(Du et al., 2013) clasifica los valores de AP ó IPN (Índice de precipitación normal) según el grado de sequedad o humedad en porcentajes (%). Para fines de este reporte se consideran las siete categorías propuestas por Du y se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Categorías del AP (%)

Tipo de sequía	Índice de precipitación normal (IPN ó AP) en %
Extremadamente seco	$-100 < IPN \leq -75$
Severamente seco	$-75 < IPN \leq -50$
Moderadamente seco	$-50 < IPN \leq -25$
Normal	$-25 < IPN \leq 25$
Húmedo	$25 < IPN \leq 50$
Muy húmedo	$50 < IPN \leq 100$
Extremadamente Húmedo	$IPN > 100$

Resultados

Comportamiento de los caudales y niveles en la Región Hidrográfica del Titicaca

La Figura 1 muestra el comportamiento de caudales del río Ramis, Coata, Huancané e llave en las estaciones de monitoreo Puente Carretera, Puente Unocolla, Puente Huancané y Puente llave respectivamente, en lo que va del año hidrológico 2022-2023 respecto a lo registrado en años de extremos mínimos y su promedio histórico. En general, dada las condiciones secas por déficit de lluvias durante el trimestre OCT NOV DIC 2022 y lo que va de enero 2023 en el Altiplano Peruano, los ríos Ramis, Coata, Huancané e llave, vienen registrando caudales muy por debajo respecto a los años de extremos mínimos y a su promedio histórico, es así que durante enero 2023 se ha acentuado el déficit de caudales, principalmente en el río Ramis que registra los valores más bajos de los últimos 18 años.

Para el monitoreo y seguimiento de los caudales diarios acceder en <https://www.senamhi.gob.pe/?p=monitoreo-informacion-diaria>.

La Figura 2 muestra el análisis del comportamiento de los niveles de agua del Lago Titicaca en años extremos mínimos identificados en el periodo 1914-2023, se observa que en posteriores al año 2014 se han caracterizado por presentar valores por debajo de su promedio histórico, acentuándose los descensos en los años hidrológicos 2010-2011 y 2017-2018.

Por otro lado, desde los inicios del año hidrológico 2021-2022 a noviembre 2022 los niveles de agua presentaron un descenso notable; sin embargo, en diciembre 2022 hubo ascenso significativo alcanzando un acumulado de variación positiva máxima de 0.886 m correspondiente al nivel de 9.56 m, por tanto, la variación de los niveles del Lago entre diciembre 2021 y abril 2022 fue positiva/ascendente y considerable.

En el presente año hidrológico 2022-2023 se viene observando un comportamiento de los niveles de agua con persistencia al descenso, desde el 1 de septiembre 2022 al 30 de enero 2023, no registrado en los últimos **20 años**, a la fecha la variación de nivel es -0.524 m. Cabe mencionar que el déficit de caudales de los principales tributarios viene ocasionando el descenso en los niveles del Lago, así como la falta de nubosidad en la RHT viene ocasionando la aceleración de la evaporación del Lago.

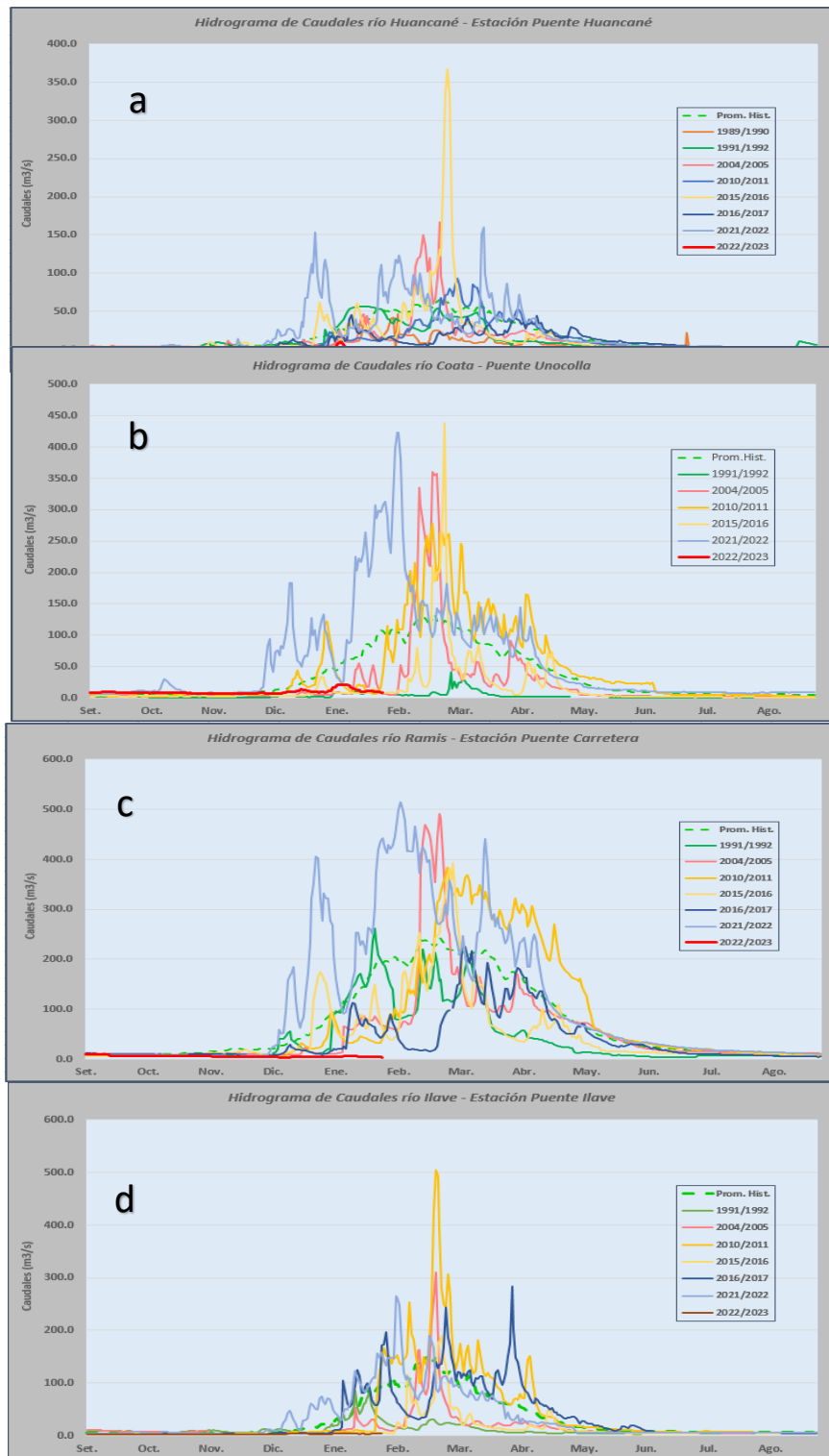


Figura 1. Hidrograma de caudales diarios a) Río Huancané, b) Río Coata, c) Río Ramis y d) Río Ilave

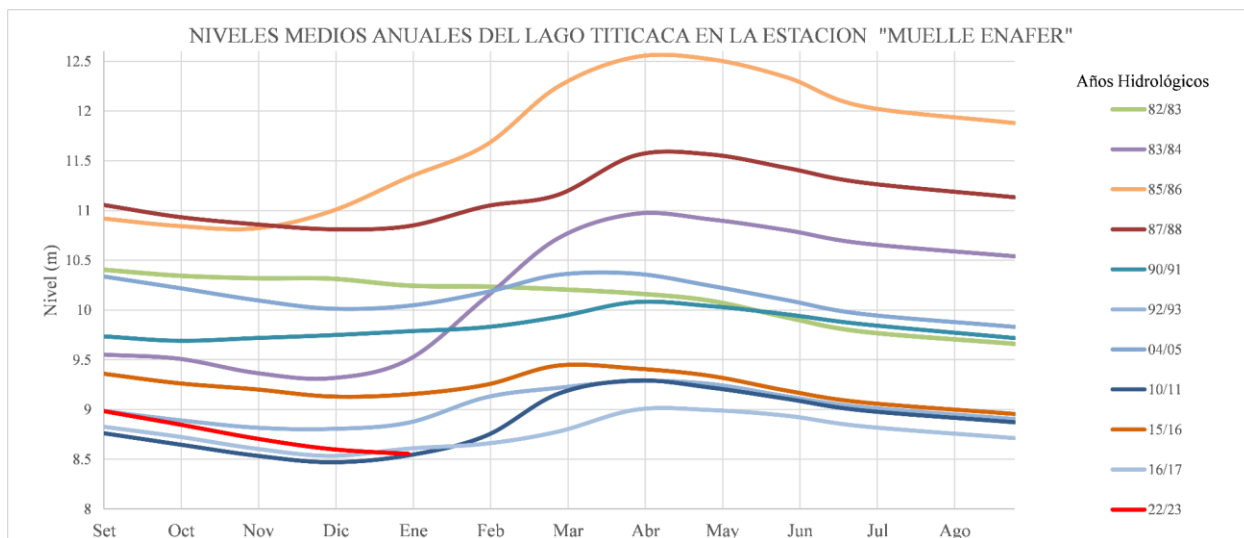


Figura 2. Niveles medios diarios del Lago Titicaca

Índices de sequía hidrológica

La **Figura 3** muestra la variación espacial del AC y AP para la primera decadiaria (1-10) y segunda decadiaria (11-20) de enero 2023, los cuales evidencian déficit de caudales de categoría **muy por debajo de lo normal** ($-100% < AC \leq -50%$) casi en la totalidad de la RHT. Por otro lado, el AP de la primera a la segunda decadiaria muestra un acentuado déficit de lluvias ($-100% < AP \leq -75%$) en menor grado en parte de la cuenca del río Azángaro e Ilave.

La **Figura 4** muestra la variación temporal de anomalías de caudal en las cuencas del río Ramis, Ilave, Coata y Huancané, para la primera y segunda decadiaria de enero 1981 al 2023. Al respecto se observaron anomalías extremas de deficit, para la primera decadiaria -82.74% para Ramis, -91.51% para Ilave, -88.40% para Coata y -96.28% para Huancané. Para la segunda decadiaria, Ramis tuvo -93.62%, Ilave -79.27%, Coata -92.69% y Huancané -98.64%.

La **Tabla 4** presenta las anomalías de caudal a escala decadiaria en los ríos Ramis, Ilave, Coata y Huancané en el periodo enero 1981 a enero 2023, lo cual evidencia que durante enero 2023 presenta anomalías de caudales extremos de categorías “Muy por debajo de lo normal”, conformando la clasificación de extremos mínimos con los años 1990, 1992, 1999, 2002, 2005, 2009, 2011 y 2016. Cabe mencionar que el año 1992, 2005 y 2016 fueron considerados años Niño y este 2023 es clasificado como Niña débil (SENAMHI, 2023b).

Por otro lado, el año 1990, 1992, 2005 y 2016 se presentó sequías meteorológicas de intensidad moderada a extrema en distintos departamentos del Perú, la de 1990 impacto a 19 departamentos entre ellos Puno (SENAMHI, 2019).

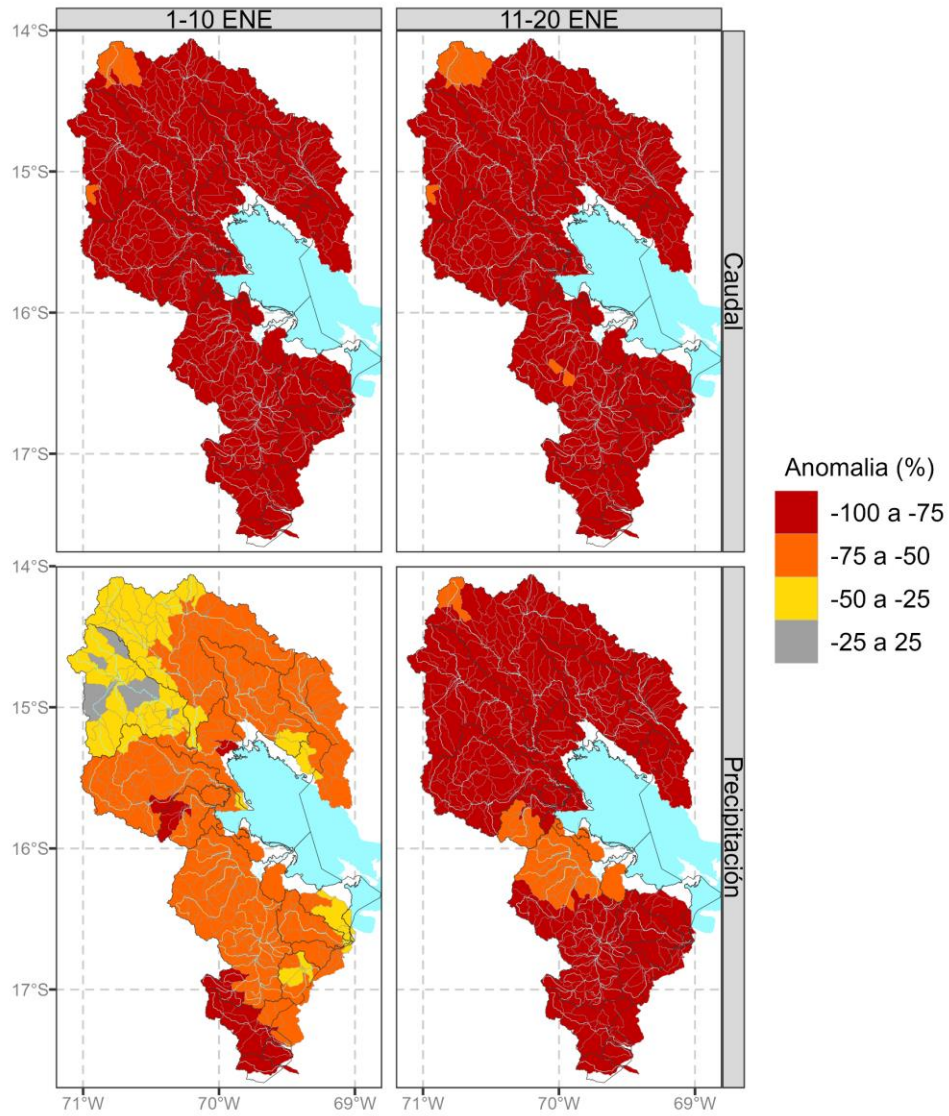


Figura 3. Anomalías de caudal y lluvia para la primera y segunda decaria de enero 2023 en la RHT

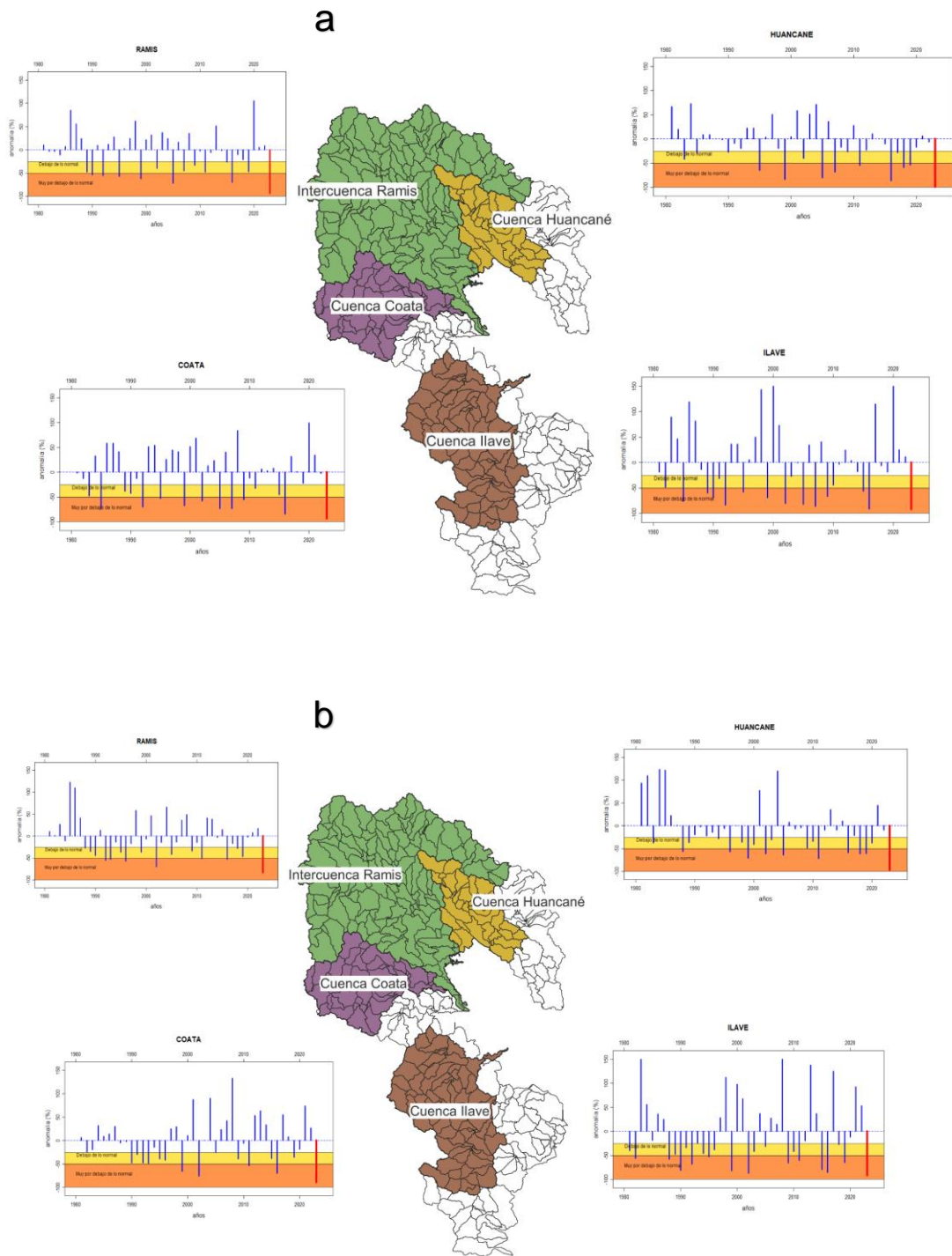


Figura 4. Anomalía de caudal decadiario en el periodo 1981-2023. a) primera, b) segunda. Línea color rojo pertenece a decadiaria de enero del 2023

Tabla 4. Anomalías de caudales (%) 1era y 2da decadiaria de Enero en el período 1981-2023

Años	Ramis	Ilave	Coata	Huancané	Ramis	Ilave	Coata	Huancané
	1 al 10 de Enero (%)				11 al 20 de Enero (%)			
1981	10.51	-39.62	6.26	93.55	10.35	-18.25	-1.85	66.61
1982	1.21%	-55.88	-24.41	109.49	-3.22	-48.65	-12.59	19.56
1983	26.38	150.00	-19.05	-37.39	-3.13	89.43	-47.62	-41.74
1984	-11.15	55.70	31.45	122.96	-10.53	46.78	32.93	72.88
1985	122.27	-18.83	9.04	121.31	6.66	-76.01	-73.60	-28.49
1986	109.56	36.42	13.72	22.22	84.79	118.61	58.39	8.94
1987	41.40	25.22	30.32	1.37	55.42	80.99	58.70	8.38
1988	-27.44	-57.49	-4.83	-56.11	24.55	-13.33	41.01	0.59
1989	-34.47	-47.93	-2.17	-36.59	-47.58	-59.72	-38.11	-1.71
1990	-44.11	-80.53	-47.77	-19.69	-53.23	-69.20	-42.74	-27.25
1991	12.79	-33.59	-29.63	-2.27	9.53	-31.56	-12.20	-9.38
1992	-55.62	-68.53	-47.80	-22.26	-55.59	-83.14	-69.79	-19.47
1993	-53.07	-24.71	-48.25	-14.50	11.92	36.10	51.82	22.66
1994	-13.42	-45.70	-14.54	-27.98	27.29	36.19	54.20	22.61
1995	-36.28	-52.60	-39.27	-5.89	-56.58	-57.53	-52.61	-64.35
1996	-57.11	-37.82	-41.93	-56.84	2.80	5.60	25.74	3.93
1997	-17.26	28.16	24.88	0.23	23.94	50.10	44.82	50.69
1998	58.40	112.49	28.92	-35.54	61.60	142.93	41.12	-19.50
1999	-36.37	-81.70	-65.88	-70.68	-62.08	-69.00	-66.84	-83.29
2000	-6.31	97.56	10.70	-40.51	21.68	150.00	51.63	4.23
2001	46.02	68.06	87.37	77.02	31.68	73.11	68.84	58.13
2002	-69.63	-86.52	-75.47	-61.53	-40.33	-80.25	-57.82	-39.91
2003	-14.17	-41.81	-0.19	-30.10	36.59	-27.52	13.06	51.62
2004	65.76	36.85	90.01	119.58	23.87	-0.49	23.04	71.44
2005	-41.64	-31.37	-25.55	-64.10	-71.72	-81.68	-73.11	-80.19

Años	Ramis	Ilave	Coata	Huancané	Ramis	Ilave	Coata	Huancané
	1 al 10 de Enero (%)				11 al 20 de Enero (%)			
2006	-13.36	27.96	23.54	7.56	16.81	34.37	40.11	36.02
2007	36.44	14.57	42.38	-6.40	-45.30	-86.35	-73.51	-68.14
2008	48.93	150.00	132.85	-3.89	34.85	40.10	84.11	-16.50
2009	-33.94	-65.43	-38.80	-48.83	-33.09	-66.36	-55.67	-25.83
2010	-14.33	-41.27	-5.89	-34.17	-1.99	-44.52	-11.44	27.47
2011	-50.62	-60.54	-53.76	-71.57	-47.91	-2.93	-32.32	-54.55
2012	41.39	-19.08	53.28	-8.82	-5.47	24.29	6.36	-22.57
2013	38.63	137.51	63.15	34.90	51.46	3.22	3.21	10.44
2014	-3.34	36.56	33.15	-9.17	-1.50	-17.60	7.76	-0.14
2015	14.72	-78.79	-38.57	10.81	-25.94	-56.00	-44.81	-10.10
2016	-52.71	-85.30	-70.02	-58.97	-69.51	-91.29	-84.01	-85.62
2017	-16.83	124.72	54.93	-21.42	-10.03	114.37	31.78	-28.14
2018	-28.19	-27.08	8.27	-61.68	-21.03	-6.11	1.40	-58.78
2019	-47.14	-64.84	-35.53	-60.69	-46.70	-18.81	-22.23	-53.94
2020	-2.69	-12.02	-18.60	-37.22	105.66	150.00	99.23	-17.23
2021	7.56	92.73	73.73	44.96	5.39	25.12	34.60	6.53
2022	17.34	53.35	26.54	-8.97	8.60	11.54	-2.26	-5.51
2023	-82.74	-91.51	-88.40	-96.28	-93.62	-79.27	-92.69	-98.54

Pronóstico de caudales

El pronóstico estacional de caudales fue obtenido a través de la simulación hidrológica con el modelo semidistribuido GR2M a escala nacional, a partir de los pronósticos estacionales de precipitación¹ utilizados como variable de ingreso al modelo, para más detalle, ver (<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02694SENA-29.pdf>).

¹ El pronóstico estacional del SENAMHI se basa en el análisis (consenso) de herramientas estadísticas, así como en los pronósticos de los modelos globales, con la participación de especialistas del SENAMHI (Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental atmosférica y las Direcciones Zonales)

La **Figura 5** muestra el pronóstico de caudales mensuales del río Huancané y Ramis en el periodo enero 2023 - mayo 2023, los mismos que presentaría, en promedio un comportamiento hidrológico sobre lo normal con una variación mensual entre normal a sobre lo normal respecto a su promedio histórico para el primero, y un comportamiento normal, con una variación mensual entre debajo de lo normal a sobre lo normal respecto su promedio histórico para el segundo.

Es importante tener en cuenta que estas condiciones podrían variar ya que esta última previsión fue obtenida en diciembre del 2022. Cabe indicar que el pronóstico diario de caudales en estas cuencas considerando las previsiones de lluvia con horizonte de 3 días se actualiza diariamente en <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=pronostico-hidrologico>

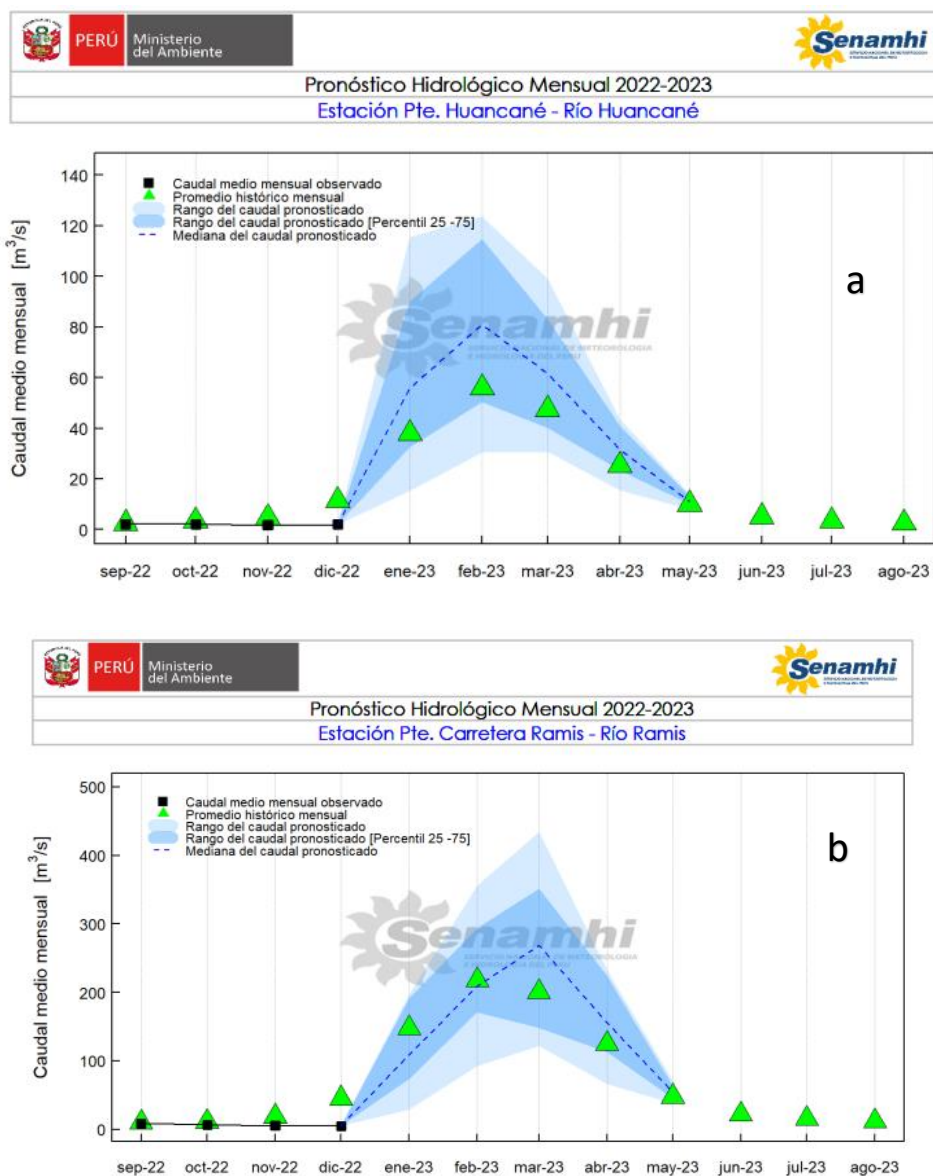


Figura 5. Hidrograma de caudales mensuales pronosticados a) río Huancané b) río Ramis.

Conclusiones

1. Los caudales de los ríos Ramis, Coata, Huancané e llave durante enero 2023 vienen registrando anomalías muy extremas en la categoría “muy por debajo de lo normal”. comparado con los años hidrológicos más extremos como 1991-1992, 2004-2005, 2015-2016. Con énfasis, en el río Ramis viene registrando los caudales más bajos desde 2004-2005, así mismo el río llave también registra los más bajo desde el año 2015-2016, como consecuencia del déficit de lluvia registrado durante el trimestre OCT, NOV y DIC y en lo que va de enero de 2023.
2. Los niveles de agua del Lago Titicaca desde el 1 de septiembre 2022 al 30 de enero 2023 presentan un descenso continuo y el más bajo de los últimos 20 años totalizando - 0.524 m correspondiente a un nivel de 8.515 m.
3. La AC y AP a nivel espacial en la segunda decadiaria de enero 2023 evidencia un aumento de las áreas afectadas con categoría “muy por debajo de lo normal” respecto a la primera decadiaria, ambos índices corresponden a un déficit de caudal y precipitación variables de -100% a -50% de anomalía en la RHT.
4. El análisis de AC a nivel temporal en las cuencas Huancané, llave, Ramis y Coata para las dos decadiarias de enero 2023 presentan categorías “muy por debajo de lo normal” respecto al periodo 1981-2023.
5. El pronóstico hidrológico estacional para el período Enero-Mayo 2023, presentarían un comportamiento de normal a sobre lo normal en el río Huancané y debajo de lo normal a sobre lo normal en estación en el río Ramis.
6. Se recomienda a la población y a los tomadores de decisión de los distintos sectores tomar previsiones a fin de reducir los impactos respecto al déficit de caudales presentados en la RHT.

Referencias

Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., & Huang, Y. (2013). A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23(1), 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.09.010>

SENAMHI. (2021h). Glosario de términos relacionados a sequías, gestión del riesgo y cambio climático. (Avalos G., K. Correa, K. Quevedo, C. Tello, S. Endara, J. Acuña, O. Varillas, G. Romero, K. Cristóbal). Proyecto Pachayatiña/Pachayachay. SENAMHI-HELVETAS- PREDES.

SENAMHI. (2023). Sistema de monitoreo y pronóstico de sequías hidrológicas (diciembre 2022). <https://hdl.handle.net/20.500.12542/2599>

Links importantes:

OASIS: https://idesepe.senamhi.gob.pe/oasisweb/servicio/mapa_pronostico/399/

Boletín de sequías: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=monitoreo-pronostico-sequias>

Condiciones hidrológicas a nivel nacional: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=monitoreo-hidrologico>

Pronóstico Hidrológico: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-hidrologico>

Director de Hidrología

Oscar Felipe Obando
ofelipe@senamhi.gob.pe

Subdirector de Estudios e Investigaciones Hidrológicas (SEH)

Waldo Lavado
wlavado@senamhi.gob.pe

Director Zonal 13

Sixto Flores
sflores@senamhi.gob.pe

Redacción, Compilación y Figuras:

Dirección de Hidrología

Sofía Endara, Julia Acuña, Leonardo Gutierrez, César Pantoja & Waldo Lavado

Zonal 13

Emily Quispe

Portada: Miriam Casaverde