

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DEL PERU A NIVEL MULTIANUAL

M.Sc. Ing. JUAN JULIO ORDOÑEZ GALVEZ* , Ing. HECTOR VERA ARÉVALO**

* Director General de Hidrología y Recursos Hídricos del SENAMHI

** Profesional de la Dirección de Hidrología Aplicada del SENAMHI

RESUMEN

El estudio de la disponibilidad de agua en el Perú, desarrollado por el SENAMHI a través de la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos, en base al análisis de la información de precipitación, temperatura y caudal, nos permite conocer su distribución y variabilidad espacial y temporal, como una primera etapa.

El análisis de cuanta agua hay en el Perú, implica cuantificar las entradas (precipitación) y las salidas (evapotranspiración), lo que nos lleva a realizar una diferencia entre ellas para conocer la disponibilidad de agua. Para la evapotranspiración se utilizó el método de Thornthwaite.

Se ha determinado que la disponibilidad de agua en la vertiente del: Pacífico es de 16,42 mm, en el Atlántico es de 2696,56 mm y en el Titicaca es de 129,85 mm, lo que nos indica el pobre aporte de precipitaciones que registra la costa peruana y sin embargo en ella se sustenta la actividad agrícola del país.

El estudio pretende ser un herramienta técnica que apoye la planificación integral de la disponibilidad de agua a nivel espacial y temporal; en apoyo a los diferentes sectores productivos usuarios de este recurso.

SUMMARY

The study of the water availability in the Peru, developed by the SENAMHI through the Main directorate of Hydrology and Hydric Resources, on the basis of the analysis of the information of precipitation, temperature and volume, allows us to know its distribution and space and temporary variability, like one first stage.

The analysis of whichever water has in Peru, implies to quantify the entrances (precipitation) and the exits (evapotranspiration), which takes to us to make a difference among them to know the availability water. For evapotranspiration I am used the method of Thornthwaite.

One is determining that the water availability in the slope of: Pacífico is of 16.42 mm, in the Atlantic is of 2696.56 mm and in the Titicaca it is of 129.85 mm, which indicates the poor precipitation contribution to us that registers the Peruvian coast and nevertheless in her the agricultural activity of the country is sustained.

The study tries to be a technical tool that supports the integral planning of the availability of water at space and temporary level; in support to the different usuary productive sectors from this resource.

I.- INTRODUCCIÓN:

Durante su vida sobre la tierra el hombre ha sido testigo, muchas veces sin entenderlo, del desarrollo del ciclo del agua en la naturaleza. La distribución de los climas, la formación de las nubes y su inestabilidad, la producción de las lluvias, la variación de los niveles de los ríos, y el almacenamiento de agua en depósitos superficiales o subterráneos son temas en cuyo estudio se ha venido profundizando a lo largo de los años, conformando una rama de la física que se conoce como Hidrología.

La necesidad de conocer la distribución y disponibilidad del recurso hídrico a nivel nacional, nos llevo a plantear y desarrollar el Balance Hídrico Superficial del Perú, que se sustenta en conocer cuanta del agua precipitada desde la atmósfera; llega a la superficie terrestre y genera escurrimiento superficial directo.

El Balance Hídrico, que relaciona las variables de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento superficial, ha sido determinado a una escala temporal anual; cuyo periodo de registro esta entre 1969 - 2000 (32 años).

II.- OBJETIVO:

Determinar la disponibilidad de agua superficial en el Perú, para lo cual se desarrollará el estudio del Balance Hídrico Superficial a nivel Multianual, a través de la evaluación y caracterización de las variables que gobiernan el Ciclo Hidrológico.

III.- REVISION BIBLIOGRAFICA

La necesidad de conocer en forma cualitativa y cuantitativa la disponibilidad y distribución del recurso hídrico superficial, en el territorio nacional, conlleva a realizar una evaluación del sistema hidrológico; que se caracteriza por (Estrela, 1992):

- ↴ *Su estructura, que determina su capacidad para contener y conducir agua: constituido por la red fluvial y los acuíferos,*
- ↴ *Las aportaciones de origen interno, procedentes de las precipitaciones,*
- ↴ *Las cantidades de aguas presentes en forma de almacenamiento,*
- ↴ *Las transferencias de agua: sistemas de transvases y abastecimiento.*

Balance Hídrico: *Las entradas a la ecuación detallada de balance hídrico comprenden la precipitación total (P), como lluvia y nieve que alcanza el terreno, y las importaciones de agua exteriores al sistema, superficial (Ims) y subterráneas (Ima). Las salidas incluyen la evapotranspiración (ET) y los flujos superficial (A) y subterráneo (F) que salen de los límites de la cuenca (Estrela, 1992).*

Ciclo Hidrológico: *Se entiende como tal al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) en su forma (agua superficial, sub-superficial, subterránea, etc.) (Chereque, 1989).*

Sistema Hidrológico: *Los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema (Guevara y Cartaya, 1991).*

Precipitación: Se llaman precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc) y sólida (nieve, granizo, etc) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc). Ellos son provocados por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico (Musy, 2001).

Evapotranspiración: Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas (Martelo, 1986)

IV.- ASPECTOS GENERALES

4.1 Ubicación



Figura 4.1: Mapa del Perú

Fuente: <http://congreso.gob.pe/peru/divpol.html>

El territorio Peruano se localiza en el Hemisferio Sur, en el sector centro occidental de América del sur con sus costas bañadas por las aguas del Océano Pacífico, extendiéndose al continente Antártico por factores geográficos, ecológicos y por antecedentes históricos. Este territorio está comprendido dentro de la zona intertropical del hemisferio sur, esto es entre los dos principales paralelos que son: la Línea Ecuatorial y el Trópico de Capricornio.

El territorio peruano abarca una superficie total de 1'285 215,6 km² que incluyen las Islas y la parte peruana del Lago Titicaca. Además, tiene soberanía y jurisdicción sobre una franja de 200 millas (371 km² del Mar Pacífico Peruano) del Océano Pacífico (Figura 4.1)

El territorio Peruano puede dividirse en cuatro grandes regiones naturales (tres continentales y una marina), tal como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Características de las regiones naturales del Perú

Región	Altitud (m)	Temperatura Media Anual (°C)	Precipitación Media Anual (mm)
Costa	0 - 500	18 a 20	40
Sierra	500 - 6 780	8 a 11	600
Selva	400 - 1 000	24	3 000 a 4 000

Es el tercer país de América del Sur después de Brasil y Argentina, figura entre las 20 naciones más grandes del mundo. Perú también tiene derechos territoriales sobre un área de 60 millones de hectáreas en la Antártida.

V.- APROVECHAMIENTO SECTORIALESPECTOS GENERALES

El consumo nacional de agua está constituido por el aprovechamiento consuntivo que alcanza los 20 072 MMC/año y; como aprovechamiento no consuntivo o energético 11 139 MMC/año. Los aprovechamientos consuntivos más importantes a nivel nacional corresponden al sector agrícola con el 80%, poblacional e industrial con el 18% y el sector minero con el 2% restante. El aprovechamiento de los recursos hídricos para diversas actividades como generación de energía, agricultura, agua potable, industria entre otros, son los que generan presión sobre la disponibilidad y calidad del recurso (Minag, 2005).

Entre las demandas identificadas a nivel nacional tenemos: Agricultura y Riego, Poblacional, Minero, Industria, Energético, Aguas Subterráneas, Pesquería,

V.- MATERIALES:

5.1 Area de estudio

El Perú se asienta en la costa oeste del continente sudamericano, frente al Océano Pacífico y entre la línea del Ecuador y la del Trópico de Capricornio, y es un estado andino que se encuentra situado entre las 81° 19' 35" y 68° 30' 11" de longitud Oeste, y desde los 0° 01' 48" a 18° 21' 05" de latitud Sur. Limita al norte con Ecuador, en una extensión de 1 529 km. de frontera, y con Colombia en 1506 km. de frontera; al sur con Chile, en una extensión de 169 km. de frontera; al este con Brasil, en una extensión de 1047 km. de frontera, y al oeste sus costas son bañadas por el Océano Pacífico, en una extensión de 3080 km.

Tabla 5.1: Vertientes hidrográficas

Vertiente	Area (km ²)	Número de Cuenca
Pacífico	200 517	53
Atlántico	1'046 962	40
Lago Titicaca	37 736	9
Total	1'285 215	106

5.2 Información requerimiento

Esta referida básicamente a la cartografía digital y data hidrológica y meteorológica necesaria para describir las principales características de las variables de precipitación, temperatura y caudal, a través de la selección de una red de estaciones hidrometeorológica cuya densidad cubra el territorio nacional.

↴ 87 estaciones hidrológicas, 138 estaciones sinópticas, 17 estaciones climatológicas principal, 08 estaciones de propósitos específicos, 100 estaciones pluviométricas.

5.3 Metodología

El desarrollo del estudio, fue estructurado en dos fases: una fase de campo y una de gabinete, las que se interrelacionan entre si de tal manera que nos permita esquematizar el sistema hidrológico del territorio peruano y comprende su funcionamiento a nivel espacial y temporal.

↴ Trabajo de Campo: Esta basado básicamente en las comisiones de servicio que realiza la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos del

SENAMHI, donde se vienen evaluando las condiciones hidrológicas de los principales ríos del Perú. Además de los trabajos que se vienen desarrollando en la elaboración del Balance

- ↓ Trabajo de Gabinete: Corresponde el procesamiento automático de la información recopilada de la red de estaciones seleccionada y que ha sido proporcionada por la Oficina General de Estadística e Informática del SENAMHI, para lo cual se ha creado una base de datos para su almacenamiento y correspondiente análisis estadístico a las variables de precipitación, temperatura y caudal; a nivel mensual, y elaboración de los mapas temáticos y determinación del balance hídrico. Durante esta fase, se realizan los análisis del comportamiento y distribución espacial y temporal de las variables de precipitación, temperatura, caudal; así como la determinación de los gradientes pluviométrico y térmico. La pérdida de agua se determina con la cuantificación de la evapotranspiración, a través de la aplicación del método de Thornthwaite (1948).

5.4 Determinación del Balance Hídrico

La determinación del Balance Hídrico Superficial a nivel nacional, se realizó a una escala temporal multianual (1969/200), empleándose la expresión simplificada (2.2), que relaciona a las variables de Precipitación (P en mm), Evapotranspiración (ET en mm), Escurrimiento superficial (Esc en mm) y Cambio de Almacenamiento (ΔS en mm).

La ecuación que relaciona estas variables, para un análisis a nivel multianual está representada por la expresión algebraica siguiente:

$$Esc_i = PP_i - ET_i \quad (5.1)$$

IV.- RESULTADOS

El procesamiento y análisis de la precipitación, se inició con el proceso de consistenciado y homogenización de la serie histórica, completado de información y finalmente la determinación del gradiente pluviométrico. Permitido caracterizar y zonificar el régimen de precipitaciones a nivel nacional y por vertientes:

- ↓ Pacífico: varía entre 0 mm y 750 mm, promedio de 274,3 mm.
↓ Atlántico: varía entre 0 mm y 5500 mm, promedio de 2060,8 mm.
↓ Lago Titicaca: varía entre 0 mm y 1500 mm, promedio de 813,5 mm.

Los mismos procesos de análisis desarrollados para la precipitación, fueron aplicados para consistenciar y uniformizar el período para la temperatura, lo que ha permitido conocer la distribución espacial y temporal del comportamiento térmico para las tres vertiente hidrográficas:

- ↓ Pacífico: varía entre -6 °C y 22 °C, promedio de 16,61 °C.
↓ Atlántico: varía entre -6 °C y 26 °C, promedio de 23,00 °C.
↓ Lago Titicaca: varía entre -6 °C y 14 °C, promedio de 8,91 °C

El régimen de caudales, analizados en el presente estudio, se concentro en la vertiente del pacífico, la cual cuenta con estaciones hidrométricas equipadas para realizar aforo, mientras que en la vertiente del Atlántico sólo se cuenta con estaciones que registran variación de niveles de agua, por lo cual se ha realizado un análisis regional que permita generar valores en función del área de recepción en las principales cuencas amazónicas, lográndose de esta manera caracterizar el régimen hídrico superficial:

- ↴ Pacífico: varía entre 0 mm y 650 mm, promedio de 168,10 mm.
- ↴ Atlántico: varía entre 0 mm y 3850 mm, promedio de 1742,00 mm.
- ↴ Lago Tititcaca: varía entre 0 mm y 250 mm, promedio de 89,00 mm.

Para conocer la pérdida de agua por efectos de la evaporación y transpiración, se ha seleccionado el método empírico de Thornwaite (1948), el cual permite conocer la distribución y comportamiento de esta variable a nivel espacial, en función de la temperatura media mensual y de un factor conocido como Número de horas sol máximo. Todo este proceso ha permitido caracterizar el régimen de la evapotranspiración para cada vertiente, obteniéndose lo siguiente.

- ↴ Pacífico: varía entre 500 mm y 1100 mm, promedio de 825,84 mm.
- ↴ Atlántico: varía entre 500 mm y 1700 mm, promedio de 1343,76 mm.
- ↴ Lago Titicaca: varía entre 500 mm y 800 mm, promedio de 589,94 mm.

La determinación del Balance Hídrico Superficial, ha permitido conocer cual es la distribución y disponibilidad del recurso agua para cada una de las vertientes, obteniéndose lo siguientes:

- ↴ Pacífico: fluctúa entre 0 mm y 500 mm, promedio de 16,42 mm
- ↴ Atlántico: fluctúa entre 500 mm y 4500 mm, promedio de 2696,56 mm.
- ↴ Lago Titicaca.: fluctúa entre 0 mm y 500 mm, promedio de 129,85 mm.

De los resultados obtenidos, observamos que la vertiente del Pacífico es la que presenta la mayor deficiencia de escurrimiento superficial, y el de mayor demanda de agua; para atender a los diferentes sectores usuarios de este importante recurso. En la vertiente del Atlántico sin embargo sucedo todo lo contrario ya que la disponibilidad de agua superficial es la mayor en el territorio peruano, pero su demanda es mínima.

V.- CONCLUSIONES

- ↴ El aporte de precipitación promedio en las vertientes del Pacífico, Atlántico y Titicaca es de 274,3 mm, 2060,8 mm y 813,5 mm respectivamente.
- ↴ El régimen térmico en el territorio peruano, esta caracterizado por presentar un valor promedio en las vertientes del Pacífico, Atlántico y Titicaca es de: 16,61 °C, 23,0°C y 8,91°C respectivamente.
- ↴ La pérdida de agua por efecto de la evapotranspiración a nivel promedio en las vertientes del Pacífico, Atlántico y Titicaca es de: 825,84 mm, 1343,76 mm y 589,94 mm respectivamente.
- ↴ La disponibilidad de agua superficial en el Perú, por vertientes es de: Pacífico 16,42 mm, Atlántico 2696,56 mm y Titicaca 129,85 mm respectivamente.

VI.- BIBLIOGRAFÍA

- CHEREQUE, M. OW, V., 1989.** *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*, Pontificia Universidad Católica del Perú, obra auspiciada por CONCYTEC. Lima, Perú, 223 pp.
- ESTRELA, T., 1992a.** *Metodología y Recomendaciones para la Evaluación de Recursos Hídricos*. Centro de Estudios Hidrográficos.- Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación, Madrid, España. 52 p.
- GUEVARA, E. y CARTAYA, H. 1991.** *Hidrología. Una introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada*. GUECA EDICIONES. Valencia, Venezuela, 358 p.
- INRENA, 2005.** *Mapa de Regiones Naturales – Recursos Naturales*. Portal Agrario del Ministerio de Agricultura.
http://www.portalagrario.gob.pe/rnn_mapa.shtml
- MARTELO, M. T., 1986.** *Contribution à l'étude comparative des méthodes de l'évapotranspiration sur base du coefficient d'utilisation de l'eau (apliqueé au Venezuela)*. Tesis Maestría. Arlon, Bélgica. 62 p.
- MINAG, 2000.** *Ley forestal y de fauna silvestre – Ministerio de Agricultura – Perú*.
- MUSY, ANDRÉ, 2001.** *Cours "Hydrologie générale"* . Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capoitulo 3. La precipitación.
<http://dgrwww.epfl.ch/HYDRAM/e-drologie/>
- THORNTHWAITE, C.W. 1948.** *An approach toward a rational classification of climate*. *The Geogr. Rev.* 38:55-94.