

**Estudio hidrológico de una cuenca para la evaluación  
del potencial de una pico central hidroeléctrica en una  
zona rural**

**Hydrological study of a basin for the evaluation of the  
potential of a pico hydroelectric power station in a rural  
area**

Inés AberlÍ Nieves-Vilchez<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0001-6673-5331

Hiram Joshua Castillo-Infante<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0001-8206-6393

Josué Isac Carillo-Espinoza<sup>3</sup>, ORCID: 0000-0002-4241-2834

Noé Benjamín Pampa-Quispe<sup>4</sup>, ORCID: 0000-0001-8072-249X

<sup>1</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión,  
Lima, Perú, inesnieves@upeu.edu.pe

<sup>2</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión,  
Lima, Perú, hiramcastillo@upeu.edu.pe

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima,  
Perú, josuecarrilloe@upeu.edu.pe

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú/Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Barranca, Barranca, Perú, noepampa@upeu.edu.pe

Autor para correspondencia: Noé Benjamín Pampa-Quispe, noepampa@upeu.edu.pe

## Resumen

El objetivo del estudio fue estimar los escurrimientos promedio mensuales de una cuenca para el desarrollo de una pico central hidroeléctrica en un área rural-montañosa de la selva (Satipo) del Perú. Debido a la ausencia de datos hidrometeorológicos en cuencas montañosas y remotas en el Perú, una estimación hidrológica resulta indispensable para determinar el potencial hidroenergético en la cuenca de estudio. Primero se determinaron los parámetros geomorfológicos (de forma y de relieve) de la cuenca y, posteriormente, se realizó un análisis de precipitación tomando en cuenta los datos de 17 estaciones meteorológicas. Para verificar la homogeneidad de los registros pluviométricos, se realizó un análisis de consistencia mediante un análisis de dobles acumulaciones. Para estimar los caudales de la cuenca de estudio, a falta de información hidrométrica, se utilizó el método de transposición de caudal, en el cual se transportaron los caudales de la cuenca Orouhuari. Asimismo, se comprobó que las características geomorfológicas e hidrometeorológicas resultaran similares, para ello se realizó una prueba *t-test* para muestras independientes, con el fin de verificar la similitud en la precipitación anual

entre ambas cuencas. Finalmente, se puede concluir, las características geomorfológicas y el caudal regular durante todo el año en la cuenca Cashingari favorece el desarrollo de una pico central hidroeléctrica.

**Palabras clave:** caudal, precipitación, evaluación hidrológica, pico central.

### **Abstract**

The goal of the study was to estimate the average monthly runoff from a basin for the development of a pico hydropower in a rural-mountainous area of the jungle (Satipo) on Peru. Due to the lack of hydrometeorological data in hilly and remote basins in Peru, a hydrological estimate is essential to determine the hydroenergy potential in the study basin. First, the geomorphological parameters (shape and relief parameters) of the basin were determined and, subsequently, a precipitation analysis was made considering the data from 17 meteorological stations. To verify the homogeneity of the rainfall records, a consistency analysis was carried out using a double accumulation analysis. To estimate the flows of the study basin, in the absence of hydrometric information, the flow transposition method was used, in which the flows of the Ouhuari basin were transported. Likewise, it was verified that the geomorphological and hydrometeorological characteristics are similar, for this, a *t*-test was carried out for independent samples to verify the similarity in the annual precipitation between both basins. Finally, it can be concluded that the

geomorphological characteristics and flow regular throughout the year in the Cashingari basin are favoring the development of a pico hydropower.

**Keywords:** Flow, precipitation, hydrological assessment, pico hydroelectric power.

Recibido: 31/12/2018

Aceptado: 25/01/2021

## Introducción

La energía hidroeléctrica es una de las fuentes renovables más importantes para la producción de electricidad, pues es limpia y confiable. Este tipo de energía deriva de la caída del agua tanto de los ríos como de los arroyos que fluyen cuesta abajo a lo largo del curso del río debido a la fuerza de la gravedad; la energía asociada con el agua que fluye se conoce como energía cinética (Kusre, Baruah, Bordoloi, & Patra, 2010). Es por ello que la cantidad de hidroenergía generada está en función de la altura y el caudal de agua (Soulis, Manolakos, Anagnostopoulos, & Papantonis, 2016).

La mayoría de los estudios previos que evaluaron la generación potencial de energía mediante centrales hidroeléctricas a pequeña escala se enfocaron en regiones montañosas debido a que presentan una geografía empinada y los ríos proporcionan alturas naturales (Fujii *et al.*, 2017).

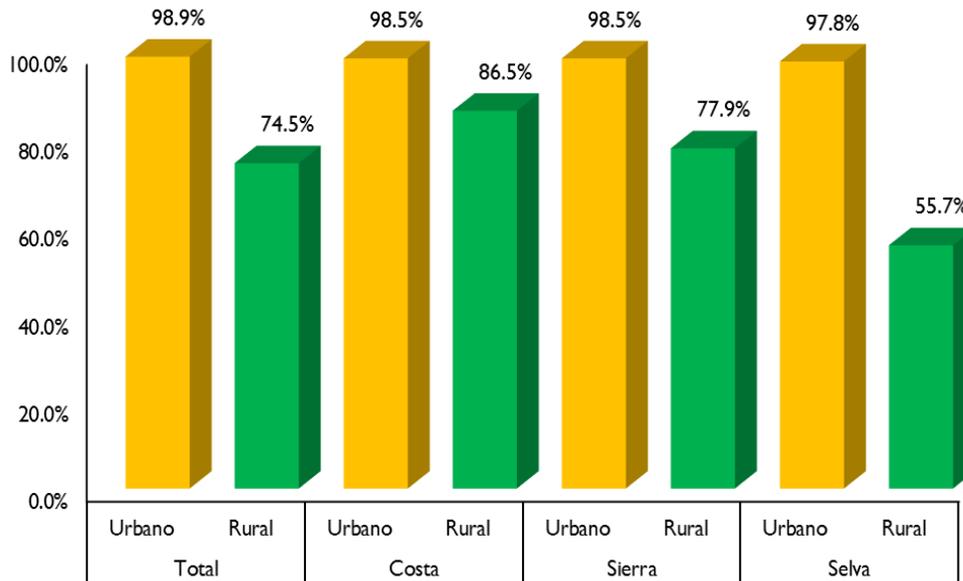
Las pico centrales hidroeléctricas que hacen referencia a las instalaciones con niveles de generación menores a 5 kW (Chouhan, Kisheorey, & Shah, 2017) normalmente es un sistema que se implementa en áreas rurales o montañosas (Uniyal, Kanojia, & Pandey, 2016); es la tecnología más rentable y confiable para producir electricidad fuera de la red (Edeoja, Ibrahim, & Kucha, 2015).

Para un proyecto hidroeléctrico a pequeña escala, los datos sobre los procesos hidrológicos son fundamentales tanto en el diseño como en la operación (Soulis *et al.*, 2016), pues tales datos se necesitan para la comprensión del comportamiento y características hidrológicas de una cuenca (Ezemonye & Emeribe, 2013); además, la evaluación precisa y confiable de los datos hidrológicos conduce a una planificación exitosa (Sidek *et al.*, 2013). Sin embargo, los estudios han demostrado que la recopilación de información precisa y consistente para la mayoría de las cuencas en los países en desarrollo es deficiente o inadecuada cuando están disponibles, lo cual representa un gran desafío para los servicios hidrológicos de cada país (Negrel, Kosuth, & Bercher, 2011). Este problema puede atribuirse a la ausencia general de estaciones de medición (Ezemonye & Emeribe, 2013) y también al coste que implica la generación de datos de descarga (Soulis *et al.*, 2016).

La ausencia de datos hidrológicos o información inexacta conduce a una falta de motivación para el desarrollo de la energía hidroeléctrica en países en desarrollo (Kusre *et al.*, 2010).

El caso del Perú no es la excepción, pues a pesar de estar entre los 20 países con mayor oferta hídrica en el mundo, que asciende a 77 534 m<sup>3</sup>/hab/año (Jimenez & Galizia, 2012), uno de los principales inconvenientes para la puesta en marcha de proyectos hidroenergéticos es la ausencia de información hidrometeorológica, que principalmente sucede en cuencas de zonas rurales.

Además, el Perú, a pesar de que es favorecido por la disponibilidad de fuentes de energía autóctonas, incluyendo de manera principal la energía hidráulica (Meier, Zolezzi, Bogach, Muir, & Bazex, 2011), aún tiene brechas de desigualdad con respecto al acceso al servicio de electricidad. Del área urbana, un 98.9 % tiene acceso y sólo un 74.5 % cuenta con servicio en el área rural; además, en la región selva, donde es más evidente la desigualdad, el área urbana tiene un 97.8 % de acceso a la electricidad frente al 55.7 % del área rural (Figura 1); esto presenta un gran desafío de electrificación rural para dicha zona del país (World Bank, 2017).



**Figura 1.** Acceso a la electrificación en el Perú (World Bank, 2017).

Por este antecedente, el objetivo del trabajo es realizar un estudio hidrológico de una microcuenca para el desarrollo de una pico central hidroeléctrica en una zona rural-montañosa de la selva central del Perú, con el fin de brindar energía eléctrica.

## Materiales y métodos

## Parámetros geomorfológicos

Los parámetros geomorfológicos desempeñan un papel muy importante en el estudio del comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas (Gavit, Purohit, Singh, Kothari, & Jain, 2016). Para ello, se determinaron los parámetros generales, parámetros de forma y parámetros de relieve.

**Parámetros generales.** A través del Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante el *software ArcGis* (v. 10.2), se determinaron las características generales de la microcuenca Cashingari, entre las que se encuentran área, perímetro y longitud del cauce principal.

**Parámetros de forma.** Los parámetros de forma influyen en el tiempo necesario para que el agua de la parte remota de la cuenca llegue a la salida de la misma (Bilewu, Sule, & Ayanshola, 2015), para ello se mide cuantitativamente a través de varios factores, como coeficiente de compacidad, factor de forma, índice de elongación, índice de circularidad y rectángulo equivalente; las ecuaciones utilizadas para cada parámetro de muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros de forma.

Parámetros	Ecuaciones	Nomenclatura
------------	------------	--------------

Coeficiente de compacidad	$Cc = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	$P$ = perímetro de la cuenca (km) $A$ = área de la cuenca (km <sup>2</sup> )
Factor de forma	$FF = \frac{A}{L^2}$	$A$ = área de la cuenca $L$ = longitud del cauce principal
Índice de elongación	$R_e = 1.129 \frac{\sqrt{A}}{L}$	$A$ = área de la cuenca $L$ = longitud de la cuenca
Índice de circularidad	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	$A$ = área de la cuenca $P$ = perímetro de la cuenca
Rectángulo equivalente	$L, l$ $= \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2} \right]$	$L$ = longitud del lado mayor del rectángulo $l$ = longitud del lado menor del rectángulo $Kc$ = coeficiente de compacidad $A$ = área de la curva

**Parámetros de relieve.** Algunos parámetros de relieve se determinaron a través del *software ArcGis* (v. 10.2), como desnivel altitudinal, cota mínima, cota máxima, elevación media, coordenada del centroide  $X$ , coordenada del centroide  $Y$ . La pendiente de la cuenca se determinó a través de la ecuación mostrada en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Parámetros de relieve.

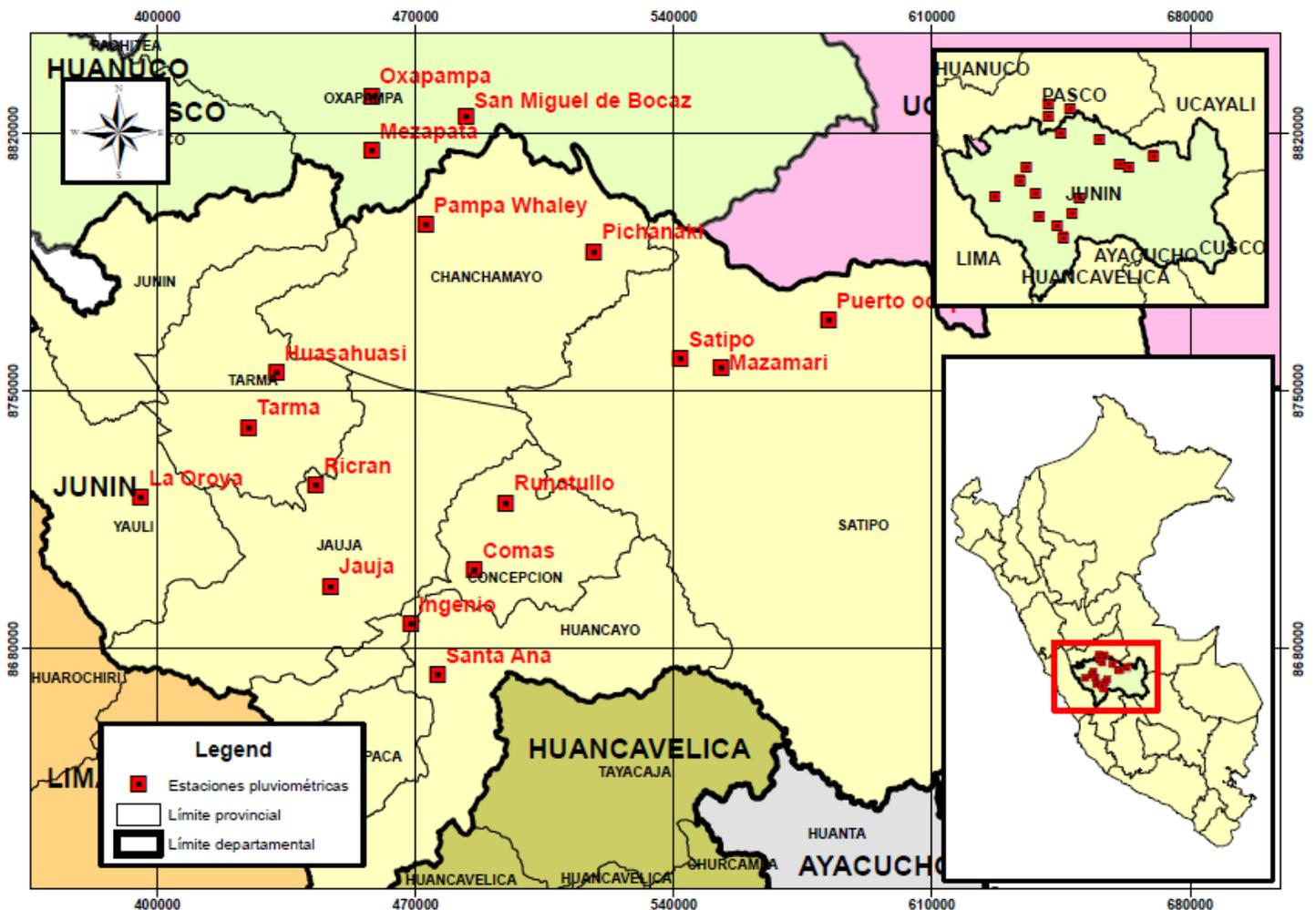
Parámetro	Ecuación	Leyenda
Pendiente de la cuenca (Sc)	$Sc = \frac{D}{A} \times \sum_{i=1}^{n-1} Li$	<p><math>D</math> = equidistancia o desnivel constante entre curas de nivel (km)</p> <p><math>A</math> = área de la cuenca (km<sup>2</sup>)</p> <p><math>Li</math> = longitud de la cura de nivel "i" (km)</p>

## Precipitación

**Red de estaciones.** Para la presente investigación se tomaron en cuenta 17 estaciones pluviométricas (Figura 2): Comas, Huasahuasi, Ingenio, Jauja, La Oroya, Mazamari, Mezapata, Oxapampa, Pampa Whaley, Pichanaki, Puerto Ocopa, Ricran, Runatullo, San Miguel de Bocaz, Santa Ana, Satipo y Tarma, las cuales tienen las siguientes características:

- La información histórica de precipitación total mensual y total anual de las estaciones está registrada por el Servicio Nacional de Meteorología Hidrología (SENAMHI).
- De las 17 estaciones elegidas, 11 pertenecen a la cuenca del río Perené; cuatro, a la cuenca del río Mantaro, y dos a la cuenca del río Pachitea.

- Las estaciones Huasahuasi, Tarma, Ricran, Comas y Runatullo se ubican en la parte alta de la cuenca del río Perené; las estaciones Mezapata, Pampa Whaley y Pichanaki en la cuenca media; y las estaciones Satipo, Mazamari y Puerto Ocopa en la parte baja de la cuenca.



**Figura 2.** Ubicación de las estaciones pluviométricas.

Las estaciones de donde se obtuvieron los datos pluviométricos, el periodo de registro y los años de registro se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Estaciones de registro.

<b>Estación</b>	<b>Periodo</b>	<b>Años de registro</b>
Comas	1995-2010	16
Tarma	1996-2010	15
Ronatullo	1993-2010	18
Huasahuasi	1996-2009	14
Pichanaki	2001-2010	10
Satipo	2001-2012	12
Puerto Ocopa	1964-1978, 1980-1982, 1999-2010	30
Oxapampa	2001-2010	10
San miguel de Bocaz	1964-1973	10
Pampa Whaley	1964-1969, 1971-1972 y 1977	9
Mezapata	1991-1997 y 1999-2003	12
Mazamari	1969, 1976-1977 y 1979-1980	5
Santa Ana	2000-2010	11

Ricran	2000-2010	11
La Oroya	2000-2010	11
Jauja	2000-2010	11
Ingenio	2000-2010	11

**Análisis de consistencia de precipitación.** Para el análisis de consistencia de los registros de precipitación se utilizó el método de análisis de dobles acumulaciones, muy usado para verificar la homogeneidad de registros pluviométricos; el fin de este análisis es detectar alguna irregularidad en las estaciones durante el tiempo de registro.

Para efectos del análisis de consistencia de las 17 estaciones, se formaron cuatro grupos, teniendo en cuenta la ubicación espacial (altitud) y el periodo de registro, como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Grupos formados para el análisis de consistencia.

<b>Grupo</b>	<b>Estaciones</b>	<b>Periodo de registro</b>
Grupo 1	Comas, Ronatullo, Santa Ana, Jauja e Ingenio	2000-2010
Grupo 2	Tarma, Huasahuasi, Ricran y La Oroya	2000-2009
Grupo 3	Pichanaki, Satipo, Puerto Ocopa y Oxapampa	2001-2010

Grupo 4	San Miguel de Bocaz y Pampa Whaley	1964-1969
---------	---------------------------------------	-----------

Las estaciones Mazamari y Mezapata no se tomaron en cuenta debido a que sus periodos de registro no presentan años en común.

**Precipitación de la cuenca.** Para determinar la precipitación aerial de la microcuenca Cashingari se utilizó el método de las isoyetas debido a que es el de mejor aproximación y representatividad al ingresar los efectos orográficos de la cuenca.

Para la construcción de las isoyetas a nivel total anual y medias mensuales se emplearon las 17 estaciones pluviométricas: Comas, Huasahuasi, Ingenio, Jauja, La Oroya, Mazamari, Mezapata, Oxapampa, Pampa Whaley, Pichanaki, Puerto ocopa, Ricran, Runatullo, San Miguel de Bocaz, Santa Ana, Satipo y Tarma.

Para determinar la precipitación total anual de la microcuenca se realizó la distribución de isoyetas cada 50 mm y para la precipitación mensual cada 10 mm. Aplicando la ecuación que se presenta a continuación, se obtiene la precipitación aerial:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right] x A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

donde:

$P_i$  = valor de precipitación de la isoyeta  $i$ .

$A_i$  = área incluida entre dos isoyetas consecutivas ( $i$  y  $(i + 1)$ ).

$n$  = número de isoyetas.

## Caudal promedio

Debido a la ausencia de información hidrométrica dentro de la cuenca Cashingari se determinaron los caudales promedios mensuales a través del método de regionalización de área de drenaje (transposición de caudales), que consiste en transferir los datos de caudal de una cuenca cercana con la cuenca de estudio (Fatoyinbo, Stretch, Amoo, & Allopi, 2017). Este método es más confiable cuando la proporción del área de drenaje entre ambas cuencas está dentro del rango de 0.5-1.5 (Fry, Hunter, Phanikumar, Fortin, & Gronewold, 2013).

Para determinar el caudal se deben conocer las áreas de la cuenca de estudio y la cuenca que tiene similares características; además, la precisión en la estimación del caudal dependerá de la proximidad y similitudes en el área de la cuenca, y demás características físicas y climáticas (Hortness, 2006).

Las condiciones similares que tienen que presentar ambas cuencas son hidrometeorológicas (precipitación, temperatura, humedad); para ello, con el fin de determinar que la precipitación es similar se realizó una

prueba *t-student* para muestras independientes a un nivel de confianza del 95 %. Asimismo, las características geomorfológicas (área, perímetro, elevación, pendiente, demás parámetros y coeficientes, etc.) deben ser similares. La ecuación para transponer los datos de caudal de una cuenca a otra se presenta a continuación:

$$Q_s = Q_c \times \left( \frac{A_s}{A_c} \right) \quad (2)$$

donde:

$Q_s$  = caudal de la cuenca sin información.

$Q_c$  = caudal de la cuenca con información.

$A_s$  = área de la cuenca sin información.

$A_c$  = área de la cuenca con información.

## Máximas avenidas

**Caudales de avenidas de la cuenca.** Para determinar los caudales de avenida de la microcuenca Cashingari se ha utilizado la ecuación envolvente de Creager, que para el caso específico del Perú ha sido adaptada por Wolfgang Trau y Raúl Gutierrez (Trau & Gutierrez, 1979) para

diferentes periodos de retorno, según las regiones y cuencas que integran. La ecuación de Creager es una de las más usadas y conocidas debido a que proporciona una estimación de la descarga máxima esperada en función del área de drenaje (De-Lima, Marcellini, Neill, & Salla, 2017):

$$Q_{\text{máx}} = (C_1 + C_2) \times \text{Log}(T) \times A^{m \times A^{-n}} \quad (3)$$

donde:

$$Q_{\text{máx}} = \text{caudal} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right).$$

$C_1$  = coeficiente de escala, adimensional.

$C_2$  = coeficiente de escala, adimensional.

$T$  = período de retorno (año).

$A$  = área de la cuenca ( $\text{km}^2$ ).

$m$  = exponente, adimensional.

$n$  = exponente adimensional.

De la ecuación descrita, los exponentes  $m$  y  $n$  determinan la forma y la pendiente de la curva, y los coeficientes  $C_1$  y  $C_2$  la escala de la curva. Los valores de los exponentes y coeficientes mencionados se muestran en la Tabla 5.

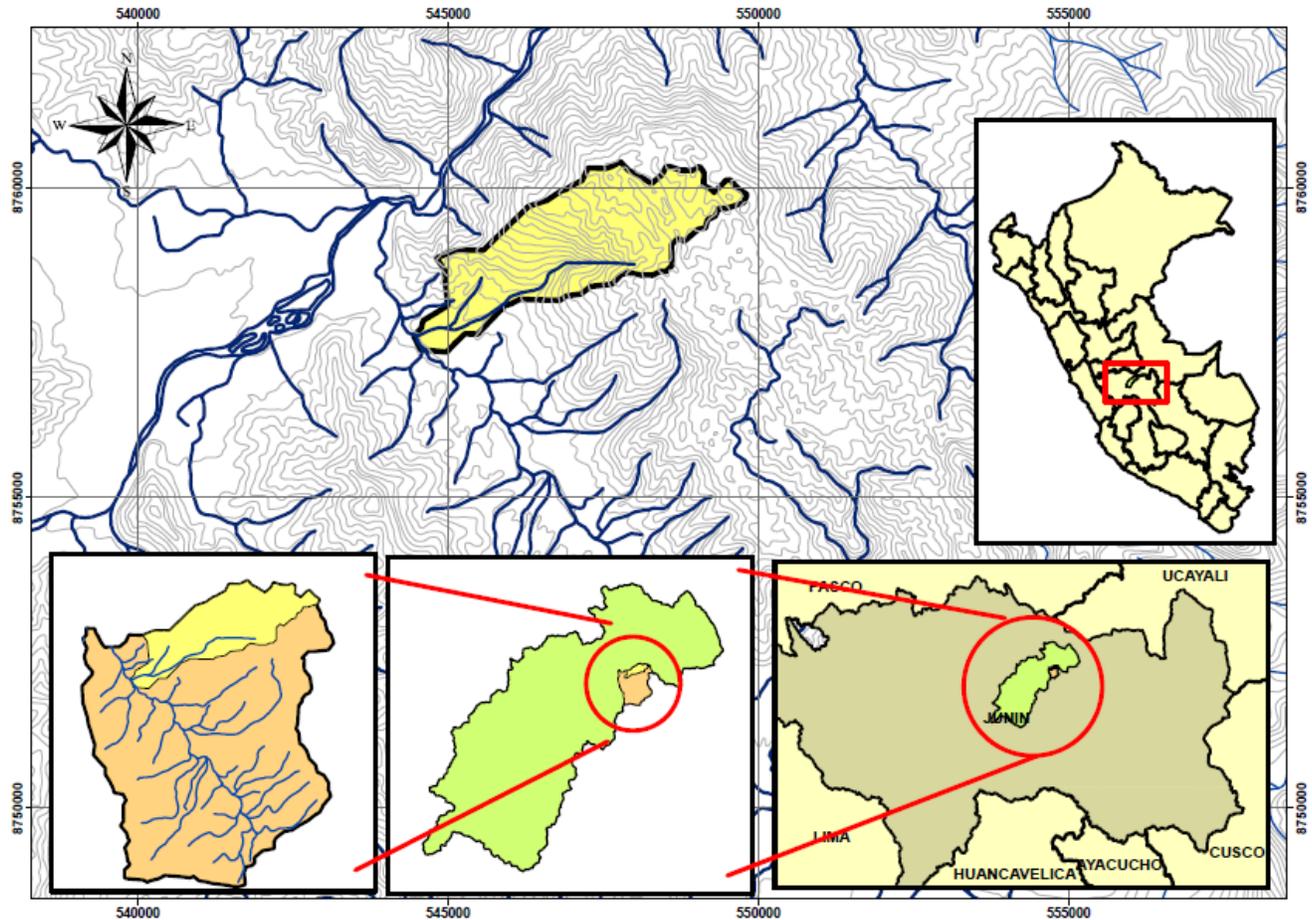
**Tabla 5.** Coeficientes y exponentes según región del Perú (Trau & Gutierrez, 1979).

<b>Región</b>	<b>Cuencas</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>m</b>	<b>n</b>
Costa norte (frontera)	Tumbes a Piura	1.01	4.37	1.02	0.04
Costa norte	Cascajal a Santa	0.10	1.28	1.02	0.04
Sierra norte	Alto Marañón	0.27	1.48	1.02	0.04
Costa central	Lacramarca a Camaná- Majes	0.09	0.36	1.24	0.04
Costa sur	Quilca a Caplina	0.11	0.26	1.24	0.04
Sierra central sur	Mantaro, Apurímac y Urubamba	0.18	0.31	1.24	0.04
Selva	Ucayali, Bajo Marañón, Madre de Dios y Amazonas	0.22	0.37	1.24	0.04

## Resultados

### Descripción de la cuenca

La microcuenca Cashingari está (Figura 3) dentro de la subcuenca Sanibeni y de la cuenca Satipo; como cuenca general se encuentra la cuenca del río Perené. El área de la microcuenca es de 6.82 km<sup>2</sup> y su longitud de 14.7 km; tiene como máxima elevación 1 593 msnm y como elevación mínima 597 msnm. La microcuenca Cashingari está clasificada como una cuenca muy pequeña debido a que su área es menor a los 25 km<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Ubicación de cuenca de estudio.

## Parámetros geomorfológicos de la cuenca

La **Tabla 6** muestra los parámetros geomorfológicos de la cuenca. Se pueden apreciar los parámetros de forma: coeficiente de compacidad

(1.89), índice de elongación (0.20) y factor de forma (0.44). Esto indica una figura alargada de la cuenca cuando el factor de forma es inferior a 1; existe una baja probabilidad de ocurrencia de avenidas (Reyes, **Barroso, & Carvajal**, 2010). Por otro lado, los parámetros de relieve muestran que la elevación media de la cuenca es de 1 144 msnm; la pendiente mediante el método de Alvord es del 42 %, y la pendiente del cauce principal es del 22 %.

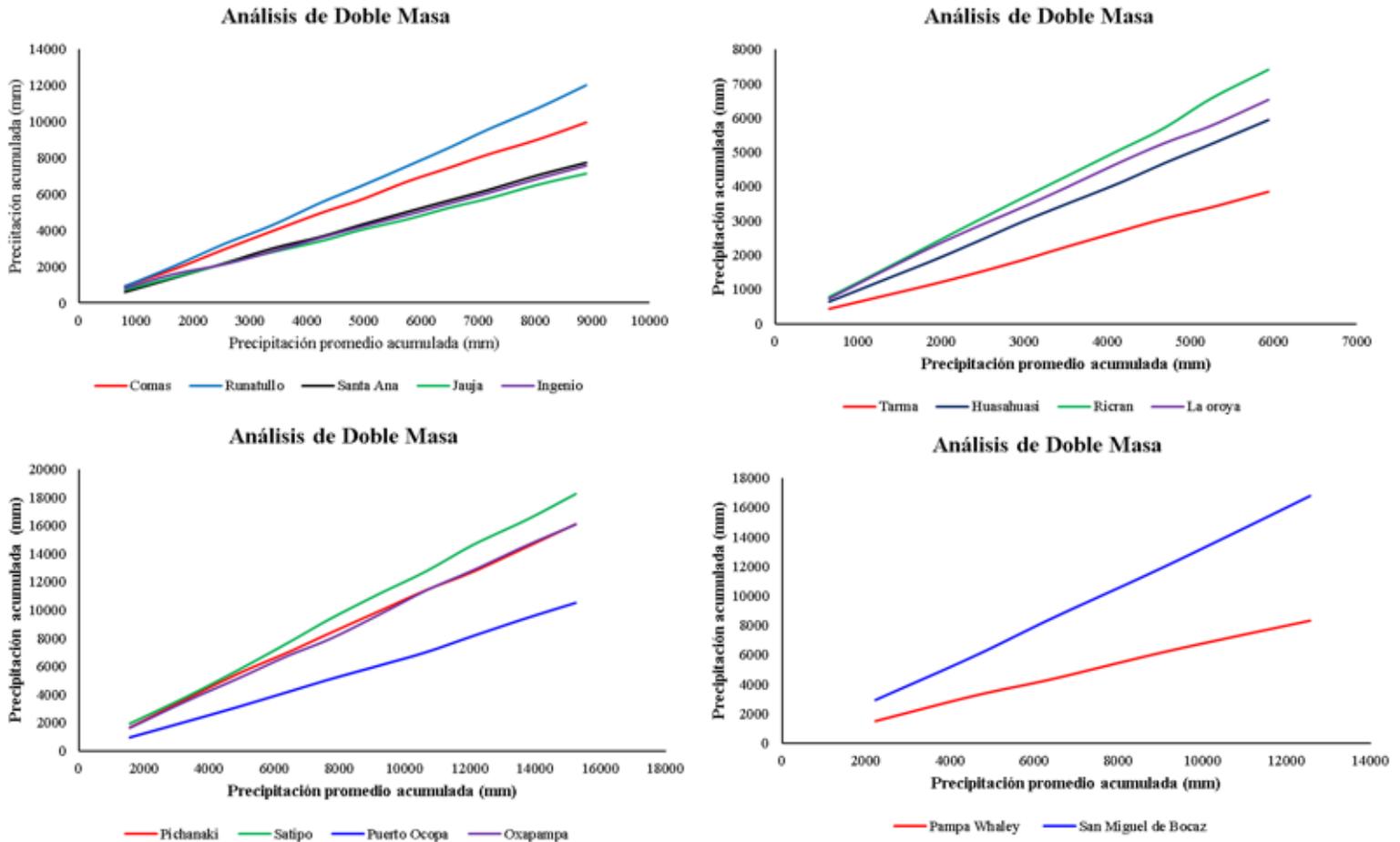
**Tabla 6.** Características geomorfológicas de la microcuenca Cashingari.

Tipo de parámetro	Parámetro	
Parámetros generales	Área	6.82 km <sup>2</sup>
	Perímetro	14.7 km
	Longitud del cauce principal	3.939 km
Parámetros de forma	Coeficiente de compacidad	1.89
	Factor de forma	0.44
	Razón de elongación	0.20
	Índice de circularidad	0.39
	Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente	7.89 km
	Longitud del lado menor del rectángulo equivalente	0.87 km

Parámetros de relieve	Desnivel altitudinal	996 m
	Cota mínima	597 msnm
	Cota máxima	1 593 msnm
	Elevación media	1 144 mnsn
	Coordenada del centroide X	547084
	Coordenada del centroide Y	8758966
	Pendiente de la cuenca (método de Alvord)	42 %
	Pendiente del cauce principal	22 %

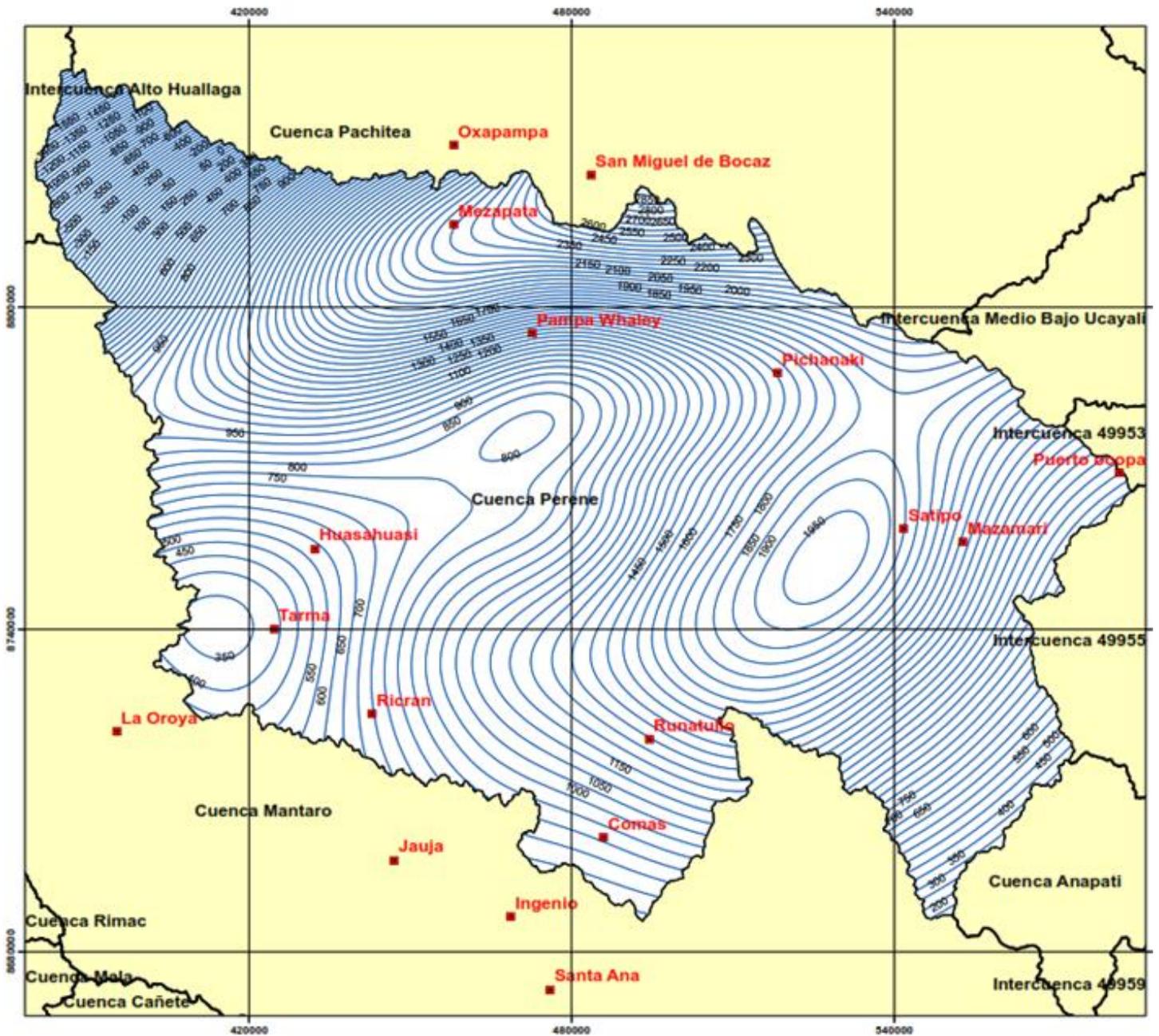
## Precipitación

**Análisis de consistencia de precipitación.** En la Figura 4 se observa la curva de doble masa de cada grupo, donde se pueden visualizar las gráficas entre la precipitación acumulada y la precipitación promedio acumulada de las estaciones según el grupo formado. Del análisis se observa que no existen saltos significativos y que las líneas generadas de las estaciones forman rectas invariables; esto confirma que las estaciones tienen registros homogéneos y son consistentes.



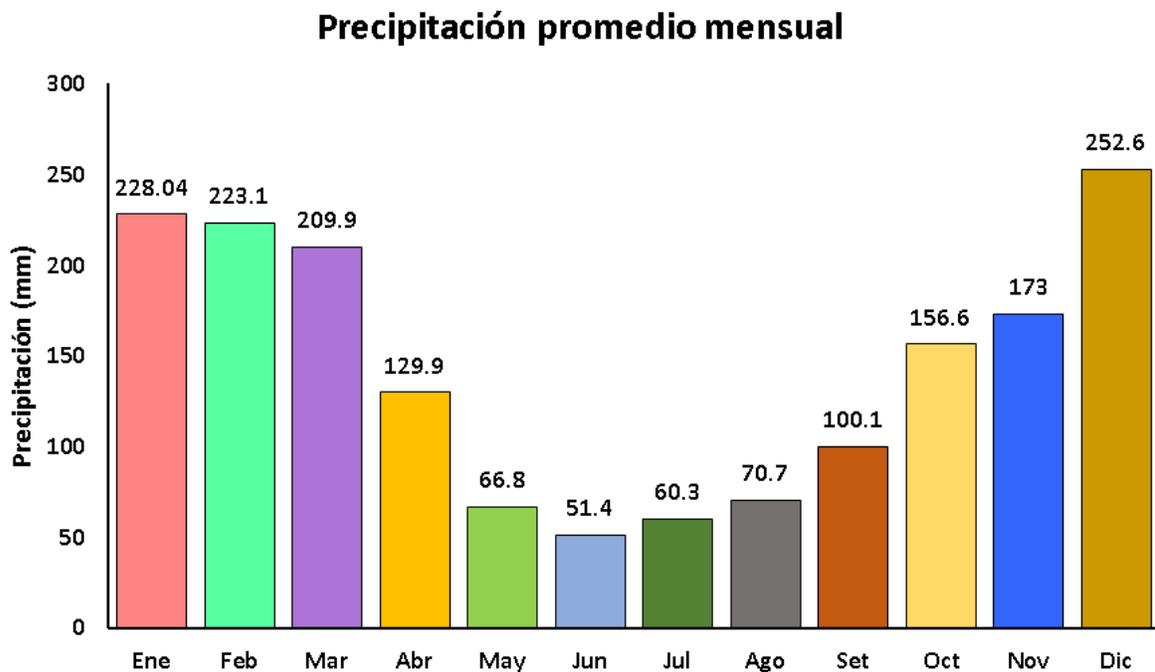
**Figura 4.** Análisis de doble masa.

**Precipitación de la microcuenca.** Mediante el método de las isoyetas se realizaron 12 distribuciones (enero a diciembre) cada 10 mm para la precipitación promedio mensual y cada 50 mm para la precipitación anual (Figura 5) de la cuenca del río Perené mediante el *software ArcGis*, para determinar la precipitación en la cuenca de estudio (Cashingari).



**Figura 5.** Mapa de isoyetas de la cuenca Perené para determinar la precipitación anual.

En la Figura 6 se muestra la precipitación mensual promedio de la microcuenca, donde el mes de mayor precipitación es diciembre, con 252.6 mm, mientras que el mes de junio (51.4 mm) es el más seco, con la menor precipitación.



**Figura 6.** Precipitación promedio mensual de la cuenca.

## Caudal promedio

**Características geomorfológicas.** La cuenca elegida para el método de transposición de caudales es la cuenca Ourohuari. Las características geomorfológicas e hidrometeorológicas entre ambas cuencas son similares y no existen variaciones significativas. Para verificar estas similitudes, se realizaron los respectivos análisis (Tabla 7).

**Tabla 7.** Comparación de las características geomorfológicas de las microcuencas Cashingari y Ourohuari.

Tipo de parámetro	Parámetro	Cuenca	
		Cashingari	Ourohuari
Parámetros generales	Área	6.82 km <sup>2</sup>	8.1 km <sup>2</sup>
	Perímetro	14.7 km	13.4 km
	Desnivel altitudinal	996 m	745 m
	Longitud del cauce principal	3.939 km	4.5 km
Parámetros de forma	Coefficiente de compacidad	1.89	1.33
	Densidad de drenaje	0.73	0.56
	Factor de forma	0.44	0.40
	Razón de elongación	0.20	0.24
	Índice de circularidad	0.39	0.57
	Cota mínima	597 msnm	675 msnm

Parámetros de relieve	Cota máxima	1 593 msnm	1 420 msnm
	Elevación media	1 144 msnm	1 042 msnm
	Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente	7.89 km	4.90 km
	Longitud del lado menor del rectángulo equivalente	0.87 km	1.60 km
	Pendiente de la cuenca (método de Alvord)	42 %	27 %

La proporción del área entre ambas cuencas está dentro del rango de 0.5-1.5; la diferencia entre la longitud de sus cauces principales es mínima, además, todos los parámetros de forma son similares, a excepción del coeficiente de compacidad, lo que demuestra que la cuenca Cashingari presenta una forma más alargada y la cuenca Ourohuari tiene una forma más redondeada, por ende, las características geomorfológicas entre las cuencas mencionadas son similares.

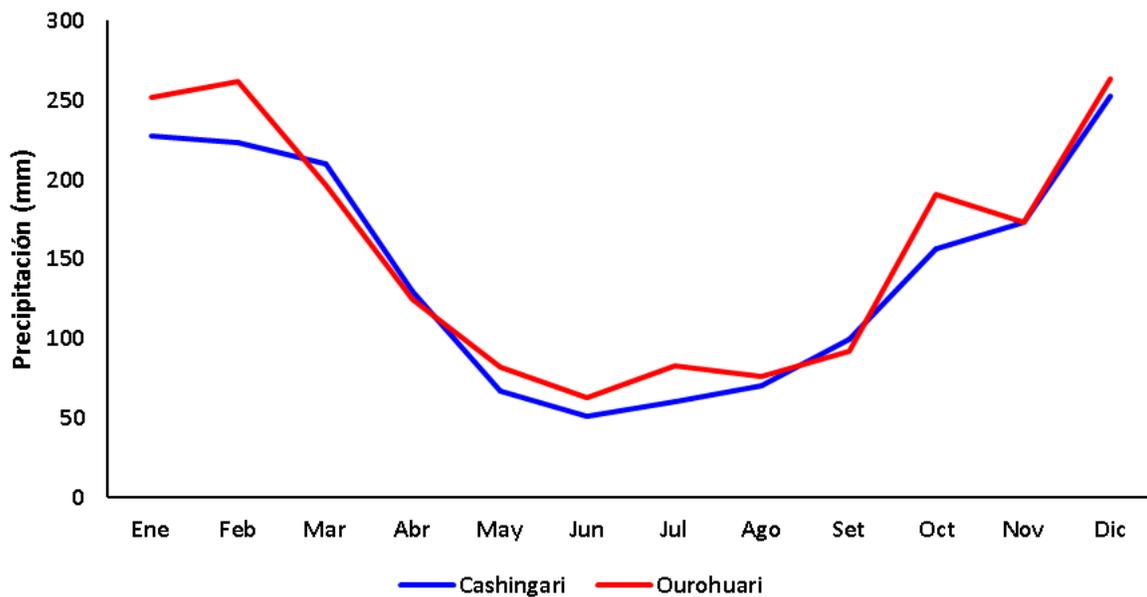
**Características hidrometeorológicas.** Los valores de precipitación promedio mensual de ambas cuencas se muestran en la Tabla 8, y el gráfico de la variación de precipitación total mensual se muestra en la Figura 6.

**Tabla 8.** Precipitación promedio mensual de las cuencas Cashingari y Ourohuari.

Meses	Precipitación (mm)	
	Cashingari	Ourohuari
Enero	228.04	251.9
Febrero	223.1	262.1
Marzo	209.9	196.7
Abril	129.9	125.2
Mayo	66.8	82.5
Junio	51.4	62.9
Julio	60.3	82.6
Agosto	70.7	76.4
Setiembre	100.1	92.0
Octubre	156.6	190.7
Noviembre	173.0	173.5
Diciembre	252.6	263.4
<b>Anual</b>	<b>1 723.09</b>	<b>1 860.0</b>

La Figura 7 muestra el comportamiento cinético de las precipitaciones del promedio mensual de las cuencas de Cashingari y Ourohuari, donde se observa para ambas cuencas un comportamiento similar; los meses de mayo a septiembre tuvieron menos de 100 mm de

precipitaciones; en enero, febrero y diciembre, las precipitaciones fueron de unos 250 mm.



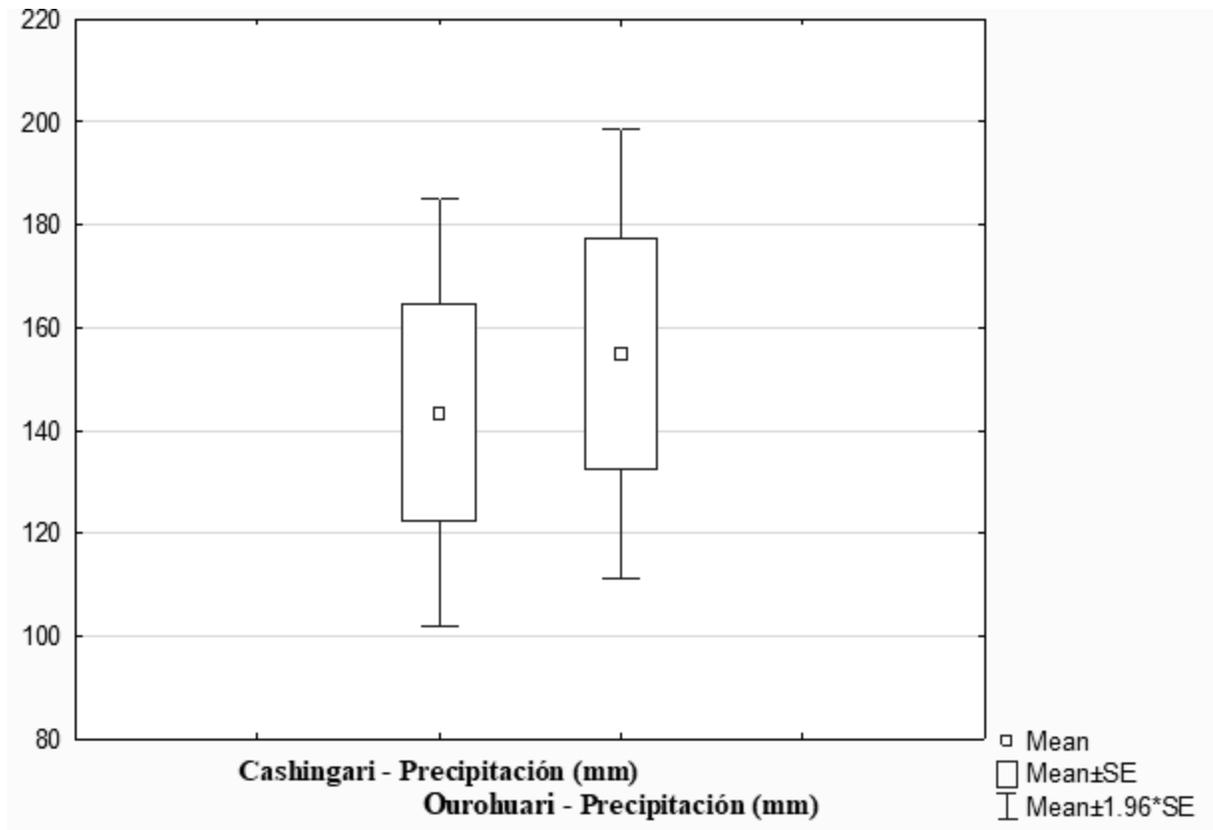
**Figura 7.** Variación de la precipitación promedio mensual entre la cuenca Cashingari y Ourohuari.

Se realizó una prueba *t-student* para muestras independientes, con el fin de comprobar si la precipitación promedio mensual (Tabla 9) entre las cuencas son relativamente similares. La cuenca Cashingari y la cuenca Ourohuari mostraron estadísticamente tener una distribución normal, con *P-value* de 0.193 y 0.071, respectivamente, a un nivel de confianza del 95 %.

**Tabla 9.** Prueba *t-student* para muestras independientes.

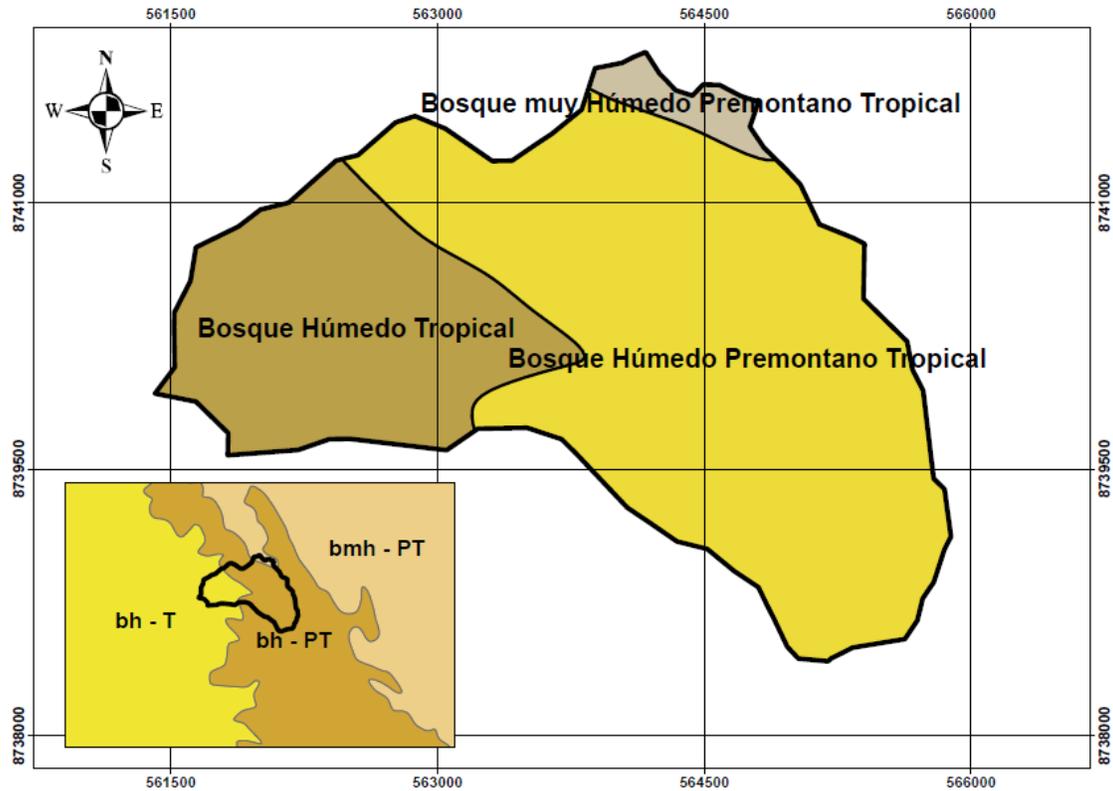
<b>Grupos (G) precipitación (mm)</b>	<b>t-test variables independientes</b>				
	<b>Media G1</b>	<b>Media G2</b>	<b>t-value</b>	<b>df</b>	<b>p-value</b>
Cashingari vs. Ourohuari	143.53	154.99	-0.371	22	0.7137

En la Tabla 9 se observa que con un *p-value* de 0.7137 superior al 0.05 trabajando con un nivel de confianza del 95 %, la precipitación entre la cuenca Cashingari y Ourohuari mostraron estadísticamente no significativo o similares con relación a la precipitación con un total de 22 de grados de libertad, considerando una muestra de 12 por cada cuenca. La Figura 8 muestra los diagramas de cajas que indican una similitud de las medias de precipitaciones de ambas cuencas en un periodo de 12 meses.

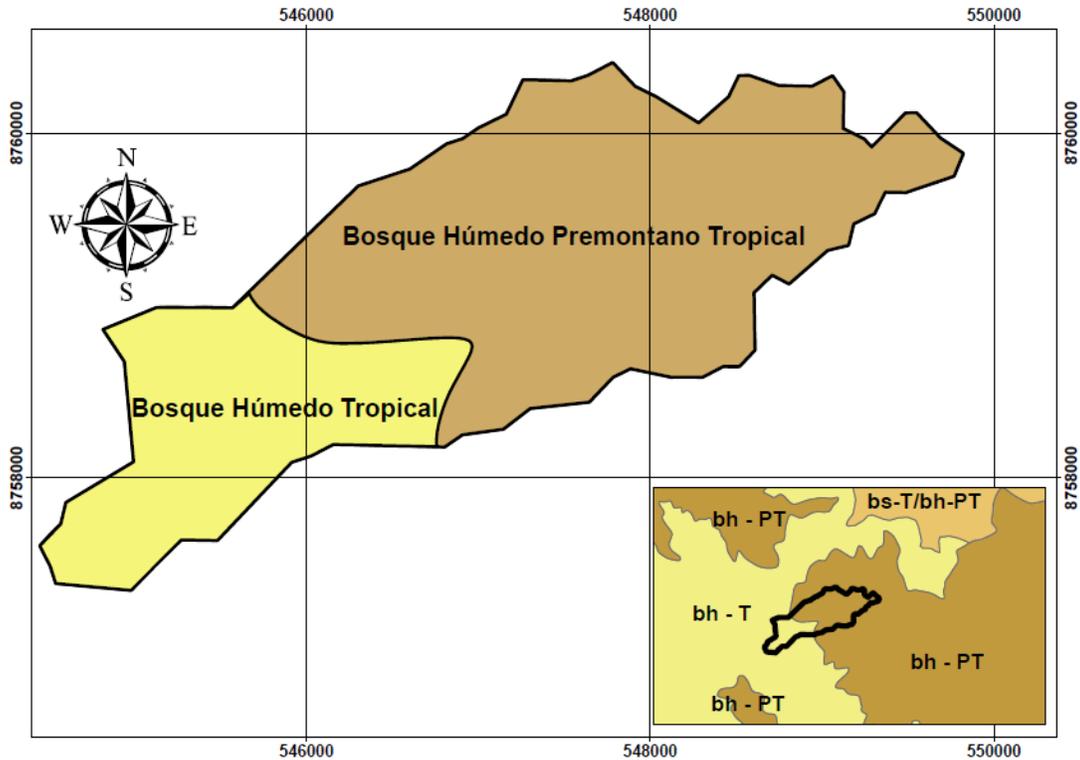


**Figura 8.** Diagrama de cajas de precipitación mensual entre la cuenca Cashingari y Ourohuari.

**Zonas de vida.** Dentro de la cuenca Cashingari se identificaron dos zonas de vida (Figura 9) que explican el comportamiento hidrológico: bosque húmedo premontano tropical (bh – PT) y bosque húmedo tropical (bh – T). Asimismo, la cuenca Ourohuari (Figura 10) presenta las mismas zonas de vida que la cuenca Cashingari, la cual indicó una similitud de los parámetros climáticos, principalmente de la temperatura y precipitación entre ambas cuencas.

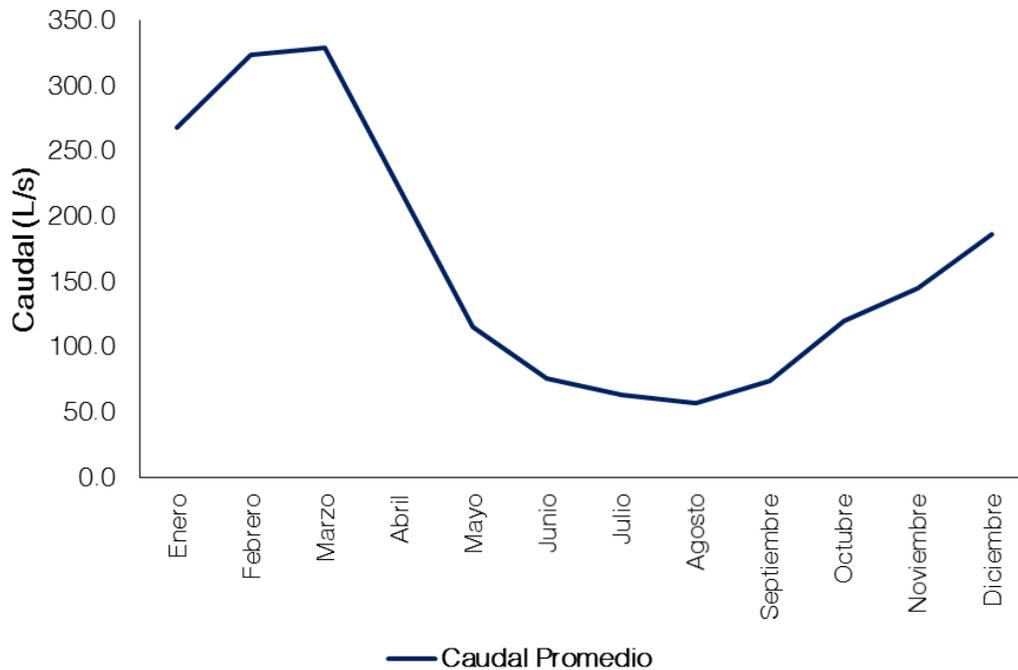


**Figura 9.** Zonas de vida de la cuenca Cashingari.



**Figura 10.** Zonas de vida de la cuenca Ourohuari.

Debido a que estadísticamente la precipitación entre ambas cuencas es similar, al igual que las características climatológicas, por presentar las mismas zonas de vida y que, finalmente, las características geomorfológicas no difieren entre cuencas, se estimaron los caudales para la microcuenca Cashingari, como se muestra en la Figura 11. Se observa que el caudal máximo mensual promedio es de 329.3 l/s, correspondiente al mes de marzo; mientras que el caudal mínimo mensual promedio es de 57.0 l/s en el mes de agosto. De igual forma, de los caudales estimados, se puede deducir que el río presenta una corriente de agua regular durante todo el año.



**Figura 11.** Caudales promedio mensual estimados de la cuenca Cashingari.

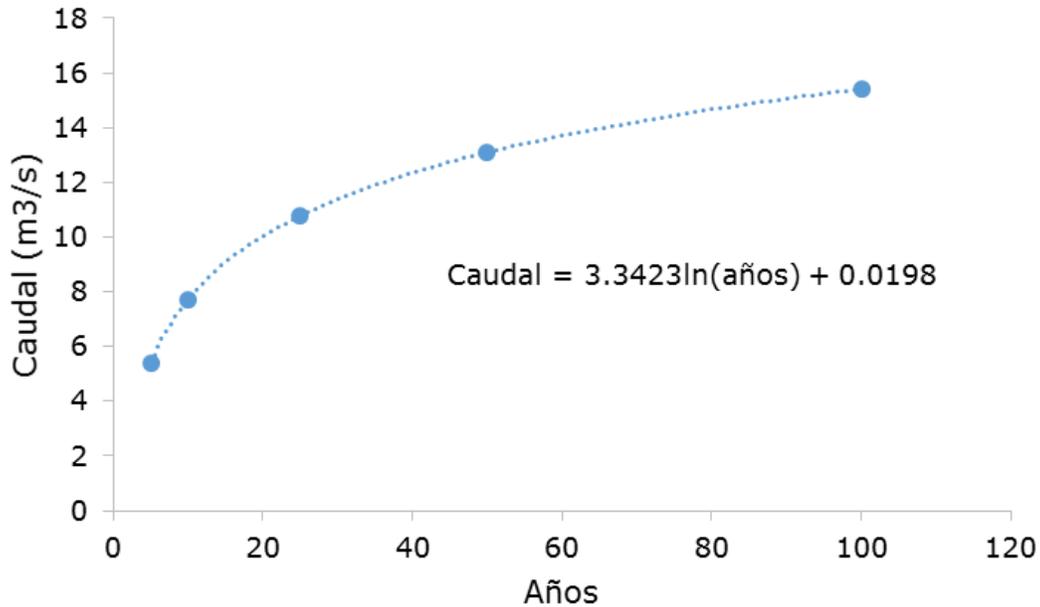
## Máximas avenidas

**Caudal de máximas avenidas.** La microcuenca Cashingari se encuentra dentro de la región 7, según el mapa de regionalización de avenidas del Perú (Trau & Gutierrez, 1979), por ende, los coeficientes que le

corresponden son:  $C1 = 0.22$ ,  $C2 = 0.37$ ,  $m = 0.24$ ,  $n = 0.04$ . Los periodos de retorno elegidos son 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los caudales de avenidas se muestran en la Tabla 10 y Figura 12.

**Tabla 10.** Caudales de avenidas estimados con la envolvente regional de Creager de la microcuenca Cashingari.

<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>Caudal de avenida (m<sup>3</sup>/s)</b>
5.0	5.4
10.0	7.7
25.0	10.8
50.0	13.1
100.0	15.4



**Figura 12.** Regresión logarítmica de estimación de caudal de Cashingari en función al período de retorno.

## Conclusiones

Geomorfológicamente, la cuenca presenta una forma alargada; asimismo, mediante el método de Alvord, la pendiente de la cuenca es del 42%; el de su cauce principal es de 22%, y el desnivel altitudinal es de 996 m; se clasifica como empinada. Por tanto, la topografía de la cuenca favorece la

generación de electricidad a través de una pico central debido a una mayor energía potencial en la caída del agua.

Estadísticamente, la precipitación entre la cuenca de estudio y la cuenca de donde se transportaron los caudales son similares; además, las zonas de vida de ambas cuencas son las mismas, lo que indican una similitud en los parámetros climatológicos.

Los caudales estimados para la microcuenca Cashingari son regulares durante todo el año, incluso en los meses secos con baja precipitación (57.0 mm). Esto favorece en gran manera el desarrollo de una pico central con niveles de generación inferior a los 5 kW debido a la disponibilidad del recurso hídrico de manera regular e ininterrumpida durante los 12 meses del año, no viéndose afectada la generación de energía por falta de agua; además, para este tipo de central, no se requiere de grandes caudales de generación.

Los resultados del estudio hidrológico de la microcuenca Cashingari impulsarán la actual iniciativa de generación de hidroenergía en esta zona de la selva del Perú (Satipo), considerando la topografía favorable y la gran disponibilidad del recurso hídrico, las cuales son dos parámetros de entrada fundamentales para el desarrollo de generación de electricidad mediante la caída del agua (caudal y carga hidráulica).

## Referencias

Bilewu, S., Sule, B., & Ayanshola, A. (2015). Optimum parameter selection for the morphometric description of watersheds: A case

- study of central Nigeria. *Journal of Ecological Engineering*, 16(4), 29-35. Recuperado de <https://doi.org/10.12911/22998993/59344>
- Chouhan, K., Kisheorey, G., & Shah, M. (2017). Modelling, fabrication & analysis of Pelton turbine for different head and materials. *International Journal of Computational Engineering Research*, 7(02), 2250-3005. Recuperado de [www.ijceronline.com](http://www.ijceronline.com)
- De-Lima, G., Marcellini, S. S., Neill, C. R., & Salla, M. R. (2017). Preliminary estimate of floods discharge in Brazil using Creager envelope curves. *Brazilian Journal of Water Resources*, 22(46), 6. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716078>
- Edeoja, A., Ibrahim, S., & Kucha, E. (2015). Suitability of Pico-hydropower technology for addressing the Nigerian energy crisis- A review. *International Journal of Engineering Inventions*, 4(9), 17-40. Recuperado de [www.ijeijournal.com](http://www.ijeijournal.com)
- Ezemonye, M., & Emeribe, C. (2013). Appraisal of the hydrological potential of Ungauged basin using morphometric parameters. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 6(4), 376-380. Recuperado de <https://doi.org/10.4314/ejesm.v6i4.5>
- Fatoyinbo, B., Stretch, D., Amoo, O., & Allopi, D. (2017). Catchment yield prediction in an Ungauged basin using PyTOPKAPI. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 11(3), 281-288. Recuperado de <https://waset.org/publications/10006803/catchment-yield-prediction-in-an-ungauged-basin-using-pytopkapi>

- Fry, L., Hunter, T., Phanikumar, M., Fortin, V., & Gronewold, A. (2013). Identifying stream gage networks for maximizing the effectiveness of regional water balance modeling. *Water Resources Research*, 49, 2689-2700. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/wrcr.20233>
- Fujii, M., Tanabe, S., Yamada, M., Mishima, T., Sawadate, T., & Ohsawa, S. (2017). Assessment of the potential for developing mini/micro hydropower: A case study in Beppu City, Japan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 107-116. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2015.10.007>
- Gavit, B., Purohit, R., Singh, P., Kothari, M., & Jain, H. (2016). Grouping of geomorphic parameters in selected watershed using principal component analysis for hydrological modelling. *International Research Journal of Environment Sciences*, 5(12), 7-13. Recuperado de <http://www.isca.in/IJENS/Archive/v5/i12/2.ISCA-IRJEvS-2016-118.pdf>
- Hortness, J. (2006). *Estimating low-flow frequency statistics for unregulated streams in Idaho* (Report 2006-5035). Denver, USA: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Jimenez, B., & Galizia, J. (2012). *Diagnóstico del agua en la Américas. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico*. Recuperado de <http://www.ianas.org/water/book/peru.pdf>
- Kusre, B. C., Baruah, D. C., Bordoloi, P. K., & Patra, S. C. (2010). Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). *Applied*

- Energy*, 87(1), 298-309. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2009.07.019>
- Meier, P., Zolezzi, E., Bogach, S., Muir, T., & Bazex, K. (2011). *Peru opportunities and challenges of small hydropower development*. Washington, DC, USA. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/17500/636680WP0Peru000Box0361524B0PUBLIC0.pdf>
- Negrel, J., Kosuth, P., & Bercher, N. (2011). Estimating river discharge from earth observation measurements of river surface hydraulic variables. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 2049-2058. Recuperado de <https://doi.org/10.5194/hess-15-2049-2011>
- Reyes, A., Barroso, F., & Carvajal, Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Sidek, L., Zaki, A., Mustaffa, Z., Ibrahim, M., Muda, Z., Thiruchelvam, S., & Basri, H. (2013). Hydrological assessment for mini hydropower potential at Sungai Pahang Temerloh. In: *4th International Conference on Energy and Environment* (pp. 1-4). Selangor, Malasia: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Recuperado de <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/16/1/012046>
- Soulis, K., Manolakos, D., Anagnostopoulos, J., & Papantonis, D. (2016). Development of a geo-information system embedding a spatially distributed hydrological model for the preliminary assessment of the hydropower potential of historical hydro sites in poorly gauged

- areas. *Renewable Energy*, 92, 222-232. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.02.013>
- Trau, W., & Gutierrez, R. (1979). *Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú*. ONERN. Lima, Perú: ONERN. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1066>
- Uniyal, V., Kanojia, N., & Pandey, K. (2016). Design of 5kw pico hydro power plant using Turgo turbine. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(12), 363-367. Recuperado de <http://www.ijser.org>
- World Bank. (2017). *Rural electrification project*. Washington, DC, USA: World Bank. Recuperado de [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)