



## Estimación de índices de sequía en la cuenca del río Ichu utilizando datos generados por teledetección-Huancavelica-2019

Estimation of drought indices in the Ichu river basin using data generated by remote sensing-Huancavelica-2019

• Alexander Montes <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Correo electrónico: [alexander.montes@unh.edu.pe](mailto:alexander.montes@unh.edu.pe)

**Recibido:** 26 Setiembre del 2022 / **Revisado:** 03 Octubre del 2022 / **Aprobado:** 01 Diciembre del 2022 / **Publicado:** 06 Enero del 2023

### RESUMEN

El objetivo de la presente investigación, es determinar la estimación de índices de sequía utilizando datos generados por teledetección. Para llegar al objetivo, las aplicaciones utilizadas son: RStudio, ArcGIS, HYDRACCES y MINITAB 18. El presente trabajo de investigación es de tipo Aplicada no Experimental, porque busca contribuir a la ampliación del conocimiento científico en la evaluación de índices de sequía. Por lo general, los distintos sistemas hidrológicos, ecológicos y agrícolas responden a las sequías climáticas a diferentes escalas de tiempo. Por lo tanto, el SPI y SPEI se calculan a escalas temporales de 1 a 48 meses, para este propósito el análisis de sequías en la cuenca del río Ichu que está conformado por 5 regiones homogéneas descritas anteriormente, donde se ha obtenido datos de cada región homogénea, como la precipitación, temperatura máxima mínima y latitud longitud con una serie de precipitación mensual (1994-2016) y con una serie temperatura máxima mínima mensual (1994-2015). En el presente trabajo de investigación se analizó la variabilidad espacio-temporal de las sequías en la cuenca del río Ichu para el periodo de 1994 al 2016 utilizando datos generados por teledetección (sensores remotos).

**Palabras claves:** Índices de sequía; teledetección; precipitaciones por satélite; modelos climáticos globales.

### ABSTRACT

The objective of this research is to determine the estimate of drought indices using data generated by remote sensing. To reach the objective of the thesis, the applications used are: RStudio, ArcGIS, HYDRACCES and MINITAB 18. The present research work is of the Applied Non-Experimental type, because it seeks to contribute to the expansion of scientific knowledge in the evaluation of drought indices. In general, different hydrological, ecological and agricultural systems respond to climatic droughts at different time scales. Therefore, the SPI and SPEI are calculated at time scales from 1 to 48 months, for this purpose the analysis of droughts in the Ichu river basin, which is made up of 5 homogeneous regions described above, where data from each region has been obtained. homogeneous, such as precipitation, minimum maximum temperature and longitude latitude with a monthly precipitation series (1994-2016) and with a monthly minimum maximum temperature series (1994-2015). In the present research work, the spatiotemporal variability was analyzed. of droughts in the Ichu river basin for the period from 1994 to 2016 using data generated by remote sensing (remote sensing).

**Keywords:** Drought indices; remote sensing; satellite rainfall; global climate models.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el distrito de Lircay, en el sector Sullac del Dentro del grupo de los desastres naturales la sequía es uno de los fenómenos que impacta de manera generalizada a la sociedad, debido a la mayor cobertura espacial y temporal, en comparación con los demás fenómenos naturales. Algunos de los problemas ocasionados por las sequías son la falta de agua, las consecuencias de este fenómeno tenemos problemas en la eficiencia

de infraestructuras hidráulicas, los escasos de la cobertura vegetal, pérdidas en la agricultura y ganadería, hambrunas, deforestaciones, enfermedades, etc.

La sequía se percibe como uno de los desastres naturales más costosos y menos entendidos, dada la dificultad para definir su comienzo y fin, su lento desarrollo y las múltiples facetas que posee a nivel regional. Entre todos los eventos meteorológicos extremos, posee la mayor duración y la menor

predictibilidad. Fernández y Donoso (2000) dicen que, la sequía se define como un evento en que la demanda supera a la oferta de agua, generándose un déficit que tiene asociado un daño; si no hay daño, no se habla de sequía, aun cuando haya déficit. El concepto de sequía tiene varias aplicaciones; se habla de sequías meteorológicas, cuando hay escasez de lluvias, y de sequías hidrológicas, cuando hay escasez de caudales. Cada evento de sequía queda caracterizado básicamente por la duración del déficit, la intensidad del déficit y la magnitud del déficit.

El análisis espacial continuo de estos eventos permite, además, determinar el área de influencia espacial de cada sequía. Mendoza (1994) manifiesta que, las sequías es un fenómeno frecuentemente mencionado como el causante de grandes catástrofes en la economía andina, motiva que las autoridades reiteradamente declaren en emergencia la agricultura. Las sequías son típicamente causadas por la persistencia de bajas precipitaciones durante un largo periodo de tiempo; que genera la disminución en la disponibilidad de agua en todos los estados del ciclo hidrológico; sin embargo, sus efectos pueden ser amplificados por la influencia del nivel de evaporación (dependiente de la radiación solar, la temperatura del aire, la presión de vapor del agua y la velocidad del viento); así como las características del suelo y la cobertura vegetal (Kundzewicz et al., 1993) y Wilhite y Glantz (1985), agruparon diversas definiciones de sequías, en cuatro grupos según la disciplina científica desde la cual se analiza el fenómeno: sequía meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica y la caracterización de las sequías presenta rasgos individuales distintivos, para su identificación se propuso la teoría de rachas o sucesiones. Esta analiza las sequías en base a los procesos espacio temporales que consideran la oferta y la demanda del recurso hídrico en una región. La diferencia en una serie cronológica, representa la disponibilidad del recurso hídrico, mientras que la necesidad de hacer uso de este recurso identifica las sequías. La teoría de rachas permite la caracterización de una serie de episodio seco en base a tres características principales como son: duración, severidad y la intensidad a partir de un nivel de truncamiento o umbral definido

Ámbito internacional: Rivera, (2014), realizo la investigación: “Aspectos climatológicos de las sequias meteorológicas en el sur de Sudamérica. Análisis regional y proyecciones futuras”, en la Universidad de Buenos Aires, Argentina. -La Cruz, (2015), realizo la investigación: “Análisis de las sequías meteorológicas en Venezuela utilizando el método L-momentos”, en la Universidad de Carabobo, Venezuela. Ámbito datos de los MCG, cálculo de los SPI y SPEI, resultados estadístico, gráficos, entre otros.

nacional: Zavala, (2015), realizo la investigación: “Determinación de las frecuencias de sequias en la sub cuenca del rio Huenque con fines de planeamiento de los recursos hídricos para uso en actividades agropecuarias”, en la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú. La cuenca del río Ichu, corresponde a una de las cuencas más importantes del Perú, ya que la población de la ciudad de Huancavelica se abastece de los recursos hídricos de esta cuenca, mediante infraestructuras hidráulicas construidas actualmente como: Reservorios para el abastecimiento de agua potable para la población huancavelicana, sistemas de riego para diferentes centros poblados que se encuentran en dicha cuenca y lo más importante es que el río Ichu desemboca en el caudaloso río Mantaro y este abastece al represa de Tablachaca, el agua allí almacenada es transportada hasta la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución, por lo tanto, la representación del ciclo hidrológico, requiere atención especial para el control y uso adecuado del recurso hídrico y Analizar los índices de sequía, utilizando datos generados por teledetección para identificar las sequías en la cuenca del río Ichu. Analizar la caracterización espacio- temporal de la sequía mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para una escala de tiempo ajustado en la cuenca del río Ichu

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las técnicas de recolección de datos que se han de utilizar en la ejecución del presente trabajo de investigación es la observación, Mediante esta técnica lograremos captar hechos y/o sucesos que se suscitarán durante la etapa de recolección de datos meteorológicos tales como las precipitaciones mensuales y temperaturas máximas mínimas mensuales, que se medirán mediante las estaciones meteorológicas, sensores remotos (teledetección) e identificación de escenarios climáticos por (GCM); en la cuenca en estudio. La medición: Proceso que vincula conceptos abstractos con indicadores empíricos; Con esta técnica se logró el registro de datos meteorológicos en la cuenca del río Ichu observados en diversos periodos de tiempo. La descripción: Este método implica la recopilación y presentación sistemática de datos obtenidos de la medición y observación, para dar una idea clara en la caracterización de las sequias en la cuenca de río Ichu. Los instrumentos utilizados para llegar al objetivo, las aplicaciones utilizadas son: RStudio: Código libre y entorno de desarrollo integrado (IDE) para R. Lenguaje de programación para el cálculo de Downscaling para la calibración de

ArcGIS: Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar,

compartir y distribuir información geográfica. HYDRACCES: Es un software completo, homogéneo y de fácil manejo, que permite importar y guardar varios tipos de datos hidrológicos en una base de datos en formato Microsoft Access 2000, y realizar procesamientos básicos de acuerdo a las necesidades de un hidrólogo. MINITAB 18: Minitab es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos. El ámbito de estudio del presente trabajo de investigación se realizó en la cuenca del Rio Ichu en un área de 1384.06 Km<sup>2</sup> desde la naciente del río pasando la zona urbana de la ciudad de Huancavelica y desemboca al río Mantaro, ubicado en la provincia, departamento y distrito de Huancavelica, en la zona suroccidental del Perú y se ubica entre los paralelos 12° 45' a 13° 05' latitud sur; y entre los 74° 58' a 75° 14' longitud oeste del meridiano de Greenwich. Mediante la prueba estadística T de Student se analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes. A continuación, se calcula los promedios y las desviaciones estándar para cada periodo según las ecuaciones:

$$x_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} X_i$$

$$S_1(x) = \sqrt{\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - x_1)^2}$$

$$x_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} X_j$$

$$S_2(x) = \sqrt{\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_j - x_2)^2}$$

Cálculo de las desviaciones estándar de las diferencias de los promedios.

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

Cuando los promedios y desviaciones estándar resultan estadísticamente iguales, los datos ya no se corrigen por ser consistentes al 95% de probabilidad, a pesar que en algunos casos en el análisis doble masa se observen pequeños quiebres. En caso contrario se debe corregir y el procedimiento es mantener los datos del periodo más confiable y solo corregir los datos del periodo que se desconfía.

### 3. RESULTADOS

Para poder evaluar las seguías dentro de la cuenca del Ichu, se utilizaron datos de precipitación, temperatura máxima mínima utilizando estaciones meteorológicas instaladas por SENAMHI y datos de los satélites que registra las precipitaciones espaciales de PISCOp con una resolución de 0.05°. Estaciones meteorológicas dentro y fuera de

cuenca. En la cuenca del río Ichu se encuentra 2 estaciones meteorológicas instaladas por SENAMHI, una de ellas es la estación Huancavelica que se encuentra dentro de la cuenca y la segunda es la estación Choclococha que se encuentra fuera próxima a la cuenca.

**Tabla 1**

*Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca del Rio Ichu*

Estación meteorológica				
N°	Estación	Latitud	Longitud	Altitud
1	Huancavelica	12°16'17.86''	75°0'44.52''	3715
2	choclococha	13°6'31.69''	75°4'17.22''	4547

**Tabla 2**

*Precipitación mensual punto de registro Huancavelica*

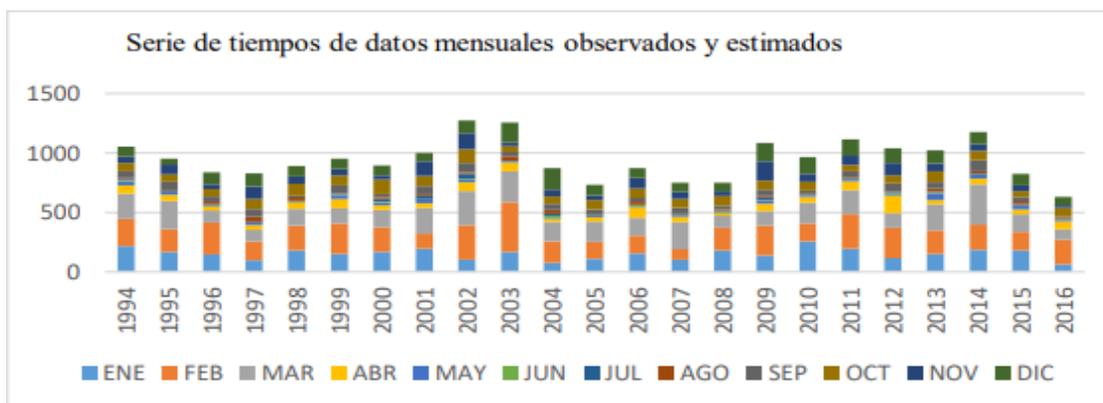
Datos estimados PISCOp punto de registro Huancavelica												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC

1994	218.98	227.88	210.28	69.69	35.61	9.31	6.48	10.89	56.53	73.24	49.23	83.7
1995	166.6	190.14	237.6	55.66	19.21	3.17	6.11	3.25	75.28	63.33	85.35	45.85
1996	146.91	266.87	103.81	28.77	11.6	3.24	6.41	23.18	45.16	59.74	42.86	99.22
1997	96.71	162.07	92.76	40.8	21.63	5.29	0.39	43.24	67.09	81.44	109.48	109.49
1998	183.37	206.18	141.27	53.9	2.25	10.73	0	22.15	18.89	101.28	62.4	88.05
1999	150.28	255.01	128.77	79.22	28.51	5.76	9.05	5.94	66.63	80.98	52.73	89.43
2000	170.43	203.42	148.53	38.89	21.7	6.33	22.62	18.76	23.43	123.09	32.55	86.69
2001	196.81	127.64	213.71	39.24	34.94	1.62	24.36	13.87	71.81	84.41	122.28	68.9
2002	100.57	293.94	286.72	71.03	20.84	6.91	42.41	15.44	79.05	112.93	138.92	02.86
2003	169.85	418.63	259.57	68.84	10.83	1.82	3.01	41.21	35.26	46.88	30.7	167.95
2004	77.21	180.1	160.06	24.21	7.18	25.67	17.08	29.4	53.9	59.74	58.35	181.69
2005	111.74	139.43	172.42	36.4	11.32	1.65	2.79	4.41	44.72	79.51	40.66	88.43
2006	154.85	148.7	152.01	88.38	1.57	16.99	0.4	27.02	33.68	79.56	86.52	80.9
2007	104.48	86.11	227.9	45.43	17.68	0.5	5.58	3.86	46.87	75.14	61.04	76.07
2008	182.35	186.95	101.22	19.14	5.42	11.07	6.36	12.01	32.52	82.69	41.25	67.07
2009	140.04	247.91	124.57	62.99	25.52	4.18	22.59	10.4	52.21	78.82	159.56	155.75
2010	257.33	149.75	175.24	49.96	15.46	5.59	0.65	8.68	19.96	76.59	62.98	143.87
2011	196.85	287.87	201.3	75.56	19.15	1.49	8.62	6.59	49.8	50.36	81.97	136.01
2012	115.5	256.06	120.61	146.86	10.84	13.38	7.25	2.38	71.75	66.01	105.43	123.19
2013	152.23	198.43	218.74	36.78	56.77	6.36	5.54	25.39	53.67	91.13	68.05	107.6
2014	187.38	210.47	338	47.3	34.07	2.9	7.12	17.22	92.22	79.42	59.37	101.23
2015	179.7	158.15	146.98	42.26	31.89	7.83	4.12	18.37	40.82	48.03	49.51	96.17
2016	61.31	210.31	84.75	65.69	9.29	4.13	5.22	7.43	17.37	73.46	19.31	72.93

Nota: producto PISCO

### Figura 1

*Serie de tiempo de los datos observados y estimados*



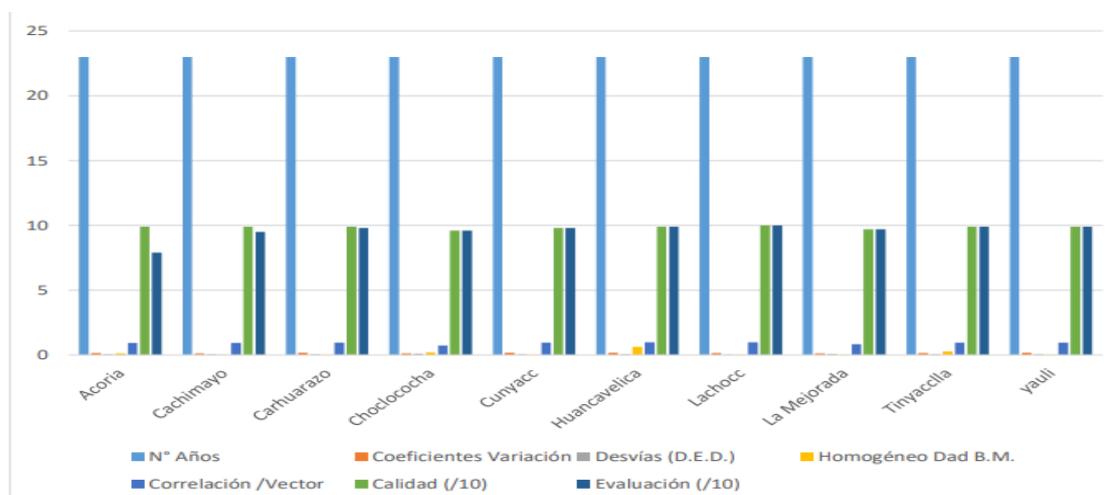
**Tabla 3**

*Resultados de las características importantes de todos los puntos de registro*

Punto de registro	N° de Años	Coefficientes variación	Desvías (D.E.D.)	Homogéneo Dad B.M.	Correlación /vector	Calidad (/10)	Evaluación (/10)
Acoria	23	0.158	0.06	0.116	0.921	9.9	7.9
Cachimayo	23	0.132	0.056	0.027	0.918	9.9	9.5
Carhuarazo	23	0.165	0.049	0.014	0.955	9.9	9.8
Choclococha	23	0.137	0.104	0.202	0.717	9.6	9.6
Cunyacc	23	0.18	0.064	0.012	0.941	9.8	9.8
Huancavelica	23	0.176	0.047	0.621	0.973	9.9	9.9
Lachocc	23	0.147	0.029	0.004	0.98	10	10
La Mejorada	23	0.135	0.079	0.022	0.837	9.7	9.7
Tinyacella	23	0.163	0.046	0.278	0.961	9.9	9.9
Yauli	23	0.174	0.06	0.006	0.944	9.9	9.9

**Figura 2**

*Suma de los índices anuales del vector y de los puntos de registro*



#### 4. DISCUSIÓN

La estimación de índices de sequía, utilizando datos generados por teledetección podrá identificar la sequía en la cuenca del río Ichu la muestra del

área de estudio para el presente trabajo de investigación en la cuenca del río Ichu, con una extensión total de 1384.06 km<sup>2</sup>, una altitud máxima de 5206 msnm y una mínima 2818 msnm,

la cual es afluente al río Mantaro y pertenece a la vertiente del océano Atlántico, geográficamente se ubica al sur del centro del Perú entre los paralelos 12°45'05" y 13°05'22" de latitud sur y entre los meridianos 74°58'00" y 75°14'15" de longitud oeste, y forma parte de la provincia de Huancavelica, departamento Huancavelica. De acuerdo a los registros obtenidos sobre las precipitaciones se vio que a mayor altura del área de estudio hay mayor precipitación, llegando a un pico de 450mm esta zona está ubicada en la comunidad de Choclococha, distrito de Santa Ana, también se vio que a menor altura la precipitación es menor donde se ubica la comunidad de La Mejorada. Para generar los datos, se utilizó la teledetección en el río Ichu y así mismo también el río Mantaro. También hablemos de las 5 regiones homogéneas, cuya distribución preliminar se basa en Cluster Método de Ward, dando mayor peso a la magnitud de precipitación en cada punto de registro, confirmando cada región homogénea mediante un análisis de Vector Regional. Y en base a estos análisis realizados anteriormente se detallan las 5 regiones a continuación: Región 1: PMA= 1109 mm. Conformado por 3 puntos de registro Choclococha, Carhurazo y Yauli que se ubican en las partes más altas de la cuenca, donde la zona es lluviosa con grandes magnitudes en la precipitación, considerado la región más húmeda de la cuenca de estudio. Región 2: PMA= 633 mm. Conformado por solo 1 punto de registro La Mejorada que se ubica en la parte más baja de la cuenca, donde la zona presenta un clima árido deficiente de lluvia, considerado como la región más seca de la cuenca de estudio. Región 3: PMA= 1002 mm. Conformado por 3 puntos de registro Acoria, Lachoc y Cunyacc que se ubican en la parte media de la cuenca con una altura de 3600 a 4000 msnm donde es la segunda región que presenta en sus zonas lluvias de magnitud moderada elevada, considerado la segunda región húmeda. Región 4: PMA= 933 mm. Conformado por 2 puntos de registro Huancavelica y Cachimayo que estas zonas se ubican en la zona centro de la cuenca, la magnitud de la lluvia es moderada. Región 5: PMA= 840 mm. Conformado por 1 punto de registro Tinyaclla que se ubica en

la parte norte de la cuenca, considerada la segunda región seca por que presenta déficit moderado de lluvia.

## 5. CONCLUSIÓN

El presente trabajo de investigación se analizó la variabilidad espacio temporal de las sequías en la cuenca del río Ichu para el periodo de 1994 al 2016 utilizando datos generados por teledetección (sensores remotos), y las proyecciones futuras de las sequías utilizando modelos de GCM, para el periodo de 2020 al 2100. Arribando a las siguientes conclusiones: El índice SPI a escala de tiempo de 6 meses es

la más sobresaliente de la correlación cruzada del SPI es sus 5 escalas temporales, el mismo que presenta 0.73 de coeficiente de correlación y representa correlación positiva alta.

Identificando este las 5 sequías más importantes que se dio en cada una de las regiones homogéneas que conforma la cuenca del río Ichu; la sequía de 1995 que afecto la región 1, seguida de la sequía 1998 que afecto la región 2, la sequía 2007 que afecto la región 3 y 5 respectivamente y la de 2016 que afecto la región 1 y 4. Donde esta escala de tiempo de 6 meses también representa al desarrollo y crecimiento de la vegetación en la cuenca de estudio el análisis de las sequías empiezan del año 2020 al 2100, en vista de los cambios observados en las series de SPEI en las escalas de tiempo a corto y largo plazo se evalúan los cambios futuros en las características de las sequías mediante un ensamble de modelos climáticos globales perteneciente al CMIP5. Los principales resultados indican un incremento en la cantidad de eventos de sequía en la cuenca del río Ichu durante los años 2020 al 2050 los cuales tendrán menores duraciones y mayores severidades, seguido para los años 2051-2070 los eventos secos disminuyen y se observa años húmedos pero con mínima magnitud, seguidamente para los años 2071-2100 los eventos secos van en aumento preocupantemente, con duraciones mayores y severidades a un más mayores, ya casi no hay la existencia de años húmedos, de todas las regiones homogéneas la más afectada es la región 2 y la menos afectada es la región 1.

## 6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acuña, J., Felipe, O., Ordoñez, J. y Arboleda, F. (2011). *Análisis regional de frecuencia de precipitación anual para la determinación de mapas de sequías. Geo-atmosférica RPGA, (3), 104-115.*
- Aguilar, J. (2015). *Variabilidad Espacio temporal de la Temperatura de la Superficie del Suelo en el Perú y su relación con los*

*eventos extremos, mediante imágenes MODIS/Terra durante el periodo 2000-2012 (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.*

- Anculle, T. (2016). *Modelo del inicio de la sequía en la costa norte de Perú a partir del NDVI de los sensores AVHRR, VEGETATION, MODIS y los datos ENOS (1982-2013)*

(Tesis de Maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Ayala, I. (2016). *Predicción de sequías con redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos utilizando precipitaciones por percepción remota (tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Campos, D. F. (2014). *Comparación de tres métodos estadísticos para detección y monitoreo de sequías*. *Agrociencia*, 48 (5), 463-476. doi: 48:463- 476.2014.

Chávez, S. (2013). *Caracterización de tormentas en el Valle del Mantaro mediante Sensoramiento Remoto. (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

Carbajal, G., Willems, B., & Lavado, W. (2018). *Identificación de patrones relevantes a la sequía agrícola a partir del análisis espacial y temporal del Índice de Condición de la Vegetación –Caso estudio: Áreas agrícolas de la región Piura, Perú (2000 - 2017)*. *ECIPerú*, 15(2), 81-89.

Kogan, F. (1995). *Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection*. *Advances in Space Research*, 15 (11), 91–100.

Komuscu, A. (1999). *Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey*. *Drought Netw. News* 11 (1), 7-13.

Ramos, L. (2013). *Estudio de la utilidad de la Lluvia Estimada de Satélite en la Modelación Hidrológica Distribuida (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Rivera, J. A. (2014). *Aspectos climatológicos de las sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica. Análisis regional y proyecciones futuras (tesis doctoral)*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Zuluaga, J. (2009). *Análisis de La Variabilidad Espacio-Temporal de La Sequía En Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.: Masters. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2275/>