

# Influencia de la Geomorfología y la Meteorización en la Humedad del suelo y recargas de agua en la cabecera de cuenca del río Jequetepeque

## Influence of geomorphology and weathering of rocks on soil moisture and water refills in the headwaters of the Jequetepeque river basin

Alejandro Alcántara Boza <sup>1</sup>

Recibido: Enero 2019 - Aprobado: Junio 2019

### RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en la parte norte del Perú, en la cuenca del río Jequetepeque, cordillera occidental de los Andes con dirección al Océano Pacífico. En su cauce principal se encuentra el embalse Gallito Ciego, fuente de agua para la actividad agrícola en el valle costero del Jequetepeque y la generación de energía eléctrica; sin embargo las deficiencias de agua y el desconocimiento de la importancia de las cabeceras de cuenca como aporte importante de agua, nos permite estudiar cómo influye la geomorfología y la meteorización en la humedad de los suelos y las recargas de agua a lo largo de la cabecera de cuenca del río Jequetepeque.

Como parte de la metodología se generó un sistema integrado de parámetros físicos como: la geomorfológica, la pendiente, el intemperismo, la precipitación, escorrentía, humedad y vegetación. Los resultados muestran que la geomorfología es variable influyente en la humedad; así mismo la existencia de un fuerte intemperismo en la parte norte de la cuenca respecto a la parte sur, influye en la conservación de humedad del 33.87% y la generación de un bosque húmedo con plantas de aliso. En consecuencia, la humedad y recarga de aguas subterráneas, está explicado por la topografía, la meteorización de las rocas, argumentando también que son evento más trascendente a nivel de cabecera norte de la cuenca del río Jequetepeque.

**Palabras clave:** Cabecera de cuenca; Geomorfología; meteorización; Humedad del suelo; Río Jequetepeque.

### ABSTRACT

The present study was developed in the north of Peru, the Jequetepeque River basin, cordillera of the Andes in direction to Pacifico sea. In its main course is the dam Gallito Ciego, source of water for agricultural activity in the coastal of the Jequetepeque valley and electric power generation; however, water deficiencies and lack of knowledge of importance on basin headwaters as an important water contribution, its allow us to study, how geomorphology and weathering influence on soil moisture and water recharge along the headwaters on Jequetepeque river basin.

As part of the methodology our generated an integrated system of physical parameters: the geomorphological, the slope, the weathering, the rain, runoff, humidity and vegetation. The results show that geomorphology is an important variable in humidity; likewise the existence of a strong weathering in northern part of the basin with respect to the southern part, influences the humidity conservation of 33.87% and the generation of a humid forest with aliso plants. Consequently, the humidity and recharge of groundwater is explained by the topography, the weathering of rocks, also arguing that they are the most important events at the northern head of the Jequetepeque River basin.

**Keywords:** Basin header; geomorphology; weathering of rocks; soil moisture; Jequetepeque River.

<sup>1</sup> Docente de Ing. Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. E-mail: falcantarab@unmsm.edu.pe

## I. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Jequetepeque se encuentra ubicado en la parte norte del Perú, orientado en dirección este-oeste, perteneciente a la vertiente del Pacífico. Su inicio se encuentra en la Cordillera Occidental de los Andes, comprendida entre dos regiones, Cajamarca y La Libertad. Ocupa una superficie de 4,372 Km<sup>2</sup> y su máxima altitud alcanza los 4,188 msnm, Girón, (2003). En su parte media, se encuentra el embalse Gallito Ciego, fuente de agua para el desarrollo agrario en esta parte de la costa, con una capacidad de 400MMC (400 000 000 m<sup>3</sup>) (INADE, 2002). Ramírez y Cisneros (2007).

La problemática a nivel de la franja costera, son: la escasez de precipitaciones, la falta de agua y asentamiento de grandes poblaciones; dado que los aguaceros, tiene ocurrencia en la parte alta, alimentando los cauces en la parte baja de la costa durante las épocas húmedas, haciéndose notar su deficiencia y/o ausencia en épocas de estiaje.

Para Mulligan, et al (2009), la cuenca alta o zona de cabecera, es el área donde se garantiza la captación inicial de las aguas y el suministro hacia las zonas media y baja durante todo el año. Yacoub, et al. (2009), la menciona como parte alta de la cuenca y la describe como espacios altamente complejos y vulnerable al cambio climático y a las actividades antropogénicas.

En la parte norte del Perú, existen cabeceras de cuenca sin glaciares; empero, aguas abajo la escorrentía superficial forma parte del caudal que aporta agua a los cauces de los ríos; uno de ellos en la cuenca del río Jequetepeque.

Las cabeceras de cuenca constituyen espacios importantes para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Su base legal, se encuentra en la Ley de Recursos Hídricos del Perú, Ley N° 29338, la cual menciona en su Art. 75, como zonas ambientalmente vulnerables.

A nivel de cuenca alta, existen limitados estudios, así por ejemplo se menciona las zanjas de infiltración y la reforestación como medios alternativos para disminuir la erosión de suelos y el transporte de sedimentos, Conesa y Pérez (2014), Rojas, Mardones, Arumí y Aguayo (2014) Raboin & Posner (2012).

La geomorfología de los Andes, es uno de los procesos característicos formados durante el triásico que presenta diversas geoformas en función a la interacción de las condiciones atmosféricas y la acción de los glaciares como ocurre en alta montaña (Charle and Montara, 2008), los procesos geológicos y la acción de los agentes transformantes de la superficie de la tierra contribuyen a su transformación y vulnerabilidad (Alcántara-Ayala, 2002). En la parte alta las condiciones geomorfológicas lo forman fuertes empinamientos, mucho de ellos inaccesibles, en otros espacios van generando lomas y lomadas y hasta superficies planas como ejemplo claro de la acción del clima en el relieve de los Andes.

Producto del intemperismo, la degradación del macizo rocoso, se forman los suelos, y van evolucionando

(Veit, 1995) en principio se forman los leptosoles, los andisoles, mollizoles, chernozem y y diferentes tipos de suelos por la acción de los fenómenos atmosféricos, los tipos de vegetación, la forma del relieve y la forma como son dispuesto los depósitos sedimentarios, (Chinchilla, Alvarado y Mata, 2011) constituyendo los primeros rasgos edafogénicos.

La acción de la lluvia, la niebla y otros procesos atmosféricos, generan influencia en la acumulación de agua en los suelos, lo cual constituye la humedad en la cuenca, esto se refleja con la formación de pastizales entre ellos el ichu, arbustos y los quenuales; diferentes tipos de especies se van desarrollando en función a la acumulación del agua en el suelo, lo cual ayuda a la estabilización de los suelos (Pellet and Hauck, 2017), (Minet, Verhoest, Lambot and Vancloster, 2013)

En tal sentido como objetivos, se pretende explicar cómo un sistema integrado espacial (la geomorfología y el intemperismo) ayuda en el sistema de humedad y recargas de aguas. El estudio contribuirá en relacionar los sistemas espaciales en recargas de acuíferos desde cabeceras de cuenca, así mismo permitirá comprender la importancia de la intemperización y geomorfología de la cabecera de cuenca, su relación con la distribución de agua en la cuenca y el embalse del Gallito Ciego.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la recolección de información y datos, se realizó el recorrido a lo largo de la cabecera de cuenca del río Jequetepeque. Se contó con la participación de personal de las municipalidades del ámbito de influencia y directivos de rondas campesinas evaluando ecosistemas característicos de puna, Alcántara (2013), Chen & Youg, (2006). El área se dividió en tres zonas de estudio: la cabecera norte (provincia de San Miguel); la cabecera centro (provincia de Cajamarca) y la cabecera sur (provincias de Cajamarca y Contumazá). Se realizaron evaluaciones de geomorfología in situ; la meteorización se evaluó por el grado de fracturamiento de la roca (Herrera y Custorio, 2014) y los horizontes del suelo. Para la evaluación geomorfológica, se utilizó las Cartas Nacionales, aplicación de la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG); Castro, zuñiga y pattillo (2012); Sánchez y Carvacho (2013), instrumentos topográficos y la comprobación en campo. Evans, et al (2003).

Para la delimitación del área de estudio y cabecera de cuenca del río Jequetepeque, se interpoló tres factores: nacientes de agua, curvas de nivel y espacios de mayor precipitación. Luego se realizó la sistematización de la información y análisis de datos de campo. Como parte de la evaluación geológica y cartográfica, se utilizaron los mapas 14e, Chongoyape; 14f, Chota; 15f, Cajamarca y 15g de San Marcos.

Dentro del uso de materiales, se conto con GPS 72, wincha, eclímetros, balanza de miniescala, cronómetros, equipo de sedimentación superficial, software, equipo volumétrico e información meteorológica de 6 estaciones.

Para el caso de la humedad del suelo, se utilizó el método gravimétrico (Radulovich, 2009) como parámetro de determinación se utilizó la ecuación 01.

$$\% \theta = \frac{W_h - W_s}{W_t} \text{ ec. 01}$$

Donde  $W_h$  es el peso del suelo húmedo,  $W_s$  es el peso del suelo seco y  $W_t$  es el peso total.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cabecera de cuenca del río Jequetepeque (figura 1), alcanza una longitud máxima lineal de 16.2 km, cuyo promedio es 7.1 km; es una franja espacial más alta de la cuenca, constituido por superficies de diferentes topografías, donde la característica principal son la ocurrencia de altas precipitaciones, primeras formaciones de los cursos de agua y donde la humedad permanece medianamente constante a lo largo del año, formado por páramos, bofedales y lagunas.

Para el análisis geomorfológico de la cabecera de cuenca, se utilizó el método topográfico, utilizando los rangos y descripción de la pendiente propuesto por la FAO (2006). Los resultados muestran que la parte norte de la cabecera de cuenca en estudio (El Prado, San Miguel,

Llapa, Calquis y Cochán) el 67 % de los espacios se encuentra formado por lomas y colinas, pendientes leves y formación de pequeñas planicies.

En la parte media del cinturón de cabecera de cuenca, la geomorfología se va modificando levemente constituido por colinas valles de altura, pendientes medias a fuertes, lo cual se va acentuando con dirección al sur, donde cerca del 50% lo constituyen espacios moderadamente escarpados a escarpados, según la tabla 01.

La geomorfología entonces, como parámetro de gravedad, es un factor influyente en el escurrimiento rápido o lento del agua superficial y la infiltración, Centeno & García, (2008). Parámetro que se evaluó a nivel de cabecera de cuenca del Jequetepeque, donde la parte norte presenta una mayor superficie moderadamente de baja pendiente a diferencia de la parte sur.

Por otro lado, la meteorización en la cabecera de cuenca del río Jequetepeque, es un evento geológico importante de transformación de la roca en partículas del suelo mediante procesos de: termoclastia, gelifracción, hidrólisis y otros, argumentado también por Nespereira (2003). La meteorización biológica (gramíneas, el Ichu y vegetación nativa), también forma parte de este proceso, coadyuvando en la retención e infiltración de las aguas durante las precipitaciones estacionales, por lo que este tipo de flora ha logrado adaptarse a estos ambientes (Adekalu, et

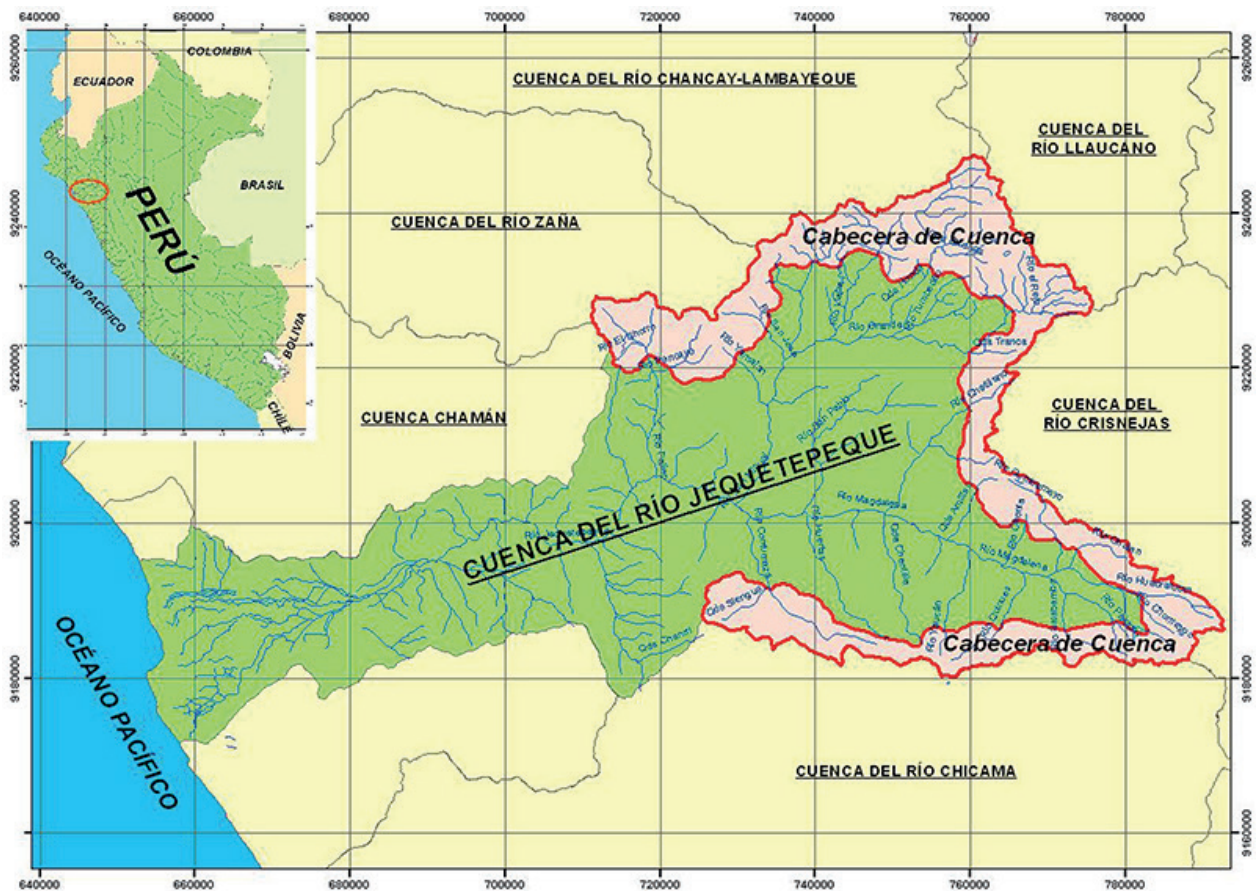


Figura 01. Cabecera de cuenca del río Jequetepeque.



al. 2007), desarrollando capacidades para el atrapamiento de las gotas de lluvia y neblina, conduciéndolo al fondo del suelo, favoreciendo la concentración de humedad y evitando la escorrentía inmediata y mediata.

A lo largo de la cabecera de cuenca se observa que la meteorización ha sido mucho más intensa en la parte norte, donde el macizo rocoso formado por Formaciones volcánicas de Llamas, Porculla y Huambos, ha ido desapareciendo, dando lugar a la formación de suelo desde mm a más de 50 dm de profundidad, (observación directa en zonas actualmente agrícolas y zonas de pastoreo).

En la parte media de la cuenca, parte de la superficie se encuentra con afloramientos rocosos, pero sí con alta formación de suelos leptosólicos cuyas formaciones geológicas de calizas, margas y cuarcitas son las más representativas y que más a la parte sur, se observa mayor afloramiento de macizo rocoso con acumulaciones de suelos en partes deprecionales y de baja pendiente, representados básicamente por la formación Farrat, Goylloriquizga y depósitos volcánicos.

Respecto a la formación del suelo, en algunos espacios se observa que la profundidad de la meteorización ha alcanzado profundidades mayores a 5m (zonas de baja pendiente), dando lugar a la formación de suelos zonales (Rivera, 2011) (Sánchez y Rubiano, 2015). Debajo del primer horizonte A, se observa un segundo horizonte en formación (grado de meteorización II y III), expresado en fracturas, fisuras y diaclasas (horizonte C). Las fisuras y discontinuidades (porosidad secundaria, para Net y Limarino, (2000), ayudan a las aguas de lluvia encontrar aberturas para la escorrentía subterránea, alimentando los acuíferos subsuperficiales y profundos. Las fisuras alcanzan un promedio de 10cm de ancho y se ha logrado medir en superficies descubiertas 4.5 m de profundidad, lo cual existe indicios de la continuidad de proceso de fracturamiento de la roca, (figura 02).

Como resultado de las características geomorfológicas y el intemperismo, en la tabla 02, se muestran una relación entre: Zona de cabecera de cuenca, humedad y vegetación; por consiguiente existe una correlación directa entre la concentración de humedad y el tipo de vegetación, lo cual

**Tabla N° 01.** Gradiente de la pendiente

Rango (%)	FAO Descripción	Cabecera de cuenca		
		Norte %	Centro %	Sur %
0 - 0.2	Plano	6.67	0	0
0.2 - 0.5	Nivel	0	0	0
0.5 - 1	Cercano al nivel	0	9.09	0
1 - 2	Muy ligeramente inclinado	6.67	9.09	0
2 - 5	Ligeramente inclinado	20.00	0	15.38
5 - 10	Inclinado	33.33	27.27	30.77
10 - 15	Fuertemente inclinado	26.67	36.36	7.69
15 - 30	Moderadamente escarpado	6.67	9.09	38.46
30 - 60	Escarpado	0	9.09	7.69
> 60	Muy escarpado	0	0	0
Total		100	100	100



**Figura 02.** Porosidad secundaria en la cabecera de cuenca del río Jequetepeque

concuerta con Martínez-Gonzales (2010) y Sánchez y Carvacho (2013) , al mencionar que el tipo de vegetación tiene incidencia en la cantidad de agua en el suelo, para nuestro caso la vegetación más importante como planta arbórea, es el Aliso (*Alnus Glutinosa ssp*), la cual se manifiesta a nivel de cabecera de cuenca norte.

**Tabla N° 02.** Distribución de la vegetación nativa y la humedad del suelo

Zonas	Θ	Vegetación
Cabecera Norte	33.87	Herbácea, arbustiva y arbórea
Cabecera Centro	16.9	Herbácea y arbustiva
Cabecera Sur	13.37	Herbácea

Los caudales encontrados como parte del aporte de agua que hacen estos suelos, oscilan entre 0.17 y 12.1 L/s (tabla 03). los caudales pertenecen a la temporada más seca, y a espacios que están relacionados con los puntos de infiltración (sin tomar cauces de ríos lo cual lo cual arroja caudales > a 1m<sup>3</sup>) por lo que constituye el caudal base como recargas desde las partes más altas en ambientes sin glaciares.

Respecto al análisis de precipitación-escorrentía, se observa que a lo largo del tiempo existe una correlación, sin embargo este análisis a partir de simulaciones de caudales, se observa que en los meses de junio, julio y

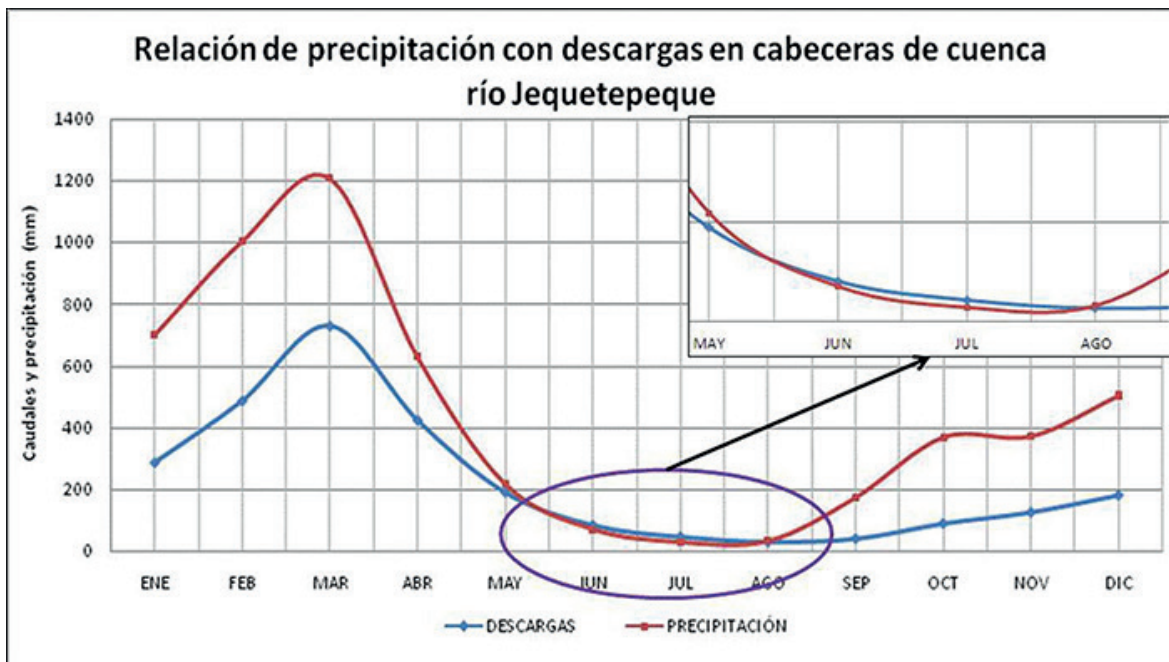
agosto, existe una superposición de las descargas respecto a las precipitaciones, lo cual constituye la descarga de aguas subsuperficiales, cuya aguas son las observadas en el cuadro 03, estas aguas constituye las recargas netas sin considerar las escorrentías que se generan en los principales cauces de los ríos, originándose desde las partes más altas de la cuenca. Este escurrimiento es uno de los parámetros más importantes, dado que la cuenca en estudio no presenta glaciares, pero como se observa en la figura 03, las escorrentías no desaparecen a lo largo del año en la cabecera de cuenca del Jequetepeque.

Por consiguiente, existe un sistema altamente integrado de parámetros que determina el comportamiento en la regulación de aguas en las cabeceras de cuenca. Las aguas subsuperficiales es el común denominador de las partes altas, básicamente de la cabecera norte de la cuenca (Provincias de san Miguel y San Pablo). Este tipo de almacenamientos (colchones acuíferos), permiten la formación de bosques de altura, siendo los Alisos el principal árbol silvestre entre los distritos de El Prado, Calquis y Cochán, vegetación que va desapareciendo en los demás distritos.

Los ojos de agua o manantiales son escasos en la parte media de la cuenca, pero se observan pozos artificiales en centros poblados de San Miguel, Magdalena, San Juan y Contumazá. En cambio, los acuíferos costeros,

**Tabla N° 03.** Flujo de agua subsuperficial, expresado en caudales de recarga

Caudal	El Prado	Calquis	Llapa	Magdalena	Magdalena	Magdalena	Asunción	Total
FC	EP-05	C-01	LL-01	M - 04	M - 07	M - 08	A-01	
L/s	9.3	1.8	1.32	3.2	3.7	12.3	0.171	
m3/año	293284.8	56764.8	41627.52	100915.2	116683.2	387892.8	5392.656	1002560.98



**Figura 03.** Correlacion directa e inversa lluvia-escorrentía

se manifiestan en la cuenca baja del río Jequetepeque (distritos de Jequetepeque, Pacasmayo, San José, Guadalupe y San Pedro de Lloc); aquí, la explotación de aguas subterráneas satisface necesidades productivas y de consumo, cuya recarga se inicia en las cabeceras de cuenca; cauces de los ríos, formaciones kársticas y otros procesos de posteriores estudios.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Indirectamente los procesos de intemperismo y geología, la termoclastia y gelificación, así como las geomorfología ligeramente llanas a planas influyen directamente proporcional en la conservación de humedad y agua subsuperficial, la cual se asocia a caudales ente 0.17 a 12L/s, en épocas secas de estiaje.

La conservación de humedad del suelo varía a lo largo de la cabecera de cuenca: en la cabecera norte, es de 33.87 %, en la cabecera centro de 16.9 % y en la cabecera sur de 13.37 %, la cual es un parámetro influyente en los tipos de vegetación, así como la permanencia de agua en el medio poroso, generando una reserva de agua en forma de agua subsuperficial, como un sistema propio de cuencas sin glaciares.

La pendiente es un factor geomorfológico importante en la concentración de humedad y posterior recargas de aguas, lo que se observa en la parte norte de la cabecera de cuenca, abarcando un 6,7% de planicies respecto a las demás zonas de la cuenca, con un caudal base que no desaparece en épocas de estiaje.

#### V. AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a las autoridades y rondas campesinas de la cuenca alta del río Jequetepeque, por su apoyo desinteresado, así como un agradecimiento especial al CONCYTEC – FINCYT, por el auspicio para la culminación de la presente investigación.

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adekalu, K.O., Olorungemi, I.A. y Osunbitan. J.A. (2007). Grass mulching effect on infiltration, surface runoff an soil loss of three agricultural soil in Nigeria. *Bioresource Technology*. Volume 98, issue 4. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.02.044
- Alcántara, F.A. (2013). *Hidrología*. Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima. Perú. Compendio.
- Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Journal Geomorphology*. Vol. 47. October 2002. Pag 107-124 DOI [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1)
- Castro Avaria C., Zúñiga Donoso, A. y Pattillo Barrientos, C. (2012). Geomorfología y geopatrimonio del mar de Dunas de Atacama, Copiapó (27° S), Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 53\_ 123-136 (2012). Chile. DOI <https://doi.org/10.4067/S0718-34022012000300008>
- Chen, L. y Young, M.H. (2006). Green-Ampt infiltration model for sloping surface. *Water Resource Research*. Volume 42.

Issue 7. DOI <https://doi.org/10.1029/2005WR004468>

- Centeno, J.D. y García, M. (2008). Balance hídrico de las superficies gradas en roca granítica. Un modelo geomorfológico e hidrogeológico con implicancias ambientales. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/19715948.pdf>
- Charle, M. y Montara, G. (2008). Geomorphological impact of climate change on Alpine Glacial and Periglacial areas. *Interpraevent 2008. Conference proceeding*, Vol.2. Italy. DOI doi=10.1.1.520.3220&rep=rep1&type=pdf
- Chinchilla, M; Alvarado, A. y Mata, R. (2011). Factores formadores y distribución de suelos de la subcuenca del río Pirrís, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. (1):33-57/2011. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6686/6375>
- Conesa Garcia, C. y Perez Cutillas, P. (2014). Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la península ibérica. Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59: 25–44 (2014) DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000300003>
- Evans, BM; Sheeder, Sa. y Lehning, DW. (2003). A spatial technique for estimating streambank roision based on watershed characteristics. *Journal of Spatial Hydrology*. 3. Recuperado de <http://www.hydromap.com/josh/index.php/JOSH/article/viewFile/14/13>
- FAO 2006. *Guidelines for soil description*. Fourth edition. Rome. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541e.pdf>
- Girón, E. (2003). *Andes Basin Profile: Jequetepeque River Basin*. Ed. Condesan. Lima. Perú. Libro.
- Herrera, C. y Custodio, H. (2014). Origin of waters from small spring located at the northern coast of Chile, in the vicinity of Antofagasta. *Andean Geology* 41 (2): 314-341. 2014. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0718-71062014000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-71062014000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- INADE. (2002). Instituto Nacional de Desarrollo. Plan de gestión de la oferta de agua en la cuenca Jequetepeque. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima. Perú. Informe INADE
- Martínez-Gonzales, G., Sosa-Perez, F. y Ortiz-Medel, J. (2010). Behavior of soil moisture with different plant cover in the La Esperanza watershed. *Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic Engineering in Mexico*. Vol I. N° 4, October-December, 2010, pp. 89-103. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222010000400005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000400005)
- Minet, J; Verhoest, N.E.C; Lambot, S. y Vanclooster, M. (2013). Temporal stability of soil moisture pattern measured by proximal ground-penetrating radar. *Hydrology and Earth System Sciences*. 10, 4043-4097, 2013. DOI: 10.5194/hessd-10-4063-2013
- Mulligan, M; J. Rubiano; G. Hyman; J. León; M. Saravia; D. White; V. Vargas; J. Selvaraj; C. Ball; A. Farrow; J. Marín; O. Pulido, A. Ramírez, T. Gutiérrez; L. Sáenz; A. Castro y M. Andersson (2009). *Andes Basin Focal Project*. CONDESAN. DOI: 10.13140/RG.2.1.4156.9688



- Nespereira, J., Ortega, M.Y. y Blanco, J.A. (2003). La alteración de las pizarras ordovícicas de la ciudad de Salamanca. Implicancias geotécnicas. Universidad de Salamanca. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10272/9054>
- Net, L.I. y Limarino, C.O. (2000). Caracterización y origen de la porosidad en areniscas de la sección inferior del grupo Paganzo (Carbonífero Superior), cuenca Paganzo, Argentina. AAS. Revista vol. 7. N°1-2; 49-72. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=381747739003>
- Pellet C. y Hauck, C. (2017). Monitoring soil moisture from middle to high elevation in Switzerland: set-up and first result from the Somomount network. Published by Copernicus Publication on behalf of the European Geosciences Union. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3199-2017>
- Raboin, M.L. y Posner J.L. (2012). Pine or pasture? Estimated costs and benefits of land use change in the Peruvian Andes. *Mountain Research and Development*, 32(2):158-168.2012. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00099.1>
- Radulovich, R. (2009). Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense* 33(1): 121-124/2009. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6739/6427>
- Ramírez, C. y Cisneros, H. (2007). watershed profiles enhancing agricultural water productivity through strategic research. Contribution for the Sustainable Development of the Andes. 7, Nov. 2007. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/45072466\\_Andeian\\_system\\_of\\_basins\\_watershed\\_profiles\\_enhancing\\_agricultural\\_water\\_productivity\\_through\\_strategic\\_research\\_Contribution\\_for\\_the\\_Sustainable\\_Development\\_of\\_the\\_Andes\\_7\\_Nov\\_2007/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/45072466_Andeian_system_of_basins_watershed_profiles_enhancing_agricultural_water_productivity_through_strategic_research_Contribution_for_the_Sustainable_Development_of_the_Andes_7_Nov_2007/citation/download)
- Rivera, H. (2011). Geología general. Tercera Edición. Editorial Megabyte. UNMSM. Lima. Perú. Libro.
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J.L. y Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, periodo 1574-2012: causas, recurrencias y afectos geográficos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57: 177-192. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n57/art12.pdf>
- Sánchez Espinoza, J.A. y Rubiano Sanabria, Y. (2015). Procesos específicos de formación en andisoles, alfisoles y ultisoles en Colombia. *Rev. EIA*. N° 2. June 2015. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/nspe2/nspe2a08.pdf>
- Sánchez Martínez, M. y Carvacho Bart, L. (2013). Aproximación a la determinación del déficit hídrico en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile, a partir de imágenes MODIS y datos meteorológicos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 55: 109-124 (2013). Chile. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n55/art08.pdf>
- Veit, H. (1994). Estratigrafía de capas sedimentarias y suelos correspondientes en el centro y sur de Chile. *Revista chilena de Historia Natural*. 67: 395-403, 1994. Recuperado de [http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1994/4/Veit\\_1994.pdf](http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1994/4/Veit_1994.pdf)
- Yacoub, C. y A. Perez-Foguet. (2009). Assessment of terrain slope influence in SWAT modeling of Andean watersheds. *Geographical Research*. Vol. 11, 2009. EGU2009-6381. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/253414669\\_Assessment\\_of\\_terrain\\_slope\\_influence\\_in\\_SWAT\\_modeling\\_of\\_Andean\\_watersheds](https://www.researchgate.net/publication/253414669_Assessment_of_terrain_slope_influence_in_SWAT_modeling_of_Andean_watersheds)

