



Revista de Investigación de Física 23(2), (Jul-Dic 2020)



## Estimación de estadios estacionales a partir de parámetros climáticos medidos en la estación meteorológica de la microcuenca Apacheta, Región Ayacucho, 2000 al 2018

 Wilmer Moncada<sup>\*1</sup>, Bram Willems<sup>2</sup> y Joel Rojas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú

<sup>2</sup> Centro de Competencia del Agua, Lima, Perú

<sup>3</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Recibido 07 abril 2020 – Aceptado 29 mayo 2020

### Resumen

La estacionalidad de la precipitación, temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, impactan en el estado ecológico de la microcuenca Apacheta. El objetivo es estimar los estadios estacionales a partir de parámetros climáticos medidos en la estación meteorológica de la microcuenca Apacheta, en base a la selección de intervalos de valores de precipitación. El estadio lluvioso comprende los meses de enero, febrero, marzo y diciembre, su precipitación es de 145.96 mm con temperatura máxima del aire de 12.3 °C, temperatura mínima del aire de 1.55 °C, humedad relativa de 74.04 %, velocidad del viento de 2.6 m/s y radiación solar de 527.13 Ly. El estadio intermedio en abril, setiembre, octubre y noviembre, con precipitación de 51.89 mm con temperatura máxima del aire de 13.38 °C, temperatura mínima del aire de -0.2 °C, humedad relativa de 69.76 %, velocidad del viento de 2.96 m/s y radiación solar de 552.37 Ly. El estadio seco en mayo, junio, julio y agosto, con precipitación de 15.41 mm, temperatura máxima del aire de 12.51 °C, temperatura mínima del aire de -2.4 °C, humedad relativa de 67.49 %, velocidad del viento de 3.16 m/s y radiación solar de 463.79 Ly.

**Palabras clave:** Precipitación, temperatura máxima del aire, temperatura mínima del aire, humedad relativa, radiación solar.

### Estimation of seasonal stages based on climate parameters measured at the Apacheta micro-basin weather station, Ayacucho Region, 2000 to 2018

#### Abstract

The seasonality of rainfall, maximum and minimum air temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation impact the ecological status of the Apacheta micro-basin. The objective is to estimate the seasonal stages from climatic parameters measured at the Apacheta micro-basin weather station, based on the selection of intervals of precipitation values. The rainy season includes the months of January, February, March and December, its precipitation is 145.96 mm with maximum air temperature of 12.3 °C, minimum air temperature of 1.55 °C, relative humidity of 74.04 %, wind speed of 2.6 m/s and solar radiation of 527.13 Ly. The intermediate stage in April, September, October and November, with precipitation of 51.89 mm with maximum air temperature of 13.38 °C, minimum air temperature of -0.2 °C, relative humidity of 69.76 %, wind speed of 2.96 m/s and solar radiation of 552.37 Ly. The dry stage in May, June, July and August, with precipitation of 15.41 mm, maximum air temperature of 12.51 °C, minimum air temperature of -2.4 °C, relative humidity of 67.49 %, wind speed of 3.16 m/s and solar radiation of 463.79 Ly.

**Keywords:** Precipitation, maximum air temperature, minimum air temperature, relative humidity, solar radiation.

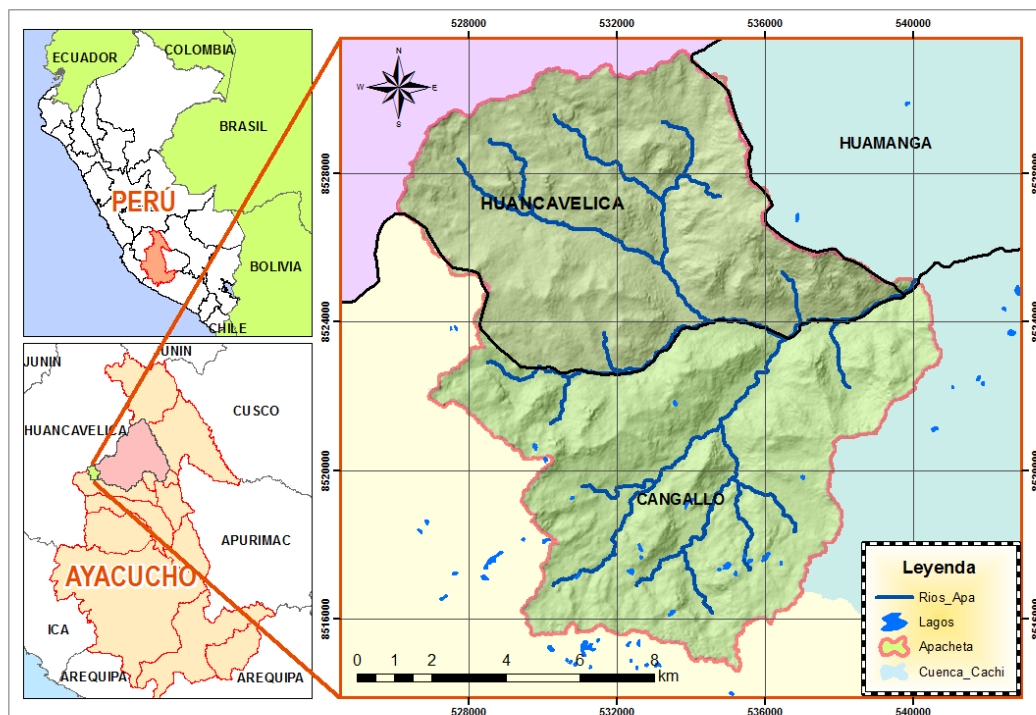
\* wilmer.moncada@unsch.edu.pe

## Introducción

La microcuenca Apacheta, de la Región Ayacucho, no es ajena a la influencia del cambio climático, el deshielo de sus nevados, el incremento de la temperatura del aire, la disminución de la precipitación, lo cual de alguna manera impacta en sus ecosistemas y por consiguiente al almacenamiento de agua en el reservorio Cuchoquesera que sirve para el consumo poblacional de la ciudad de Huamanga e irrigación de áreas agrícolas en la cuenca Cachi (Moncada et al., 2015). Actualmente el clima estacional de la microcuenca Apacheta se encuentra sujeta a tres estadios estacionales, los mismos que son influenciados por la precipitación, la temperatura máxima y mínima del aire, la velocidad del aire, la humedad relativa y la radiación solar. Así como en algunos países como México las predicciones del cambio climático han establecido que en general la precipitación disminuye y la temperatura ambiente aumenta. Por ello, a través de enfoques como el primero de carácter estadístico para detectar tendencia o cambios en la media, que significa pérdida de homogeneidad en los registros de datos analizados; el segundo de tipo cuantitativo consistente en evaluar el cociente entre la precipitación media reciente y la de largo plazo para observar si se aparta de la unidad. Estimándose una precipitación media estable, se

encontró que no existe evidencia estadística general de tendencia, pues únicamente dos registros mostraron un comportamiento decreciente; sin embargo, la lluvia anual en ciertas zonas se está reduciendo tal como lo detecta el cociente entre la lluvia media de los últimos 15 años y la de largo plazo, cuya moda de 27 valores es 0.98 (Campos, 2015). En otras zonas de los Andes, como las zonas cafetaleras de Colombia, la variación temporal de la temperatura es mínima, en su mayor parte la variabilidad de este elemento es espacial, atribuible casi exclusivamente a los cambios en altura sobre el nivel del mar. El Niño Oscilación del Sur y el Cambio Climático, inciden sobre esta variable climática (Pérez et al., 2016).

Por otro lado, la radiación solar suele darse con mayor intensidad en ciertas estaciones del año y suele ser uno de los principales factores etiopatogénico de las formas más frecuentes del cáncer de piel, por lo que es más frecuente en meses estivales llegando alcanzar el índice UV valores máximos de 7 a 8 y de 1 a 2 en meses de invierno (Aguilera et al., 2004). La variabilidad de la humedad atmosférica relativa y la concentración de partículas de aerosol en diferentes estadios estacionales provocan formación de turbidez, donde las reacciones físicas y químicas en las superficies de las partículas conducen a variaciones en el tamaño de las partículas.



**Figura 1:** Ubicación geográfica de la microcuenca Apacheta, Región Ayacucho.

Así se demostró en un experimento de absorción de agua, donde se obtuvo una correlación entre la humedad relativa y el contenido de agua en las partículas, estableciéndose una relación entre ambas para calcular las fuerzas de puente líquido. La mayor humedad mejoraría la ionización en las superficies de las partículas, lo que podría afectar las interacciones electrostáticas. Esto dio una idea clara del mecanismo de formación de neblina en la atmósfera, el mismo que es muy frecuente en zonas altoandinas como la microcuenca Apacheta (He et al., 2019). La estacionalidad climática de la microcuenca Apacheta varía de manera directa con sus parámetros climáticos ya que las cuatro estaciones anuales no son diferenciadas en esta zona de altura entre los 4112 ms.n.m y los 5045 ms.n.m dando lugar a una variabilidad climática, por lo que para fundamentar la existencia de tres estadios estacionales climáticos en la microcuenca Apacheta es necesario analizar los datos meteorológicos de ciertos parámetros climáticos como la precipitación, la temperatura máxima y mínima del aire, la velocidad del viento y la humedad relativa, en un periodo de datos comprendido entre los años 2000 al 2018.

## Material y Métodos

La microcuenca Apacheta o cabecera de la cuenca Cachi se ubica en el distrito de Paras, provincia de Cuzco, Región Ayacucho, la zona norte se comparte con la provincia de Huaytará, Región Huancavelica, tal como se muestra en la Figura 1, tiene un área 14 348.21 ha, su altitud mínima es de 4112 ms.n.m, su altitud máxima es de 5045 ms.n.m, y su altitud media es de 4651 ms.n.m. (Pereda et al., 2018).

La selección de grupos de precipitación según intensidad se realiza mediante la clasificación de intervalos de valores separables, donde la precipitación acumulada mensual se obtiene de las precipitaciones diarias, se calcula la media de todos los meses correspondientes al periodo comprendido entre los años 2000 al 2018, dando lugar a una media de cada mes del año, este método permite distinguir tres grupos de meses de precipitación muy significativos a los que se les ha denominado estadios, el estadio lluvioso (color amarillo) que comprende los meses de enero, febrero, marzo y diciembre; el estadio intermedio (color verde) comprende los meses de abril, setiembre, octubre y noviembre; y el estadio seco (color rojo) comprende los meses de mayo, junio, julio y agosto. La estimación de los parámetros climáticos medidos en la estación meteorológica Apacheta, como la temperatura máxima y mínima del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar dentro de estos tres grupos respaldan la existencia de los tres estadios estacionales en la microcuenca Apacheta, a partir de datos diarios desde el año 2000 al 2018.

## Resultados y Discusión

### 1. Precipitación en la microcuenca Apacheta

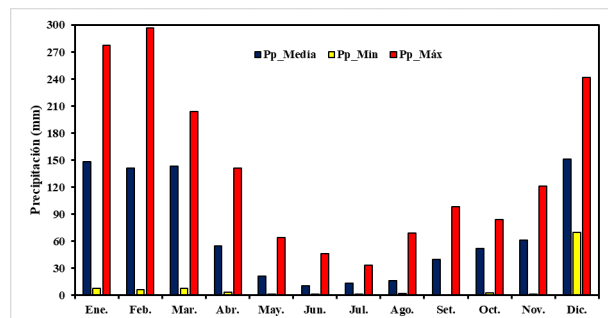
La obtención de los tres grupos de estadios estacionales se realizó mediante la selección de intervalos de valores de precipitación acumulada (Pp) media mensual de todos los años desde el 2000 al 2018, distinguiéndose tres grupos significativos de cuatro meses cada uno, el estadio lluvioso comprendido en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, el estadio intermedio comprendido en los meses de abril, setiembre, octubre y noviembre, y el estadio seco comprendido en los meses de mayo, junio, julio y agosto. La tabla 1, muestra los valores de la distribución estacional de la Pp media mensual, mínima y máxima en la microcuenca Apacheta, correspondientes a valores medios mensuales de Pp media mensual desde el año 2000 al 2018, donde se observa una Pp media anual de 71.09 mm, la cual varía entre los valores de Pp mínima de 8.70 mm y Pp máxima de 139.65 mm.

<i>Mes</i>	<i>PpMedia</i>	<i>PpMin</i>	<i>PpMax</i>
Enero	148.03	7.91	277.66
Febrero	141.16	6.55	296.58
Marzo	143.32	7.70	203.89
Abril	54.46	3.12	141.01
Mayo	21.25	1.05	63.91
Junio	10.49	1.16	46.07
Julio	13.43	1.07	33.43
Agosto	16.47	2.31	68.80
Setiembre	39.92	0.44	98.01
Octubre	52.16	2.46	84.08
Noviembre	61.02	1.17	120.80
Diciembre	151.34	69.50	241.60
Media	71.09	8.70	139.65

**Tabla 1:** Precipitación acumulada media mensual, mínima y máxima estacional (mm), en la microcuenca Apacheta, desde el año 2000 al 2018.

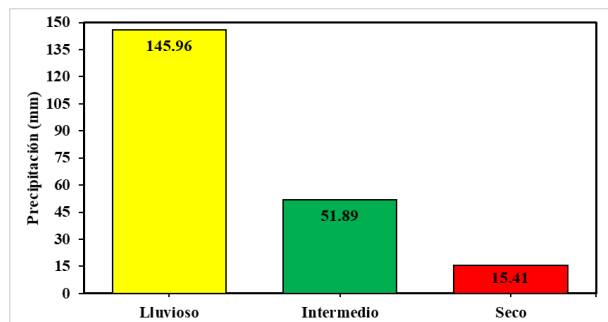
La figura 2, muestra el histograma de la distribución estacional de la precipitación acumulada media mensual (PpMedia), mínima (PpMin) y máxima (PpMax), se observa que la mayor intensidad de PpMedia se da en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo correspondiente al estadio lluvioso, donde la precipitación acumulada alcanza valores medios en los meses de diciembre de 151.34 mm, en enero es de 148.03 mm, en febrero es de 141.16 mm y en marzo es de 143.32 mm. En los meses de mayo, junio, julio y agosto la PpMedia alcanza los valores más bajos en intensidad y corresponde al estadio seco, donde la PpMedia alcanza valores de 21.25 mm en el mes de mayo, 10.49 mm en junio, 13.43 mm en julio y 16.47 mm en agosto. En el estadio intermedio correspondiente a los meses de abril, setiembre, octubre y noviembre, la PpMedia alcanza valores de 54.46 mm

en el mes de abril, 39.92 mm en setiembre, 52.16 mm en octubre y 61.02 mm en noviembre.



**Figura 2:** Distribución estacional de la Precipitación media mensual en la microcuenca Apacheta, 2000 al 2018.

La figura 3, muestra que el estadio lluvioso (color amarillo) mantiene una precipitación acumulada media anual de 145.96 mm el cual es mucho mayor que el estadio intermedio (color verde) que llega a alcanzar una precipitación acumulada media anual de 51.89 mm y que el estadio seco (color rojo) que llega a alcanzar una precipitación acumulada media anual de 15.41 mm. Se observa que el estadio lluvioso corresponde a los meses de lluvia y que el estadio seco corresponde a la temporada de frío en la zona altoandina.



**Figura 3:** Estadios de Precipitación en la microcuenca Apacheta. El estadio lluvioso (color amarillo). El estadio intermedio (color verde). El estadio seco (color rojo).

## 2. Temperatura Máxima del aire en la microcuenca Apacheta

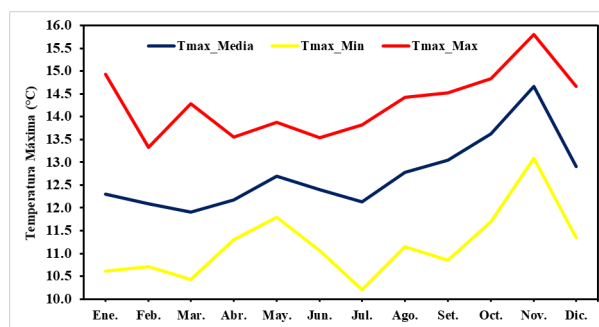
La tabla 2, muestra los valores de la distribución estacional de la temperatura máxima (Tmx) media mensual del aire, comprendida entre los valores mínima y máxima, que corresponden a valores medios mensuales de la Tmx desde el año 2000 al 2018. Se observa que la estacionalidad de la Tmx mantiene una clara correspondencia con los tres estadios: lluvioso, intermedio y seco, de donde se obtiene que la Tmx del aire media mensual representativa es 12.71 °C en la microcuenca Apacheta, la cual varía

entre los valores de la Tmx mínima de 10.86 °C y la Tmx máxima de 14.30 °C.

Mes	TmxMedia	TmxMin	TmxMax
Enero	12.29	10.61	14.94
Febrero	12.09	10.71	13.34
Marzo	11.90	10.43	14.29
Abril	12.18	11.30	13.56
Mayo	12.69	11.80	13.88
Junio	12.41	11.07	13.55
Julio	12.14	10.21	13.83
Agosto	12.78	11.14	14.42
Setiembre	13.05	10.85	14.52
Octubre	13.63	11.70	14.84
Noviembre	14.66	13.10	15.80
Diciembre	12.91	11.35	14.66
Media	12.73	11.19	14.30

**Tabla 2:** Temperatura Máxima media mensual del aire, mínima y máxima estacional (°C), en la microcuenca Apacheta, desde el año 2000 al 2018.

La figura 4, muestra la distribución estacional de la temperatura máxima media mensual del aire (TmxMedia), mínima (TmxMin) y máxima (TmxMax) y su comportamiento con los tres estadios del año, se observa que la TmxMedia empieza a incrementarse a partir de los meses de setiembre, octubre, alcanzando el valor más alto durante el mes de noviembre. En los meses correspondientes al estadio lluvioso la TmxMedia llega a alcanzar valores medios característicos en los meses de diciembre de 12.71 °C, en enero es de 12.29 °C, en febrero es de 12.09 °C y en marzo es de 11.98 °C.

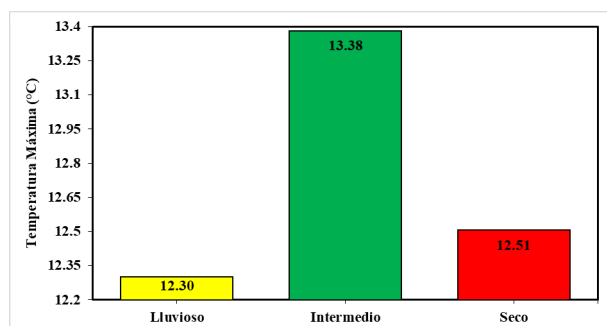


**Figura 4:** Distribución estacional de la Temperatura Máxima media mensual del aire en la microcuenca Apacheta, dentro del rango de temperatura máxima mínima y temperatura máxima máxima del aire.

Durante el estadio seco la temperatura máxima alcanza valores medios en los meses de mayo de 12.69 °C, en junio es de 12.41 °C, en julio es de 12.14 °C y en agosto es de 12.78 °C. En el estadio intermedio la temperatura máxima alcanza valores medios en los meses de abril de 12.18 °C, en setiembre es de 13.05 °C, en octubre es de

13.63 °C y en noviembre es de 14.66 °C, en donde se observa que el mes de noviembre es el mes con el mayor valor y los meses de marzo y julio los meses con menores valores comparados con el resto de meses de todo el año.

La figura 5, muestra que la temperatura máxima media anual del aire en el estadio lluvioso (amarillo) es de 12.25 °C, en el estadio intermedio (verde) es de 13.38 °C y en el estadio seco (rojo) es de 12.51 °C. lo cual significa que la temperatura máxima de aire más alta comparadas se da durante el estadio intermedio que no precisamente es verano, esto posiblemente a que en estos meses del año el encapotamiento de nubes es menor durante la mayor parte del día, al contrario del estadio lluvioso que si presenta un alto grado de encapotamiento de nubes durante la mayor parte del día.



**Figura 5:** Estadios de la Temperatura Máxima del aire en la microcuenca Apacheta.

Mes	TmnMedia	TmnMin	TmnMax
Enero	1.52	-1.59	3.00
Febrero	1.88	-0.65	3.62
Marzo	2.04	-0.14	3.37
Abril	0.77	-1.83	2.40
Mayo	-1.31	-3.13	0.65
Junio	-2.49	-4.69	-0.59
Julio	-3.06	-6.20	-1.43
Agosto	-2.75	-5.34	-0.91
Setiembre	-1.56	-4.23	0.42
Octubre	-0.23	-2.97	1.98
Noviembre	0.23	-2.21	2.36
Diciembre	0.78	-2.67	2.18
Media	-0.35	-2.97	1.42

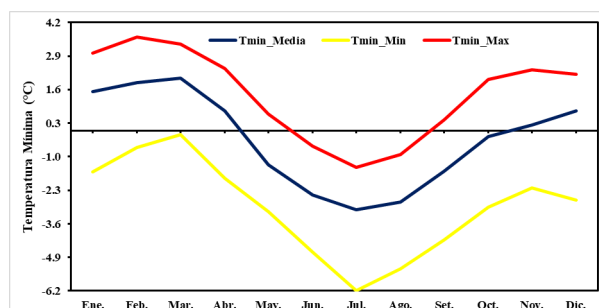
**Tabla 3:** Temperatura Mínima media mensual del aire, mínima y máxima estacional (°C), en la microcuenca Apacheta, desde el año 2000 al 2018.

### 3. Temperatura Mínima del aire en la microcuenca Apacheta

La tabla 3, muestra los valores de la distribución estacional de la temperatura mínima (Tmn) media mensual

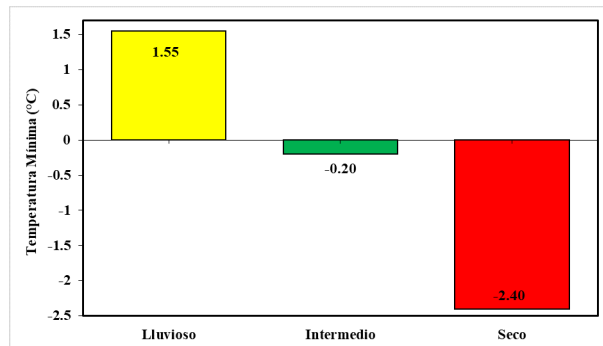
del aire, mínima y máxima, estos valores corresponden a los valores medios mensuales de la Tmn desde el año 2000 al 2018, se observa que los valores de la Tmn del aire se distribuyen de manera estacional para los tres estadios lluvioso, intermedio y seco, llegando a alcanzar una Tmn media mensual del aire media anual de -0.35 °C, que fluctúa entre el valor Tmn mínimo de -2.97 °C y Tmn máximo de 1.42 °C.

La figura 6, muestra la distribución estacional de la temperatura mínima media mensual del aire (TmnMedia), mínima (TmnMin) y máxima (TmnMax) y su comportamiento entre los distintos estadios del año, se observa que la TmnMedia empieza a disminuir a partir de los meses de mayo, junio, alcanzando los valores más bajos de la TmnMedia durante los meses de junio, julio y agosto correspondientes al estadio seco, siendo el valor más bajo alcanzado en el mes de julio que coincide con los meses de frío en invierno. Durante el estadio lluvioso la TmnMedia llega a tener valores medios en los meses de diciembre de 0.78 °C, en enero es de 1.52 °C, en febrero es de 1.88 °C y en marzo es de 2.04 °C, siendo el valor más alto alcanzado en el mes de febrero. Durante el estadio seco la temperatura mínima del aire alcanza valores medios en los meses de mayo de -1.31 °C, en junio es de -2.49 °C, en julio es de -3.06 °C y en agosto es de -2.75 °C. En el estadio intermedio la temperatura mínima del aire alcanza valores medios en los meses de abril de 0.77 °C, en setiembre es de -1.56 °C, en octubre es de -0.23 °C y en noviembre sube a 0.23 °C.



**Figura 6:** Distribución estacional de la Temperatura Mínima media mensual del aire en la microcuenca Apacheta, dentro del rango de temperatura mínima mínima y temperatura mínima máxima del aire.

La figura 7, muestra que la temperatura mínima media anual del aire para el estadio lluvioso (amarillo) es de 1.55 °C, para el estadio intermedio (verde) es de -0.2 °C y para el estadio seco (rojo) es de -2.4 °C. Además, se observa que la temperatura mínima del aire muestra su valor más alto durante el estadio lluvioso y la temperatura mínima del aire más baja se presenta durante el estadio seco, que coincidentemente corresponde a los meses de frío o invierno, lo cual fortalece la existencia de los tres estadios en la microcuenca Apacheta.



**Figura 7:** Estadíos de la Temperatura Mínima del aire en la microcuenca Apacheta.

#### 4. Humedad Relativa en la microcuenca Apacheta

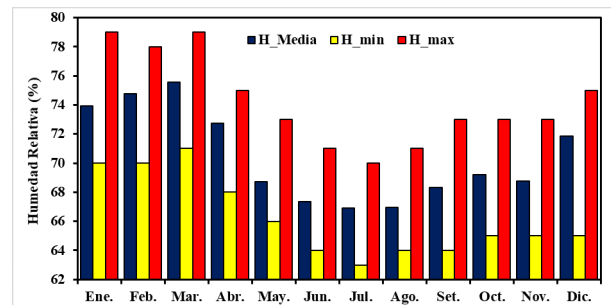
La tabla 4, muestra los valores de la distribución estacional de la humedad relativa (HR) media mensual, mínima y máxima, estos valores corresponden a los valores medios mensuales de la HR desde el año 2000 al 2018, donde se observa que los valores de la HR media anual es 70.43 %, la cual fluctúa entre el valor de la HR mínimo de 66.25 % y HR máximo de 74.17 %.

Mes	HRMedia	HRMin	HRMax
Enero	73.95	70	79
Febrero	74.79	70	78
Marzo	75.58	71	79
Abril	72.74	68	75
Mayo	68.74	66	73
Junio	67.37	64	71
Julio	66.89	63	70
Agosto	66.94	64	71
Setiembre	68.32	64	73
Octubre	69.22	65	73
Noviembre	68.78	65	73
Diciembre	71.84	65	75
Media	70.43	66.25	74.17

**Tabla 4:** Humedad Relativa media mensual, mínima y máxima estacional (%), en la microcuenca Apacheta, 2000 al 2018.

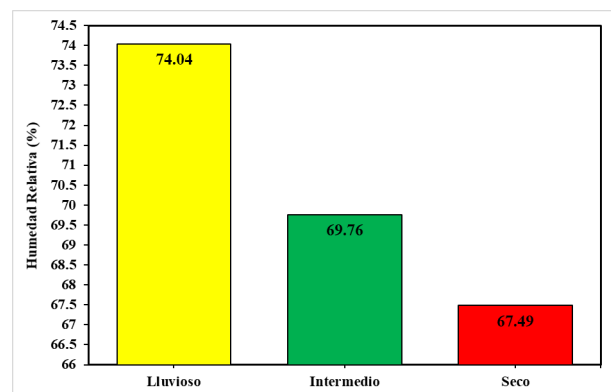
La figura 8, muestra la distribución estacional de la humedad relativa media mensual (HRMedia), fluctuando entre los valores mínimo (HRMin) y máximo (HRMax) y su comportamiento entre los distintos estadíos del año, se observa que en el estadio lluvioso la humedad relativa llega a tener valores medios en los meses de diciembre de 71.84 %, en enero es de 73.95 %, en febrero es de 74.79 % y en el mes de marzo es de 75.58 %. Durante el estadio seco la humedad relativa alcanza valores medios en los meses de mayo de 68.74 %, en el mes de junio de 67.36 %,

en el mes de julio de 66.89 % y en el mes de agosto de 66.94 %. En el estadio intermedio la humedad relativa alcanza valores medios en los meses de abril de 72.74 %, en setiembre es de 68.32 %, en octubre es de 69.22 % y en el mes de noviembre es de 68.78 %.



**Figura 8:** Distribución estacional de la Humedad Relativa Media mensual, mínima y máxima, microcuenca Apacheta.

La figura 9, muestra los estadíos de la humedad relativa media anual en donde se observa que la humedad relativa más alta se da durante el estadio lluvioso con un porcentaje de 74.04 % esto debido a la alta presencia de precipitación durante esos meses y la humedad relativa más baja en el estadio seco con un porcentaje de 67.49 %, que coincidentemente corresponde con los meses de frío en Apacheta. Durante el estadio intermedio el porcentaje de humedad relativa media es de 69.76 %, que precisamente es mayor que en el estadio seco y menor que el estadio lluvioso.



**Figura 9:** Estadíos de la Humedad Relativa en la microcuenca Apacheta.

#### 5. Velocidad del viento en la microcuenca Apacheta

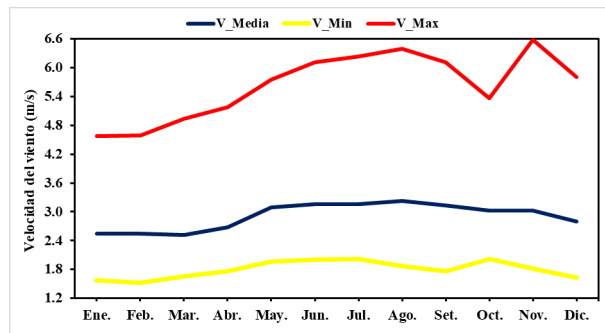
La tabla 5, muestra la estacionalidad de la velocidad del viento (Vv) media mensual, mínima y máxima, estos valores corresponden a los valores medios mensuales de la Vv desde el 2000 al 2018, donde se obtiene un valor representativo de la Vv media anual de 2.91 m/s, que

varía entre el valor de  $V_v$  mínimo de 1.79 m/s y un valor máximo de  $V_v$  de 5.64 m/s.

Mes	$V_v$ Media	$V_v$ Min	$V_v$ Max
Enero	2.54	1.58	4.57
Febrero	2.54	1.52	4.59
Marzo	2.52	1.65	4.93
Abril	2.68	1.76	5.18
Mayo	3.09	1.97	5.76
Junio	3.16	2.00	6.11
Julio	3.15	2.02	6.24
Agosto	3.23	1.86	6.39
Setiembre	3.13	1.77	6.12
Octubre	3.02	2.02	5.36
Noviembre	3.02	1.82	6.58
Diciembre	2.79	1.62	5.81
Media	2.91	1.79	5.64

**Tabla 5:** Velocidad del viento media mensual, mínima y máxima estacional, en la microcuenca Apacheta (m/s), desde el año 2000 al 2018.

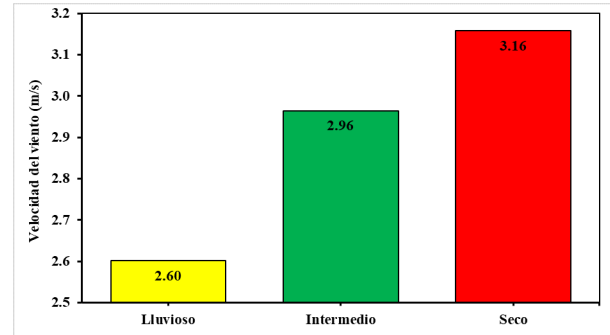
La figura 10, muestra la distribución estacional de la velocidad media mensual del viento, mínima y máxima, se observa que en el estadio lluvioso la velocidad del viento llega a tener valores medios en los meses de diciembre de 2.8 m/s, en enero de 2.54 m/s, en febrero de 2.54 m/s y en marzo de 2.52 m/s. Durante el estadio seco la temperatura mínima alcanza valores medios en los meses de mayo de 3.09 m/s, en junio de 3.16 m/s, en julio de 3.15 m/s y en agosto de 3.23 m/s. En el estadio intermedio la temperatura mínima alcanza valores medios en los meses de abril de 2.68 m/s, en setiembre 3.13 m/s, en octubre de 3.02 m/s y en noviembre de 3.02 m/s.



**Figura 10:** Distribución estacional de la velocidad del viento en la microcuenca Apacheta.

La figura 11, muestra los estadios de la velocidad del viento media anual en donde se observa que la velocidad media del viento más baja se da durante el estadio lluvioso con un valor de 2.6 m/s y la velocidad media del viento más alta se da en el estadio seco con un valor de 3.16 m/s tal vez por la baja humedad relativa o coincidentemente

corresponde con los meses de frío o invierno en Apacheta. Durante el estadio intermedio la velocidad media del viento es de 2.96 m/s que es mayor en el estadio lluvioso y menor que en el estadio seco.



**Figura 11:** Estadios de la velocidad del viento en la microcuenca Apacheta.

## 6. Radiación Solar en la microcuenca Apacheta

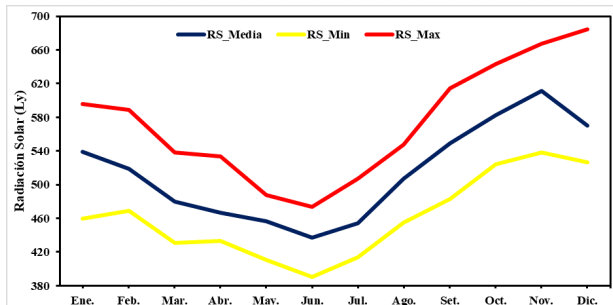
La tabla 6, muestra los valores de la radiación solar media mensual (RS), mínima y máxima estacional en la microcuenca Apacheta, estos valores corresponden a los valores medios mensuales de la RS desde el año 2000 al 2018, donde se obtiene un valor representativo para la RS media anual de 514.43 Ly, la cual varía entre los valores mínimo de RS de 461.20 Ly y máximo de RS de 573.54 Ly, en unidades de Langley (Ly), donde  $1 \text{ MJ/m}^2 = 23.9234 \text{ Ly}$ .

Mes	$RS$ Media	$RS$ Min	$RS$ Max
Enero	539.16	459.33	595.69
Febrero	518.78	468.90	588.52
Marzo	480.06	430.62	538.59
Abril	466.59	433.01	533.49
Mayo	456.82	410.87	488.04
Junio	436.73	390.72	473.68
Julio	454.46	413.87	507.18
Agosto	507.15	455.32	547.85
Setiembre	548.81	483.25	614.21
Octubre	582.27	523.92	643.54
Noviembre	611.78	538.28	667.46
Diciembre	570.54	526.31	684.21
Media	514.43	461.20	573.54

**Tabla 6:** Radiación Solar media mensual, mínima y máxima estacional, en la microcuenca Apacheta, 2000 al 2018.

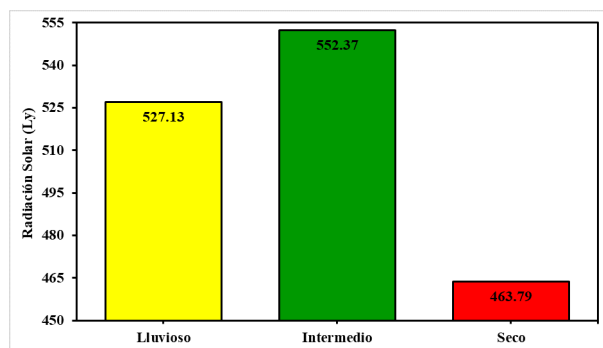
La figura 12, muestra la distribución estacional de la radiación solar media mensual, mínima y máxima y su comportamiento entre los tres estadios del año, se observa que para los valores más altos durante el año la

RS empieza a incrementarse a partir de los meses de setiembre, octubre, alcanzando los más altos picos en los meses de noviembre, diciembre, y empezando a decrecer durante los meses de enero y febrero.



**Figura 12:** Distribución estacional de la radiación solar media mensual, mínima y máxima en la microcuenca Apacheta.

El decrecimiento de la RS se da a partir de los meses de marzo, abril, mayo, siendo el mes de junio el mes con el más bajo valor de RS, para luego empezar a aumentar durante los meses de julio, agosto. En el estadio lluvioso la radiación solar llega a tener valores medios en los meses de diciembre de 570.54 Ly, en enero de 539.16 Ly, en febrero de 518.78 Ly y en marzo de 480.06 Ly. Durante el estadio seco la radiación solar alcanza valores medios en los meses de mayo de 456.82 Ly, en junio de 436.73 Ly, en julio de 454.46 Ly y en agosto de 507.15 Ly. Así mismo, en el estadio intermedio la radiación solar alcanza valores medios en los meses de abril de 466.6 Ly, en setiembre 548.81 Ly, en octubre de 582.27 Ly y en noviembre de 611.78 Ly.



**Figura 13:** Estadios de la Radiación Solar en la microcuenca Apacheta.

La figura 13, muestra que durante el estadio seco la radiación solar media anual es de 463.79 Ly y corresponde al estadio con la radiación solar más baja durante todo el año en la microcuenca Apacheta, que coincidentemente corresponde a los meses de frío o invierno en la microcuenca Apacheta. La radiación solar más alta de 552.37 Ly se presenta durante el estadio intermedio, es decir, en

los meses de abril, setiembre, octubre y noviembre, donde hay precipitaciones intermedias y el encapotamiento de nubes es menor en comparación con el resto de estadios, mostrándose un cielo de Apacheta libre de nubes en la mayor parte del día. Durante el estadio lluvioso se presenta una radiación solar media de 527.13 Ly que es menor que el estadio lluvioso y mayor que el estadio seco, esto posiblemente por el alto grado de encapotamiento de nubes durante la mayor parte del día.

## Conclusiones

1. Se ha logrado determinar la existencia de tres grupos notables de estadios estacionales climáticos en la microcuenca Apacheta, el estadio lluvioso, intermedio y seco, a partir de la evaluación de la precipitación acumulada mensual. Estos estadios se fundamentan mediante el comportamiento estacional de la temperatura máxima y mínima del aire, la velocidad del viento, la humedad relativa y radiación solar, de donde se observa que el estadio lluvioso presenta un registro aproximado de precipitación media acumulada de 145.96 mm con influencia de la temperatura máxima del aire de 12.3 °C, con temperatura mínima del aire de 1.55 °C, humedad relativa de 74.04%, velocidad del viento de 2.6 m/s y radiación solar de 527.13 Ly. El estadio intermedio presenta un registro aproximado de precipitación de 51.89 mm con una temperatura máxima del aire de 13.38 °C, con temperatura mínima del aire de -0.2 °C, humedad relativa de 69.76%, velocidad del viento de 2.96 m/s y radiación solar de 552.37 Ly. El estadio seco presenta un registro aproximado de precipitación de 15.41 mm con una temperatura máxima del aire de 12.51 °C, con temperatura mínima del aire de -2.4 °C, humedad relativa de 67.49%, velocidad del viento de 3.16 m/s y radiación solar de 463.79 Ly en la microcuenca Apacheta.

2. Comparando las características climáticas de los tres estadios, se verifica que el comportamiento de la precipitación en el estadio lluvioso es más alto comparado con los otros dos estadios, por lo que en este estadio la temperatura máxima del aire es menor en comparación con los otros dos estadios, la temperatura mínima del aire es la más alta, la humedad relativa es la más alta, la velocidad del aire es menor y la radiación solar mantiene un valor moderado situado entre el estadio intermedio que es el más alto y el estadio seco que es el más bajo. En el estadio intermedio de precipitación se tiene que la temperatura máxima del aire mantiene un valor mayor comparado con los otros dos estadios al igual que la radiación solar, la temperatura mínima del aire mantiene valores moderados entre los otros dos estadios, al igual que la humedad relativa y la velocidad del viento. Durante el estadio seco de precipitaciones muy bajas la temperatura mínima del aire, la humedad relativa y la



radiación solar muestran valores muy bajos comparados con los otros dos estadios.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero de los proyectos “Strengthening resilience of

Andean river basin headwaters facing global change” (PGA084063), financiado por el Programa PEER de USAID e “International Water Security Network”, financiado por el Lloyd’s Register Foundation. Los autores agradecen a OPEMAN del Gobierno Regional de Ayacucho por facilitar los datos hidro meteorológicos y a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por su incondicional apoyo.

---

## Referencias

- Aguilera, J., Victoria de Gálvez, M., Conde, R., Pérez-Rodríguez, E., Viñegla, B., Abdala, R., Segovia, M., Herrera, E., and Figueroa, F. L. (2004). Series temporales de medida de radiación solar ultravioleta y fotosintética en Málaga. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 95(1):25–31.
- Campos, F. (2015). Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de zacatecas, México; en 30 registros con más de 50 años. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3):355–368.
- He, Y., Gu, Z., Lu, W., Zhang, L., Okuda, T., Fujioka, K., Luo, H., and Yu, C. W. (2019). Atmospheric humidity and particle charging state on agglomeration of aerosol particles. 197:141–149.
- Moncada, W., Pereda, A., Aldana, C., Masias, M., and Jimenez, J. (2015). Cuantificación hidrográfica de la cuenca del río cachi-ayacucho, mediante imágenes satelitales. *Instituto de Investigación Científica e innovación Tecnológica de la UNSCH*, II(2):40–46.
- Pereda, A., Moncada, W., and Verde, L. (2018). *Respuesta nival de la cabecera de cuenca Cachi-Apacheta de Ayacucho*, volume I. Editorial Académica Española.
- Pérez, E., Ramírez, V., and Peña, A. (2016). Variabilidad espacial y temporal de la temperatura del aire en la zona cafetera colombiana. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2016(89):23–40.