

Spatio-temporal variation of vegetation cover in the Santa Eulalia sub-basin (Lima, Peru) during the period 2003-2019

Haniel Josue Torres Joaquín, MSc.¹, Pedro Oswaldo Rivera Aguilar, Eng.²

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Perú, Haniel.torres@upn.pe, n00133472@upn.pe

Summary

The objective of the present study was to determine the spatio-temporal variation of vegetation cover in the Santa Eulalia sub-basin during the period 2003-2019. The methodology employed was univariable descriptive, focusing solely on vegetation cover as the variable of interest. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used for measuring vegetation cover, providing insights into the study area proximate to the Santa Eulalia sub-basin.

The results indicated a reduction in sparsely dense vegetation cover at a rate of 2.65 km²/year, with the surface area decreasing from 150 km² in 2003 to 136 km² in 2019. Similarly, densely dense vegetation cover decreased at a rate of 0.81 km²/year, declining from 19 km² in 2003 to 10.6 km² in 2019. Additionally, the cartographic map illustrated that dense vegetation cover is concentrated in the valleys, while sparse vegetation cover is distributed across the middle part of the sub-basin.

Furthermore, the study demonstrated a significant inverse relationship between changes in dense vegetation cover and surface water bodies, with a correlation coefficient (R) of -0.89. Similarly, changes in bare soil surface area were significantly correlated with changes in sparse vegetation cover, exhibiting an inverse correlation coefficient of -0.99.

Keywords: spatio-temporal variation, vegetation cover, SantaEulalia sub-basin, correlation coefficient

Variación espacio-temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia (Lima-Perú) en el período 2003 - 2019

Haniel Josue Torres Joaquín, MSc.¹, Pedro Oswaldo Rivera Aguilar, Eng.²

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Perú, Haniel.torres@upn.pe, n00133472@upn.pe

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en la subcuenca de Santa Eulalia durante el período 2003-2019. La metodología empleada fue descriptiva univariable, centrándose únicamente en la cobertura vegetal como la variable de interés. Se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) para medir la cobertura vegetal, proporcionando información sobre el área de estudio cercana a la subcuenca de Santa Eulalia.

Los resultados indicaron una reducción en la cobertura vegetal escasamente densa a una tasa de 2.65 km²/año, con el área superficial disminuyendo de 150 km² en 2003 a 136 km² en 2019. De manera similar, la cobertura vegetal densa disminuyó a una tasa de 0.81 km²/año, pasando de 19 km² en 2003 a 10.6 km² en 2019. Además, el mapa cartográfico ilustró que la cobertura vegetal densa se concentra en los valles, mientras que la cobertura vegetal escasa se distribuye en la parte central de la subcuenca.

Además, el estudio demostró una relación inversa significativa entre los cambios en la cobertura vegetal densa y los cuerpos de agua superficial, con un coeficiente de correlación (R) de -0.89. De manera similar, los cambios en el área de suelo desnudo estuvieron significativamente correlacionados con los cambios en la cobertura vegetal escasa, mostrando un coeficiente de correlación inverso de -0.99.

Keywords: variación espacio-temporal, cobertura vegetal, subcuenca de Santa Eulalia, coeficiente de correlación

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno ambiental muy preocupante para la humanidad, que afecta a los seres vivos en general y que en mayor cuantía altera a la vegetación, que a su vez constituye un importante recurso para el hombre [57].

El Perú cuenta con un 60% (73.3 millones de ha) de territorio cubierto por bosques, siendo el noveno país en el planeta con mayor superficie boscosa y ocupando el segundo lugar con mayor expansión forestal en América Latina [19]; sin embargo, la deforestación vegetal sigue siendo un peligro frecuente en nuestro territorio peruano con un 90% de deforestación por la quema de superficie boscosa y apertura de chacras pequeñas que corresponde entre 5-9 hectáreas, siendo una amenaza para la conservación y el uso sostenible de la superficie boscosa [43].

También, en otros lugares del territorio peruano se evidenció una pérdida irrecuperable de la vegetación, que necesitará de varios años y grandes volúmenes de precipitación para poder recobrar su estado natural, también se observa que hay grandes extensiones desérticas que cada vez se están

ampliando debido a la falta de agua y al calentamiento de la superficie [2].

La subcuenca Santa Eulalia cuenta con un área de 1 094 km² de superficie, siendo su principal afluente el Río Rímac [42], además su cobertura vegetal está compuesta por pajonales, matorrales arbustivos, especies propias de la agricultura andina, bosques, entre otros. Donde estas unidades vegetales también sufren pérdidas a través del tiempo generadas por distintos factores como la agricultura, turismo, variabilidad climática, urbanización y erosión de suelo [15].

Por lo proyectado, es fundamental el conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia [30]. Para ello, es necesario la aplicación de la teledetección como herramienta que permita medir los cambios temporales de unidad territorial vegetal [27].

II. METODOLOGÍA

Esta investigación es de tipo descriptiva, porque se detalla el contexto de la variación de la superficie vegetal y se busca precisar las características asociadas a ello en un análisis temporal y espacial. Con un diseño de investigación no experimental y con un enfoque cuantitativo de corte longitudinal, porque se observó la cobertura vegetal en su ámbito natural para analizarla en distintos periodos del tiempo para argumentar la variación ocurrida en ella a través de un periodo de 2003 a 2019 [31].

La población del presente estudio está conformada por todas las subcuencas altoandinas ubicadas en la vertiente del pacífico del territorio peruano. La muestra es determinada por un muestreo no probabilística por conveniencia, el cual resultado ser la subcuenca Santa Eulalia que abarca una extensión de 107736.86 ha.

Se utilizaron las imágenes landsat de los años 2003, 2007, 2011, 2015 y 2019. Seguido se consideró el índice de cobertura vegetal NDVI, el cual fue acompañado mediante la clasificación brindada por la referencia [10], quien indica los siguientes valores.

Tabla 1. Rangos de NDVI para Santa Eulalia

Rangos	Clase
-1 a 0.02	Agua

0.02 a 0.16	Suelo desnudo
0.16 a 0.25	Vegetación poco densa
0.25 a +1	Vegetación densa

Fuente: Referencia [10]

Los datos temporales de cobertura vegetal tuvieron un análisis descriptivo mediante gráficas temporales y tasas de cambio anual, asimismo se consideró el análisis inferencial de correlación de Pearson. De manera alterna, se consideró el análisis cartográfico.

III. RESULTADOS

A. Variación temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia

Las gráficas evidencian un descenso de la vegetación poco densa con una magnitud promedio de 2.65 km²/año. Descenso de la cobertura vegetal densa a una magnitud promedio de 0.81 km²/año. Un ligero incremento de la superficie de agua con magnitud promedio de 0.028 km²/año. Y el suelo desnudo muestra un incremento de 3.44 km²/año.

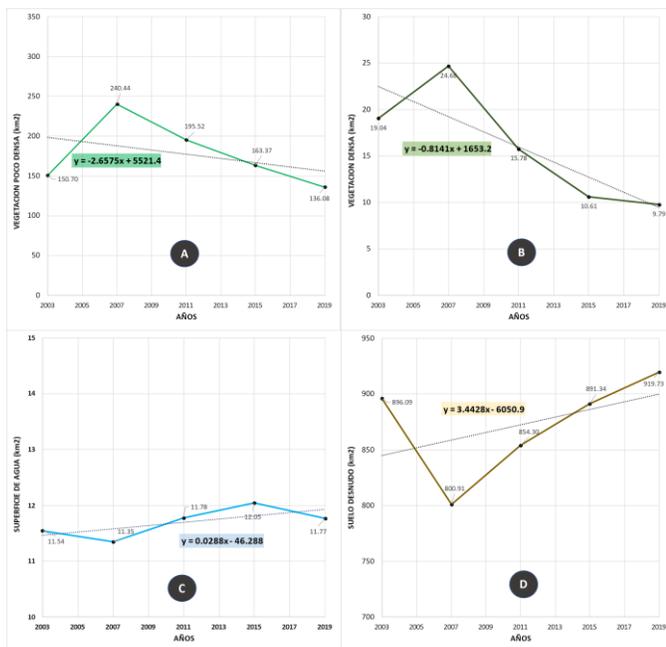


Figura 1. Dinámicas temporales de la cobertura vegetal poco densa (A), cobertura vegetal densa (B), superficie de agua (C) y suelo desnudo (D)

B. Tasa de cambio de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia

Se evidencia que la cobertura vegetal poco densa en el año 2007 incremento en 12.4% en comparación al año 2003. En los años posteriores la cobertura vegetal poco densa tuvo descensos ligeros de 4% a 5%. La cobertura vegetal densa al igual que la poco densa muestra un incremento en el año 2007 un

incremento de 6.7%. Y a partir del año 2011 la cobertura densa presento una reducción de la cobertura vegetal desde 10.6% a 2%, indicando la reducción de la afectación hacia las coberturas vegetales de clase densa.

La superficie hídrica muestra un comportamiento de incremento y descenso, donde los valores de incrementos superan de forma ligera a los valores de descenso. El suelo desnudo muestra un descenso significativo en el año 2007 con una magnitud de 2.7%. Y a partir del año 2011 hasta el año 2019, se evidencia tasas de incremento con valores desde 1.6% a 0.79%.

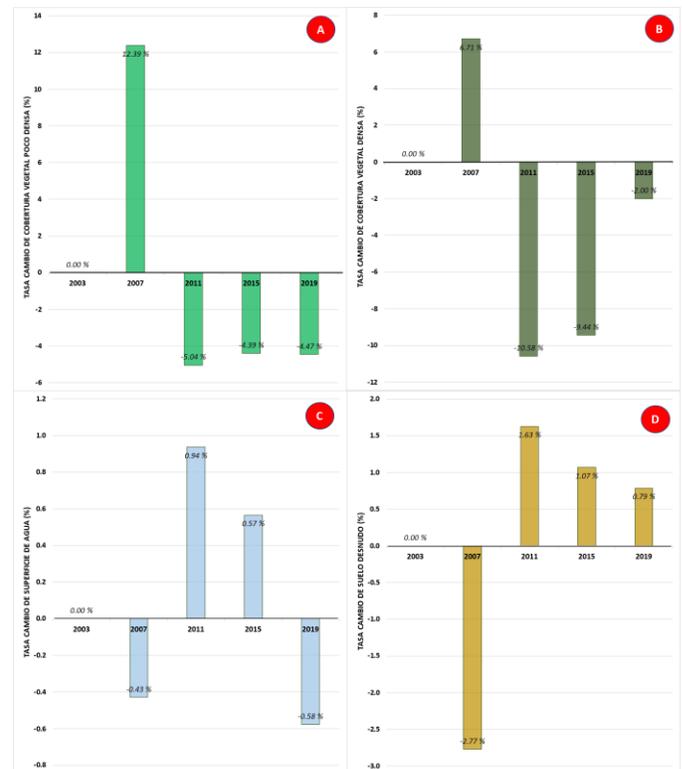


Figura 2. Tasas de cambio de la cobertura vegetal poco densa (A), cobertura vegetal densa (B), superficie de agua (C) y suelo desnudo (D)

C. Variación espacial de la cobertura vegetal de la subcuenca Santa Eulalia

Se visualiza la variación espacial de la cobertura vegetal, en ello se observa que las coberturas vegetales densas se ubican con mayor densidad en los valles altoandinos y que su reducción es significativa tanto en superficie como en pérdida por unidad. Asimismo, se visualiza que la cobertura vegetal poco densa muestra descenso que se localiza en las zonas medias y margen izquierdo de la subcuenca Santa Eulalia.

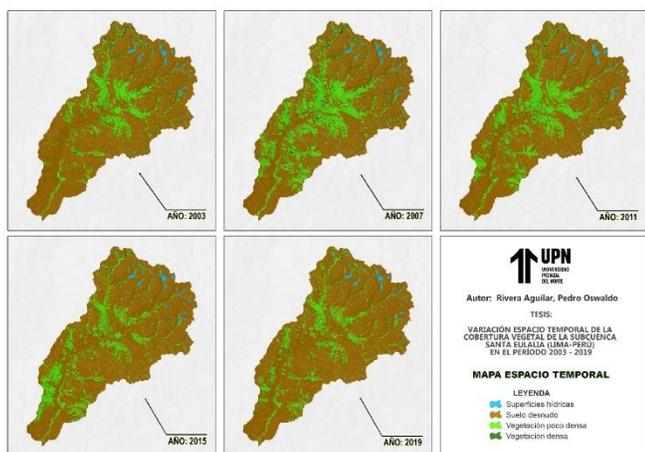


Figura 3. Variación espacial de la cobertura vegetal

A. Análisis de Correlación

Las relaciones significativas son las siguientes: “superficie de agua vs. vegetación densa” con una relación fuerte e inversa de -0.898 ; el cual significa que la variabilidad de las superficies de agua se relaciona con los cambios de las coberturas vegetales de tipo densa. La otra relación significativa fue “suelo desnudo vs. vegetación poco densa” con una relación fuerte e inversa de -0.997 , el cual significa que las vegetaciones poco densas son alteradas al grado de cambiar a suelo desnudo.

Tabla 2. Análisis de Correlación de Pearson

Variables	Parámetros	Superficie De Agua	Suelo Desnudo	VEGETACION POCO DENSA	VEGETACION DENSA
Superficie de Agua	Correlación de Pearson	-	0.612	-0.556	-0.898
	Sig. (bilateral)	-	0.272	0.331	0.039
Suelo Desnudo	Correlación de Pearson	0.612	-	-0.997	-0.822
	Sig. (bilateral)	0.272	-	0.000	0.088
Vegetación Poco Densa	Correlación de Pearson	-0.556	-0.997	-	0.774
	Sig. (bilateral)	0.331	0.000	-	0.125
Vegetación Densa	Correlación de Pearson	-0.898	-0.822	0.774	-
	Sig. (bilateral)	0.039	0.088	0.125	-

IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

En la variación espacial de la cobertura vegetal, se pudo notar que las vegetaciones de clase densa se ubican en zonas de valle, sobre todo en las zonas altas de la subcuenca Santa Eulalia y su abarcamiento superficial promedio es de 15.9 km^2 . Por otro lado, la cobertura vegetal de clase poco densa se ubica en toda la subcuenca y sobre todo en la parte media y valles de la zona baja de la subcuenca, asimismo, se evidencia que la superficie promedio que abarca es de 177.2 km^2 , el cual es superior a la cobertura vegetal densa. Por otro lado, la localización de las superficies de agua se encuentra en la zona alta de la subcuenca. La vegetación densa en este estudio está asociada a los bofedales y bosques de relictos, esto debido, a que

la subcuenca Santa Eulalia se ubica en los andes, lo que permite únicamente el desarrollo de vegetaciones de suelos húmedos [55]. Asimismo, la referencia [37], indica que las unidades boscosas de Santa Eulalia no supera los 6 km^2 de superficie, esto indica que la vegetación densa de Santa Eulalia está mayormente conformada por bofedales altoandinos. Por otro lado, las coberturas vegetales de clase poco densa están asociados a vegetaciones agrícolas, matorrales y pastizales [32]. Pues la referencia [36] menciona que los pastizales y matorrales son vegetaciones propias de relieves montañosos, pues crecen de manera natural en laderas y cumbres.

Como se pudo reflejar en el estudio, la vegetación de menor superficie fueron las coberturas vegetales de clase densa, esto se debe a su asociación con los bofedales y en fracciones mínimas los bosques. Pues la referencia [3] menciona que los bofedales son vegetaciones dependientes de la napa freática y de las escorrentías superficiales, por tanto, la ausencia de estos factores en un territorio impide el desarrollo de bofedales de forma natural. Situación opuesta a las vegetaciones leves, que están asociados a pastizales, matorrales y agricultura; pues estas unidades se desarrollan de manera inmediata en presencia de humedad [34].

Con relación a la variación temporal, se pudo evidenciar que la cobertura vegetal con mayor descenso temporal es la clase poco densa, pues la vegetación poco densa se reduce a una magnitud temporal de $2.65 \text{ km}^2/\text{año}$ mientras que la densa se reduce a $0.81 \text{ km}^2/\text{año}$. En cuanto a la superficie hídrica, se evidenció un incremento ligero y el suelo desnudo un incremento moderado. Estos resultados fueron similares al estudio realizado por la referencia [2], quien demostró una reducción de cobertura vegetal densa de $0.5 \text{ km}^2/\text{año}$.

Los descensos de cobertura vegetal en la subcuenca Santa Eulalia, se debe por muchos factores, pues al ser un territorio con relieve accidentado, la influencia de erosión generado por precipitaciones o por deslizamiento de masas, provocan la pérdida de cobertura vegetal. Asimismo, la referencia [60] menciona que el desarrollo alto de actividad ganadera en los centros poblados de Santa Eulalia provoca alteraciones de vegetaciones, ya sea por sobre pastoreo o por compactación de suelo (pisoteo de ganados). Por otro lado, la influencia de variabilidad climática tiene impactos en los cambios de las vegetaciones, pues un estrés hídrico provoca la alteración de las fenologías vegetales [34].

Con relación a los cambios de la superficie de los cuerpos de agua, se pudo reflejar que no hubo cambio significativo, esto se debe a que está compuesto por lagunas de montaña, pues estos cuerpos por lo general no evidencian cambios significativos en superficie, debido a que consta de altos volúmenes de agua, y solo se podrá evidenciar cambios, cuando la salida de agua es significativa [21], y eso solo puede darse con altos grados de evapotranspiración [23]. Por tanto, cambios

leves en superficie de agua de las lagunas, expresará pérdidas altas volumétricas del mismo recurso.

Con relación a la tasa de cambio temporal, se pudo reflejar que las coberturas vegetales, ya sea poco densa y la densa tuvieron un incremento significativo en el año 2007, con una tasa de cambio superficial de 12.4% y 6.7% respectivamente y los años siguientes tuvieron descensos con magnitudes de 2% a 10%. Asimismo, se evidenció que las pérdidas de cobertura vegetal comenzaron a reducir, indicando pérdidas leves de superficie. El bajo descenso de cobertura vegetal densa entre los años 2011, 2015 y 2019, se debe fundamentalmente a la implementación de proyectos relacionados a los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (Merese), pues estos mecanismos permiten recuperar los ecosistemas vegetales e hídricos en las cuencas hidrográficas [7]. Registros de estas acciones superan más de 40 proyectos dirigidas por Global Water Partnership, IDMA, The Nature Conservancy, Aquafondo – Fondo de Agua para Lima y Callao, SUNASS, USAID, COSUDE, Sedapal, CONDESAN y las Mancomunidades de Lurín y Santa Eulalia, que son direccionados a nivel de microcuencas [7][23][39][59][44].

Por otro lado, el análisis estadístico generado por la correlación de Pearson demostró que los cambios de superficie de las aguas tienen relación significativa sobre los cambios de la cobertura vegetal densa con un R de -0.89. Del mismo modo, hay relación significativa entre las superficies de suelo desnudo y las coberturas vegetales poco densas con un R de -0.55, ello indica que los cambios ocurridos en la superficie hídrica tienen respuesta inmediata en los cambios de cobertura vegetal densa. Según la referencia [60], existe una influencia de las superficies hídricas y la cobertura densa en la subcuenca Santa Eulalia de forma negativa, pues bofedales próximos a cuerpos de agua son afectados por inundación, generando alteraciones de los bofedales, ello explica la relación alta e inversa entre los bofedales y los cuerpos de agua [22].

La relación significativa entre las superficies de suelo desnudo y las coberturas vegetales poco densas se debe a que las vegetaciones densas están compuestas por pastizal, matorral, herbazales, unidades vegetales que son más vulnerables a la erosión y afectaciones antrópicas, es por ello, que estas unidades vegetales son cambiadas de forma rápida a una superficie de suelo desnudo [53].

Se **concluye** que la cobertura vegetal de clase poco densa registró una variación temporal al descenso expresado en una tasa de tasa de reducción de 2.65 km²/año y la cobertura densa a una tasa de 0.81 km²/año. Esto indica que, al transcurrir de los años, el mayor descenso superficial se refleja en la cobertura vegetal poco densa. La vegetación densa que está asociado a bofedales y bosques, requieren de mayor entrada hídrica para su supervivencia, y la cobertura vegetal poco densa que está asociado a pastizales y matorrales, son vulnerables a los

cambios en la entrada hídrica, sea por escorrentía o por precipitación.

Con relación a la tasa de cambio temporal se concluye que las coberturas vegetales tuvieron incremento significativo de aproximadamente 6% a 12% en año 2007 y los años siguientes un continuo descenso con amortiguación, esto indica que las pérdidas de cobertura vegetal se amortiguaron a medida que avanzaba el tiempo. Este proceso de amortiguación se debe a los distintos proyectos de infraestructura verde focalizados en la subcuenca.

En la variación espacial se determinó que la cobertura vegetal densa se ubica en zonas de valle y la cabecera de la subcuenca, con una superficie promedio de 15.9 km². No obstante, la cobertura vegetal de clase poco densa se ubica en laderas y valles de la zona media y baja de la subcuenca, con un promedio superficial de 177.2 km². La ubicación de las coberturas vegetales densas en cabecera se debe a que están compuesta por lo general por bofedales y las coberturas vegetales densas por agricultura, matorrales y pastizales.

El análisis estadístico demostró que la superficie de agua se relaciona significativamente de manera inversa con los cambios superficiales de la cobertura vegetal densa.

Del mismo modo, hay relación significativa inversa entre las superficies de suelo desnudo y las coberturas vegetales poco densas. Esto que las coberturas vegetales densas, son altamente sensibles a cambios en la dinámica hídrica de la subcuenca Santa Eulalia.

REFERENCIAS

- [1] ALDAS, Jessika. (2013). Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida. Tesis (Magister de Sistemas de Información Geográfica). Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1726/1/106528.pdf>
- [2] Alegre K. (2017). Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima, Perú: Universidad César Vallejo – Facultad de Ingeniería. 77p. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10803>
- [3] Alegre, K. V. (2017). Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676001>
- [4] Alencar, K., Parodi, M., Silva, R. y Opazo, A. (2019). Variabilidad Espacial y Temporal de la Cobertura Vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil. En *Dialogo Andino*, 58, pp. 139 – 150. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-26812019000100139
- [5] Alonzo, L. A., & Gónzales, M. A. (2010). Pérdida de la cobertura vegetal como efecto de la urbanización en Chetumal, Quintana Roo. *Quivera*, 12(2), 1–19. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676001>
- [6] Álvarez, J., & Agredo, G. A. (2013). Pérdida de la Cobertura Vegetal y de Oxígeno en la Media Montaña del Trópico Andino, Caso Cuenca Urbana San Luis (Manizales), (37), 30–48. Retrieved from

- <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n37/n37a04.pdf> Aduvire, O., & Aduvire, H. (2021). Diagnóstico y rehabilitación de bofedales afectados por pasivos ambientales mineros. *Revista de Medio Ambiente Y Minería*, 6(1), 17–25. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522021000100002
- [7] ANA. (2018). APORTES PARA LA CONSTRUCCION DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA GESTIÓN DE LAS INTERCONEXIONES ENTRE AGUA, ENERGÍA Y ALIMENTACIÓN. https://www.kas.de/documents/273477/273526/7_file_storage_file_25836_4.pdf/379be2bf-3764-cc3e-0131-9da3abc9dea?version=1.0&t=1539647487197
- [8] Bermúdez E. (2015). Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento de Chocó, 1990-2014. Tesis (Ingeniera en Información Geográfica). Manizales, Colombia: Universidad de Manizales – Facultad de Ciencias e Ingeniería. 51 p. en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2459/Palacios_Bermudez_Erika_2015.pdf?sequence=
- [9] Bravo, N. (2017). Teledetección Espacial. <https://acolita.com/descargar-libro-pdf-teledeteccion-espacial/>
- [10] Bravo, N. (2019). Teledetección Espacial y Procesamiento de Imágenes Satelitales de Acceso Gratuito con el Uso de Software Libres. Segunda Edición. Geomática Ambiental.
- [11] Caballero Vásquez, Julissa, & Espinal. (2021). Determinación de la variación de cobertura vegetal mediante Imágenes Satelitales en el Caserío Shira maca Huamachuco por la expansión minera 2000 - 2021. *Ucv.edu.pe*. <https://doi.org/hdl.handle.net/20.500.12692/81970>
- [12] Castellón, M. J., & De Paul, M. A. (2021). Variación Temporal y Espacial del NDVI en 30 años en la Cuenca del Río Reyes (Jujuy, Argentina). *Revista Científica FCA*, 14(2). Recuperado de: researchgate.net
- [13] Castro Illesca, J. P. (2021). Variación de Cobertura Vegetal de los Bofedales en los Centros Poblados de Tinyaclla y Pueblo Libre en los años 2016-2018-Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3986>
- [14] Cecenque, R. 2013. Manual para el tratamiento de imágenes satelitales con índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <http://www.monitoreosatelital.cl/wp-content/uploads/2014/11/Manual-Tratamiento-de-Imagenes-NDVI.pdf>
- [15] Charca, M. (2016). "Caracterización Hidrológica de la Sub Cuenca Santa Eulalia - Cuenca del Río Rimac-Departamento de Lima- Laguna Piti Provincia de Huarochirí [Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET]. In Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1916>
- [16] Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de la Teledetección Espacial. Retrieved from <http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/FUNDAMENTOS-DETELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- [17] Chuvieco, E. (1996). Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra Desde el Espacio Request PDF. 92 https://www.researchgate.net/publication/259011213_Teledeteccion_Ambiental_La_Observacion_de_la_Tierra_Desde_el_Espacio
- [18] Dagnino, J. (2014). Coeficiente de correlación lineal de Pearson. *Chil Anest.*, 43, 150-153. http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf
- [19] FAO, & PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- [20] FAO. (2020). Global Forest Assessment 2020: Main Report. Roma: FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/ca9825en/>
- [21] Flórez Lage, & Rios, K. (2022). Las lagunas de alta montaña. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 7(1), 25–49. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6581696.pdf>
- [22] Floríndez. (2019). Revisión crítica de los alcances y límites de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH): el caso de la subcuenca Santa Eulalia. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, 4, 25–45. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.002>
- [23] Forest Trends. (2013). MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS HÍDRICOS PARA LA CUENCA DEL RIMAC, DEPARTAMENTO DE LIMA, PERÚ. https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/rimac-mrsh_esp_4-16-14-pdf.pdf
- [24] García & Celadita. (2021). Estado de conservación del agua y de la vegetación de bofedal en la subcuenca del Valle de Santa Eulalia - Cuenca Rimac Huarochirí, Lima. *Upeu.edu.pe*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12840/4521>
- [25] García, E. (2008). El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua. Retrieved from <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2009/10/TEISIS-Garcia-EstarronErika-Julieta.pdf>
- [26] García, W. (2015). El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica. https://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan_Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregado/SistemaCuencaHidrogr%Elfica
- [27] Griffiths, P., Nendel, C., y Hostert, P. (2019). Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, 220, 135–151. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>
- [28] Guadalupe, A. O. B. (2021). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y usos del suelo mediante herramientas SIG y Teledetección en la Reserva Ecológica Mache Chindul (REMACH), 1996-2019 (Doctoral dissertation, Ecuador-PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental). <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/2511>
- [29] Guerrero García, E., & Campos Flores, A. (2017). Evaluación de la evolución de la cobertura vegetal a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el Parque Nacional Cerros de Amotape y la Reserva Nacional de Tumbes en el periodo 2000–2015. <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/353>
- [30] Hassan, Mahmoud. Hojarasca de Bombax ceiba L. (2018). amenaza la cubierta vegetal y la diversidad florística en un nuevo ecosistema urbano. 60, 4-6
- [31] Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación (McGraw-Hill (ed.); Sexta). <https://www.yumpu.com/es/document/view/62834439/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion-compressed>
- [32] Huaricallo, C. (2016). "CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA SUBCUENCA SANTA EULALIA - CUENCA DEL RÍO RÍMAC - DEPARTAMENTO DE LIMA" Laguna Piti Provincia de Huarochirí. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1916/1/Charca-Conf-SGP-Caract.hidrogeol%C3%B3gica_Santa_Eulalia.pdf
- [33] JARS, 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Available at http://www.jars1974.net/pdf/rsnote_e.html
- [34] Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R., Garza-Cedillo, R. D., Luna-Luna, M., & Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, 261–285. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>
- [35] Kometter, R. (2022). IDEAS SOBRE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y MANEJO DE LOS... ResearchGate; unknown. https://www.researchgate.net/publication/360630721_IDEAS_SOBRE_SOLUCIONES_BASADAS_EN_LA_NATURALEZA_PARA_LA_CONSERVACION_RESTAURACION_Y_MANEJO_DE_LOS_RECURSOS_NATURALES_EN_LA_CUENCA_DEL_RIO_RIMAC
- [36] Manchego, M. (2017). Variabilidad espacio-temporal de la vegetación en la cuenca Quilca-Chili durante el periodo 2005-2015 [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. In Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4043>
- [37] Manobanda Pilco, Ángel Vinicio. (2019). Estudio de factibilidad para la creación de una operadora turística en el barrio Santa Eulalia de la parroquia, Malchinguí cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha. *Utn.edu.ec*. <https://doi.org/02/ICA/1484>
- [38] Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice
- [39] Maturana, P. (2015). AquaFondo - Foro Retos y Desafíos de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos. AquaFondo. <https://aquafondo.org.pe/foro-retos-y-desafios-de-los-mecanismos-de-retribucion-por-servicios-ecosistemicos/>

- [40]Meer, F.; Jong, S. 2002. *Imaging Spectrometry. Remote Sensing and Digital ImageProcessing*. Kluwe Academic Publishers. 4: 111-197.
- [41]Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmindt, F., Blanco, F. (2011).
- [42]MINAGRI. (2010). Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac. Volumen 1. http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio_hidrologico_Cuenca_Rimac_volumen_1_texto_final_2010.pdf
- [43]MINAM. (2021). Nivel de referencia de emisiones forestales por deforestación bruta del Perú en el bioma amazónico. Lima: MINAM. Ver en: bit.ly/3r94FC1
- [44]MINAM. (2022). Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hidrológicos: estado de avance, cuellos de botella y aprendizajes de las iniciativas en el Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3124901/Documento%20de%20trabajo%202020-%20MERESE%20hidrologicos.pdf.pdf>
- [45]Moheme. (2020). La resurrección de los bofedales que necesita Lima. Fundacionmohme.org. <https://fundacionmohme.org/especiales/infraestructura-natural-recuperar-fuentes-agua/resurreccion-bofedales-necesita-lima/>
- [46]Mora-Vega, R., Saenz-Segura, F. & Le Coq, J.-F. (2012). Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica. Puentes entre el Comercio y el Desarrollo Sostenible, 20-23.
- [47]Moreno Muñoz, D. (2019). Reseña de Santa Eulalia del Campo en los retos del siglo XXI. *Investigaciones Geográficas*, 71, 241. <https://doi.org/10.14198/ingeo2019.71.12>
- [48]Ortiz, B. & Ramírez, C. (2021). Analisis de los Efectos Causados por la Deforestación Mediante Teledetección en los Cantones Olmedo y Paján Provincia de Manabí (Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador). <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMIREZ%20MORA%20CARLOS%20LUIS.pdf>
- [49]Osuna, A., Díaz, J., De Anda, J., Villegas, E., Gallardo, J., & Davila, G. (2015). Avaliação da mudança da vegetação e uso do solo na bacia do rio Tecolutla, Veracruz, México; no período de 1994-2010. *Revista Ambiente e Agua*, 10(2), 350–362. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1539>
- [50]PADILLA Jácome, María. (2014). Estudio multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal natural en el páramo de la parroquia Mulaló. Tesis (Magister en Agroecología y Ambiente). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7692/1/tesis027%20maestr%20c3%20ada%20en%20agroecolog%20c3%20ada%20y%20ambiente%20-%20cd%2020257.pdf>
- [51]Palacios, J., Zárate, R., Minaya, R., Martín, M., & Benavides, J. (2020). Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 7(1), 37–50. <https://doi.org/10.22386/ca.v7i1.263>
- [52]Pérez-Peña, J. V., AlAwabdeh, M., Galve, J. P., Azañón, J. M., Notti, D., Giaconia, F., & Booth-Rea, G. (2015). R-Profiler: un complemento para ArcGis que permite la extracción de perfiles normalizados y parámetros asociados. In *Una Visión Global Del Cuaternario. El Hombre Como Condicionante de Procesos Geológicos. XIV Reunión Nacional de Cuaternario*, Granada (pp. 183-186) recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/278964913>
- [53]Quiñonez, J. (2019). Estimación de la erosión hídrica potencial en la cuenca media y alta del río Rímac, aplicación del modelo Rusle. *Unmsm.edu.pe*. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12672/10762>
- [54]Rahman, H., & Dedieu, G. (1994). SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 123-143.
- [55]Ramos, D., Castro, V., & Sánchez, E. (2015). Caracterización de la vegetación a lo largo de una gradiente altitudinal en la comunidad de Cochahuayco, cuenca media del río Lurín, Lima. *Ecología Aplicada*, 14(1), 11–25. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162015000100002
- [56]REQUELME, José. (2019). Análisis de la pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso desuelo, mediante el análisis de imágenes satelitales, período 2000 al 2018; en el distritode Chadín, Chota. Tesis (Ingeniero Forestal). Cajamarca: Universidad Nacional deCajamarca. Perú.Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3538>
- [57]Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica*, 3(33), 243–253. <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>
- [58]SANDOVAL, Eliana y GARCIA, Karen.(2018). Análisis multitemporal de la deforestación del páramo de Sumapaz, por medio de imágenes Landsat OLI/TIRSdel año 2002 al 2017. Tesis (Ingeniería Catastral y Geodesia). Bogotá, Colombia:Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 50 p. Disponible en:<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7896/1/SandovalBayonaElianaCatherine2018.pdf>
- [59]Sedapal. (2022). recupera bofedales de Milloc con emblemático proyecto ecosistémico. Sedapal.com.pe. <https://www.sedapal.com.pe/notas-de-prensa/sedapal-recupera-bofedales-de-milloc-con-emblematico-proyecto-ecosistemico>
- [60]Segura, L. (2022). Análisis de la participación ciudadana en la conservación de los servicios ecosistémicos de los bofedales ubicados en la subcuenca Santa Eulalia en Lima. Pucp.edu.pe. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/20.500.12404/22206>
- [61]Seoane, R. S. (2021) ¿Qué es una cuenca? Modelos matemáticos en una cuenca de drenaje. ESTRATEGIAS DE REMEDIACIÓN PARA LAS CUENCAS DE DOS RÍOS URBANOS DE LLANURA MATANZARIACHUELO Y RECONQUISTA, 10. researchgate.net
- [62]SERFOR. (2015). Interpretación de la Dinámica de la Deforestación en el Perú y Lecciones Aprendidas para Reducirla. <http://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/interpretacion-dinamica-deforestacion-peru-lecciones-aprendidas>
- [63]Siqueiros, M., Rodríguez, J., Martínez, J., & Sierra, J. (2016). Situación actual de la vegetación del estado de Aguascalientes, México. *Botanical Sciences*, 94(3), 455–470. <https://doi.org/10.17129/botsci.466>
- [64]Slater, P.N. 1980. *Remote Sensing: Optics and Optical Systems*. Addison WesleyPublishing Company, Reading, Massachusetts.575p.
- [65]Sobrino, J. A. (Ed.). 2000. *Teledetección*. España: Servicios de publicaciones, Universidadde Valencia. 19p.
- [66]TARPLEY, J. D., SCHNEIDER, S. R. & MONEY, R. L. (1984). Global vegetationindices from the NOAA-7 meteorological satellite. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 23: 491-494.
- [67]Tipler, A. P. 2003. *Física para la Ciencia y la Tecnología*. Vol. 2. Ed. Reverte S.A. CuartaEdición. España.
- [68]Ugaz Suárez, E. C. (2020). Variabilidad temporal y espacial de la vegetación en la microcuenca del río Porcón durante el periodo 2003-2019. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11537/23922>
- [69]Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. D., Saucedo, R. M., Alcántara, P. C., Castro, R., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, (62), 21-37. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906202>
- [70]verde. Pilquen-Sección Agronomía, (11), 5.
- [71]Yongjun Yang, Peter D. Erskine, Alex M. Lechner, David Mulligan, Shaoliang Zhang, Zhenyu Wang. (2018). Detecting the dynamics of vegetation disturbance and recovery in surface mining area via Landsat imagery and LandTrendr algorithm. *Journal of Cleaner Production*. Volume 178. Pages 353-362, ISSN 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.050>.
- [72]ZOROGASTÚA, Percy, QUIROZ, Roberto y GARATUZA, Jaime. (2011). Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura – Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. Disponible en: http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/articulo_2_no_1_vol_10.pdf issn 1726-2216