

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y
TEMPERATURA SOBRE LA DINÁMICA DE LA
COBERTURA VEGETAL EN LA SUBCUENCA
QUISQUICHACA DURANTE EL PERIODO 1986-2018,
CANTA - PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Gianelly Patricia Durand Capcha
Diego Angel Guerrero Alarcon

Asesor:

M.Sc. Haniel Torres Joaquin
<https://orcid.org/0000-0001-9659-4250>
Lima – Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	Carlos Alberto Alva Huapaya	06672420
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Marieta Eliana Cervantes Peralta	29425048
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Luis Enrique Alva Diaz	43679478
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

ORIGINALITY REPORT

13%	13%	1%	1%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	7%
2	repositorio.puce.edu.ec Internet Source	4%
3	repositorio.upeu.edu.pe Internet Source	1%
4	repositorio.unap.edu.pe Internet Source	1%
5	repositorio.unc.edu.pe Internet Source	1%

DEDICATORIA

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo y motivación constante en cada paso de mi vida. Sin su respaldo, este logro no habría sido posible.

A mis profesores, por guiarme y brindarme su sabiduría y experiencia en mi formación académica. Gracias por su paciencia y enseñanzas que me han llevado hasta aquí.

A mis amigos, por su amistad y compañía en los momentos más difíciles, vuestras palabras de aliento me han ayudado a mantenerme enfocado y a perseverar en este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que han contribuido en la realización de esta tesis. En primer lugar, a mi asesor de tesis, por su guía, apoyo y paciencia durante todo el proceso. Sus comentarios y sugerencias han sido fundamentales para mejorar esta investigación.

Asimismo, quiero agradecer a los profesores y compañeros que me brindaron su tiempo y conocimientos para enriquecer mi formación académica. Sus enseñanzas y experiencias han sido de gran valor para la realización de este trabajo. Por último, quiero agradecer a mi familia, por su amor, apoyo incondicional. Gracias por ser mi red de contención y por alentarme a continuar cuando las cosas se ponían difíciles.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
INDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ANEXOS	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad Problemática	12
1.2. Bases Teóricas	20
1.1.1. Teledetección	20
1.1.1. El Clima	24
1.1.2. Cobertura vegetal	25
1.3. Formulación de Problema	29
1.3.1. Problema General	29
1.3.2. Problemas Específicos	29
1.4. Justificación	29
1.5. Objetivos	30
1.5.1. Objetivo General	30
1.5.2. Objetivos Específicos	31
1.6. Hipótesis	31
1.6.1. Hipótesis General	31
1.6.2. Hipótesis Especificas	31
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	33
2.1. Tipo de Investigación	33
2.2. Población y Muestra	33
2.3. Materiales e instrumentos	35
2.4. Procedimientos	36
2.4.1. Delimitación de área de estudio	36
2.4.2. Obtención de Datos	37

2.4.3.	Tratamiento de imágenes satelitales	38
2.4.4.	Determinación de Cobertura Vegetal por NDVI	40
2.4.5.	Determinación de precipitación y temperatura superficial	41
2.5.	Análisis de datos	44
2.6.	Aspectos Éticos	44
CAPÍTULO III. RESULTADOS		46
3.1.	Dinámica Temporal de la cobertura vegetal, precipitación y temperatura	46
3.2.	Dinámica espacial de la cobertura vegetal	49
3.3.	Análisis descriptivo	50
3.4.	Prueba inferencial de ANOVA	51
3.5.	Diferencia de medias de las variables de estudio según piso altitudinal	55
A.	Diferencia de medias de cobertura vegetal según piso altitudinal	55
B.	Diferencia de medias de precipitación según piso altitudinal	56
C.	Diferencia de medias de temperatura según piso altitudinal	58
CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES		60
REFERENCIAS		66
ANEXOS		80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Divisiones de la subcuenca Quisquichaca, según piso altitudinal.....	36
Tabla 2. Datos de imágenes satelitales	37
Tabla 3. Análisis descriptivo de las variables cobertura vegetal, precipitación y temperatura	50
Tabla 4. Distribución de normalidad de cada variable según piso altitudinal.....	51
Tabla 5. Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 1 “Yunga”	52
Tabla 6. Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 2 “Quechua”	53
Tabla 7. Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 3 “Suní”	53
Tabla 8. Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 4 “Puna”	54
Tabla 9. Prueba de varianza de Kruskal-Wallis	55
Tabla 10. Prueba Post-Hoc Games-Howell	56
Tabla 11. Prueba de Homogeneidad de Levene	57
Tabla 12. Prueba de Welch.....	57
Tabla 13. Prueba Post-Hoc de Games-Howell	57
Tabla 14. Prueba de varianza de Kruskal-Wallis	58
Tabla 15. Prueba Post-Hoc Games-Howell.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de la teledetección	21
Figura 2. Firma espectral del suelo.....	22
Figura 3. Comportamiento de la banda Roja e Infrarrojo del NDVI.....	27
Figura 4. Diagrama de proceso de clasificación supervisada	28
Figura 5. Mapa de Ubicación de la subcuenca Quisquichaca	34
Figura 6. Divisiones de la subcuenca Quisquichaca, según piso altitudinal	37
Figura 7. Corrección Atmosférica en ENVI.....	39
Figura 8. Flujograma de los procedimientos desarrollados en la investigación	43
Figura 9. Dinámica temporal de la cobertura vegetal, precipitación y temperatura.....	48
Figura 10. Análisis cartográfico de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Registro de Imágenes Satelitales.....	80
Anexo 2. Registro de la cuantificación de variables	80
Anexo 3. Matriz de Operacionalización de Variables.....	81

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo determinar la relación de la variación, precipitación y temperatura sobre los cambios de la cobertura vegetal en la subcuenca Quisquichaca. La metodología de la investigación es de tipo descriptivo, explicativo y longitudinal, pues se busca describir los cambios temporales ocurridos. Para la determinación de la cobertura vegetal se dio uso de la clasificación supervisada de NDVI, pues esta técnica permitió identificar la cobertura vegetal con mayor precisión; y las variables climáticas fueron adquiridos del producto grillaado PISCO-SENAMHI y WorldClim. Los resultados demostraron crecimiento de cobertura vegetal en pisos altitudinales bajas y medias de la subcuenca, con magnitudes promedios de incremento desde 116,48 ha hasta 320 ha. Sin embargo, en la zona alta de la subcuenca se evidenció un ligero descenso de la cobertura vegetal, con magnitud de pérdida de 25,6 ha/año. Las variables climáticas precipitación y temperatura mostraron incrementos, con tasas anuales de 1,78 mm hasta 6,38 mm y 0,027 °C hasta 0,033 °C respectivamente. Por otro lado, la prueba de ANOVA indico que las precipitaciones tienen influencia en los cambios de cobertura vegetal de los pisos altitudinales 1, 2 y 3; a excepción del piso 4 "Puna". Sin embargo, la temperatura no tuvo influencia en cobertura vegetal de los pisos altitudinales 1, 2 y 3; a excepción del piso 4 "Puna", donde este piso de mayor altitud la influencia viene dada por la temperatura máxima. Asimismo, los resultados indicaron que los elementos climáticos de estudio se comportan de manera distinta en los distintos pisos altitudinales. Se concluye que, el elemento climático más influyente en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca es la precipitación

Palabras claves: Temperatura, precipitación, Cobertura vegetal, teledetección, imágenes satelitales Landsat.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En las últimas décadas, se ha evidenciado la intensificación de la variabilidad atmosférica que es provocado por un desequilibrio climático, estos cambios están causando desastres como sequías e incrementos pluviales, así como también el incremento de la temperatura (Moufouma-Okia et al., 2019). Dichas modificaciones atmosféricas están alterando los ecosistemas vegetales, mediante escasez hídrica y daños por la erosión hídrica; asimismo, el incremento de temperatura está dañando la fisiología vegetal (Moufouma-Okia et al., 2019). Expertos de la Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mencionan que, hay mayor proliferación de especies arbustivas y tundra, debido al incremento del calentamiento global (más de 1,5 °C la temperatura mundial provocaría variaciones en las variables climáticas temperatura y precipitación) (Almut et al., 2020; Locatelli et al., 2009). Cabe mencionar que, existen especies vegetales (plantas mesófilas a xerófilas) resistentes ante las fluctuaciones atmosféricas como ausencia de lluvias e incremento de temperatura, pero son poco diversos (Zhi Li et al., 2016).

Estas variaciones climáticas evidentes no son ajenas para el territorio peruano, pues se evidencian aumentos de frecuencia e intensidad de Fenómenos como el Niño y la Niña, que generan incrementos de las precipitaciones en 20% en zonas húmedas e incremento de la temperatura de 2 °C (IPCC, 2007). Según la Comunidad Andina (2008), un incremento de la temperatura de 1,5 a 2,5 °C provoca cambios estructurales y de funcionamiento en los ecosistemas, desplazamiento de especies vegetales, reducción de disponibilidad hídrica y pérdida de cobertura vegetal (Comunidad Andina, 2008). Las modificaciones y pérdidas en la cobertura vegetal conllevan a la alteración de los ciclos hidrológicos, degradación del

suelo y por consecuencia un riesgo ecosistémico para las generaciones futuras (Mas et al., 2009 y Pinos, 2016).

Por otro lado, las pérdidas de cobertura vegetal y su modificación están impulsados por el impacto del calentamiento global, ya que una de las funcionalidades de las coberturas vegetales, es realizar procesos de fotosintéticos, donde el monóxido de carbono (CO_2) presentes en el aire son reducidos por medio de la absorción vegetal. Por tanto, una reducción de cobertura vegetal tendrá como consecuencia una reducción en el proceso de eliminación de CO_2 , compuesto químico que provoca el efecto invernadero y el ciclo de calentamiento global (Tiria, 2018).

En el Perú se ha mostrado preocupación por la pérdida de cobertura vegetal, más aún por ser un país con alta biodiversidad ecosistémica, donde el 60% de cobertura vegetal es de categoría boscosa. Pues en el 2019 se evidenció 150 000 hectáreas de cobertura vegetal, según el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático del MINAM.

Por otro lado, el país es nominado como un territorio susceptible al cambio climático, más aún por la presencia de heladas y fenómenos climatológicos locales (Rosas et al., 2009). Estudios han demostrado que la variabilidad atmosférica tiene relación con la cobertura vegetal, un claro ejemplo es la reducción de bosques en épocas secas del Cerro de Amotape - Piura (Campos y Guerrero, 2018). En los Andes Centrales se ha evidenciado un incremento de la temperatura con una magnitud de $1,3^\circ\text{C}$, provocando alteraciones en los pajonales, bofedales y arbustales (Flores, 2019). Las especies vegetales más afectadas son los del género Asterácea, una proyección indica que para el año 2040 presentará una reducción de 70%, esto bajo las tendencias de temperatura y precipitación ambiental (Quipuscoa, 2019).

La subcuenca de Quisquichaca se encuentra ubicada en el departamento de Lima, provincia de Canta. Esta unidad hidrográfica es fundamental, ya que es el principal tributario del río Chillón, río que contiene agua de beneficio para la población urbana y rural de Lima (ANA, 2006). La temperatura ambiental de la cuenca oscila de 2°C a 38°C según la clasificación de Thornwaite y Leslie R. Holdrige, y esto se debe a los distintos pisos altitudinales. Asimismo, el curso del río Quisquichaca es dependiente a las lagunas Chupa y Azulcocha, por formar parte de su nacimiento. Según los microclimas de la subcuenca, las coberturas vegetales presentes son diversas según su formación árida, semicálida y gélida (ANA, 2006). Según las proyecciones climáticas del SENAMHI, la subcuenca presentaría déficit hídrico anual de -8% para el 2030 y un incremento en la evapotranspiración, variable que tiene relación con la temperatura ambiental (Felipe et al., sf).

Los problemas acarreados por la variabilidad climática, son la reducción y fragmentación del hábitat vegetal (Meffe & Carroll, 1994; Murcia, 1995) y en consecuencia reducción de la biodiversidad (Saunders, Hobbs, & Margules, 1991), así como también una pérdida de los servicios ecosistémicos, como provisión y regulación hídrica. Estos cambios de la cobertura vegetal impactan en todo territorio, afectando el aspecto social, ambiental y económico (Lambin, 1994; Ordóñez et al., 2008). En este sentido, la identificación de los cambios de la cobertura vegetal en un territorio es importante para determinar y conocer el estado ecosistémico de una unidad territorial (Cortes & Rubio, 2016). Por ello, es necesario conocer los cambios a nivel temporal, para un análisis multianual.

La teledetección es un medio óptimo para estudios medioambientales en ciencias de la tierra, esto debido a la observación directa de las superficies terrestres, ello incluye cambios temporales (Keshtkar y Winfried, 2016). Asimismo, se requiere la integración y manipulación de sistemas de información geográfica (SIG); por otro lado, la teledetección

no requiere de alta inversión y tiempo para el análisis de terreno presencial (Gómez et al, 2016).

Las siguientes líneas, se proyectan los antecedentes que sustentan la presente investigación:

Alegre (2017), realizó una investigación que tuvo como objetivo, la evaluación y la determinación de la variabilidad espacial de la cobertura vegetal de la provincia de Yauyos durante un periodo de análisis de 20 años (1997 al 2017). La investigación tuvo como población y muestra toda la superficie terrestre que abarca la provincia de Yauyos. La metodología es de carácter descriptivo, no experimental y longitudinal, debido a que, solo se analizan los fenómenos ya ocurridos durante el periodo de tiempo mencionado. El análisis de la cobertura vegetal se dio por medio de la fotointerpretación de imágenes satelitales Landsat con ayuda del índice de vegetación NDVI, el cual permite identificar las coberturas vegetales del territorio. Asimismo, se consideró la clasificación supervisada con áreas de entrenamiento con cobertura vegetal obtenida de Google Earth pro. El análisis demostró que la cobertura vegetal general perdió 39492,3 ha, que resulta ser una pérdida de 10,5% de la superficie. La relación de la precipitación es una correlación de $R=0,8$ sobre los cambios de la cobertura vegetal, así lo demostró la prueba estadística de Pearson.

Bermúdez (2015), realizó una investigación que tuvo como objetivo analizar y cuantificar los cambios de la cobertura vegetal del pacífico norte de Colombia durante un periodo de 15 años. Para ello, la investigación tuvo como insumo la información de cobertura vegetal generada por imágenes Landsat y los procesos de clasificación supervisada en el programa Arcgis 10.x. La información climática fue adquirida de la plataforma del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales); estas variables climáticas tuvieron un análisis de interpolación geoestadística en Arcgis. Los resultados demostraron una reducción

de la cobertura vegetal de 196,7 ha hasta 97,1 ha, generando una pérdida de 23% en superficie. El análisis estadístico de correlación entre la precipitación/cobertura vegetal resultó una $R=0,4$ con un $p\text{-value} < 0,05$, indicando una relación significativa, y una correlación entre la temperatura/cobertura vegetal de $R=0,2$ con un $p\text{-value} > 0,05$, indicando la inexistencia de una relación estadística. Por tanto, la precipitación es el elemento con mayor afectación en la cobertura vegetal.

Quispe (2020), estudio las variaciones temporales de la cobertura vegetal de la cuenca Zapatilla. La muestra territorial es igual a la población (cuenca total); para tal propósito se dio uso de las imágenes satelitales Landsat y el índice de identificación NDVI, luego se aplicó la clasificación supervisada para la obtención de coberturas vegetales; para ello, el requerimiento de áreas de control generadas de imágenes Sas-Planet. Asimismo, se consideró la evaluación de variables climáticas, precipitación y temperatura, que fueron obtenidas de los registros meteorológicos del SENAMHI. Los resultados indican una reducción de 497,10 ha durante el periodo 1987 hasta 2015. Por otro lado, la temperatura y la evapotranspiración mostraron un incremento de $0,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,30\text{ mm/año}$, respectivamente. Situación contraria se evidenció en la precipitación, pues mostró un descenso de $56,4\text{ mm/año}$ durante el periodo de estudio. Ante ello, según la prueba de correlación de Pearson, se pudo observar que la precipitación mostró una relación de $R= 0,5$ sobre la cobertura vegetal y la temperatura, al igual que la evapotranspiración mostraron una relación baja de $R=0,25$ sobre la cobertura vegetal; esta última relación con un $p\text{-value}$ menor a $0,05$, indicando la inexistencia de una relación estadística.

Luna y Naquiche (2020), realizaron un estudio con el fin de conocer la relación de la variabilidad climática sobre los cambios de la cobertura vegetal. La investigación está marcada bajo un enfoque descriptivo correlacional. Por ello, se aplicó la teledetección como medio para obtener información de la superficie vegetal total. Las variables climáticas fueron

obtenidas de la base de datos de la NASA, el cual muestra información climática a nivel mundial. Los resultados demostraron una pérdida de cobertura vegetal del 235 ha. Asimismo, la correlación entre la cobertura vegetal y la precipitación fue de 31%, indicando una dependencia media de la cobertura vegetal frente a las precipitaciones. La relación entre la cobertura vegetal y la insolación resultó una correlación de Pearson de $R = -0,17$, esto indica una baja relación de la insolación bajo los cambios de la cobertura vegetal. Finalmente, se concluye que la variabilidad de los parámetros atmosféricos incide de manera directa e indirecta sobre los cambios de la cobertura vegetal, ya sea de manera positiva o negativa.

Campos y Guerrero (2018), realizaron un estudio con el fin de evaluar los cambios temporales de la cobertura vegetal de la reserva de Tumbes durante los años 2000 -2015. Para ello, emplearon un diseño de investigación descriptiva, usando instrumentos de observación directa, compilación de información, imágenes satelitales y datos atmosféricos; los cuales fueron procesados en software GIS. Los datos climáticos fueron adquiridos del SENAMHI – Perú. Para la determinación de la cobertura vegetal se aplicó el índice NDVI con rango superiores a 0,2 hasta 0,35, indican cobertura vegetal leve y superiores a 0,35 indica coberturas frondosas. Los resultados del estudio demostraron una relación directa entre cobertura vegetal y la precipitación con una R de Pearson de 0,6. La cobertura vegetal mostró un descenso de 124,75 ha y la dinámica de la precipitación muestra variabilidad alta de la precipitación, con un descenso de 10 mm/agua por año. Por tanto, la variabilidad de la precipitación afecta los cambios de la cobertura vegetal.

Luzón (2020), realizó un estudio con el fin de determinar la correlación entre las variables precipitación y temperatura sobre la cobertura vegetal, este último determinado por imágenes satelitales y la clasificación supervisada del NDVI. La metodología es de tipo experimental y descriptiva. Los datos de imágenes satelitales fueron adquiridos del USGS y

las variables climáticas de la plataforma de la NASA. Los resultados mostraron poca variación en la temperatura en el área de estudio ($0,008\text{ }^{\circ}\text{C/año}$), pero si variación moderadamente significativa de la precipitación (descenso 6 mm/año). Por otro lado, la cobertura vegetal mostró un descenso de $285,9\text{ ha}$ entre los años 1990 y 2016. Según el análisis de correlación de Pearson, la precipitación y la temperatura se relaciona con la cobertura vegetal con magnitudes de $0,6$ y $0,20$ respectivamente. La investigación concluye que la mayor variabilidad presente en la precipitación genera altos cambios en la cobertura vegetal.

De la misma manera, Loh et al. (2020) tuvieron como objetivo determinar el grado de afectación en la cobertura vegetal por consecuencia del cambio climático en Sudán durante el periodo 1985-2015. Para ello, dieron uso de las imágenes satelitales Landsat y la clasificación supervisada mediante imagen de Google Earth Pro; asimismo, las variables climáticas fueron adquiridas del territorio local a una escala mensual. Los resultados mostraron incremento de $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ por año. La precipitación mostró una tendencia de descenso de $0,12\text{ mm}$ por año. Por otro lado, la cobertura vegetal mostró una reducción de 122 ha durante el periodo de estudio indicado. Según el estadístico de correlación de Pearson, la precipitación muestra una relación moderada de $R=0,4$ sobre la cobertura vegetal y la temperatura una relación baja de $R=0,15$.

Nega et al. (2019), realizaron una investigación con el fin de evaluar los cambios temporales de la cobertura vegetal de Etiopia y su relación con las variables climáticas, precipitación y temperatura. Para ello, consideraron el uso de las imágenes satelitales Landsat y la clasificación supervisada del NDVI. Las variables climáticas fueron adquiridas del registro nacional de África Oriental. Los autores indican incremento de la precipitación y la temperatura a magnitudes de $4,5\text{ mm/año}$ y $0,02\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ respectivamente. La cobertura vegetal descendió de $210\ 177\text{ ha}$ en 1981 a $116\ 387$ para el año 2017. El análisis estadístico

demonstró correlaciones pocos significativos entre la cobertura vegetal, precipitación y temperatura. Pues según la correlación de Pearson, los resultados indican un $R= 0,15$ a $0,2$, indicando relaciones bajas. Pues según el territorio, el fenómeno de mayor relación es el aspecto antropogénico mediante el incremento poblacional y la actividad agrícola que fomentan el cambio uso de suelo.

Así mismo, Li et al. (2016), realizaron una investigación con el fin de identificar la respuesta de la cobertura vegetal frente a las variaciones hidroclimáticas en Asia central durante el periodo 1982-2013. Para ello, aplicaron un diseño descriptivo correlacional como muestra 400 mil hectáreas, lo que representa toda la extensión de Asia central. Para la determinación de la cobertura vegetal se aplicó la clasificación supervisada del NDVI de imágenes Landsat y las variables climáticas adquiridas de la unidad local. Los resultados del estudio expresaron que la temperatura aumentó en $0,03$ °C, igual que las precipitaciones, pues mostraron un incremento de $7,8$ mm/año; sin embargo, estas comenzaron a disminuir a partir del año 2000. La cobertura vegetal mostró un descenso promedio de 357 ha, según el análisis estadístico, de correlación de Pearson, la precipitación es la variable de mayor afectación en la cobertura vegetal, con un coeficiente $R=0,67$, mientras que la temperatura muestra una correlación media baja de $R=0,25$. Por lo que concluyen que, la dinámica vegetal es sensible a los efectos de la precipitación.

1.2. Bases Teóricas

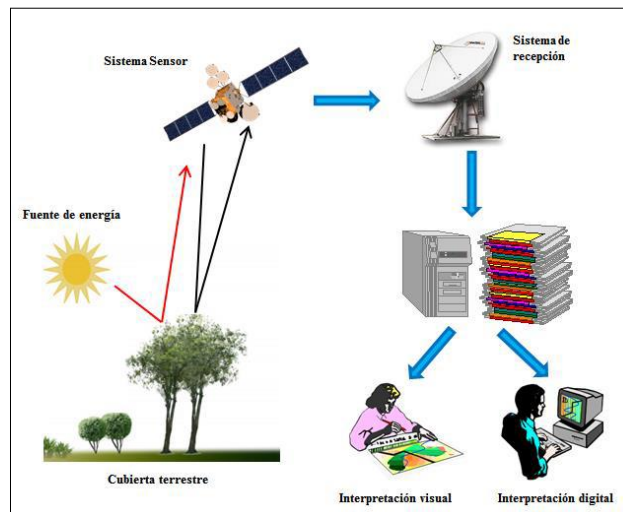
1.1.1. Teledetección

Según Frantz et. al, (2018), la teledetección es una técnica que permite conocer y evaluar un territorio o un fenómeno por medio de sensores remotos, asimismo los medios de teledetección evolucionan con el traspaso de los años, mejorando la calidad de la toma, espectros electromagnéticos de captura y periodo de captura. Los componentes de la teledetección están relacionados con la fuente de energía hasta la obtención del producto geoespacial, con la información geográfica captada (Pérez & Muñoz, 2006). Un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos:

- **Fuente de Energía:** es la fuente principal para el comportamiento electromagnético de una superficie terrestre. Existe la fuente pasiva, la luz solar o activa energía emitida por un sensor.
- **Cubierta terrestre:** es la superficie terrestre, sea continental o marítima (vegetación, suelo, rocas, construcción, etc.)
- **Sistema sensor:** Es la unidad tecnológica que capta las radiaciones reflejadas por la cubierta terrestre (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que moviliza puede ser un satélite, avión, globo.
- **Sistema de recepción:** Es el receptor ubicado en la superficie terrestre, es quien recibe la información espacial captada por el sensor.
- **Usuario final e interprete:** Es la persona que da uso a los productos espaciales obtenidos (imágenes satelitales), con el fin de completar un objetivo o estudio (Chuvienco, 1996).

Figura 1.

Componentes de la teledetección



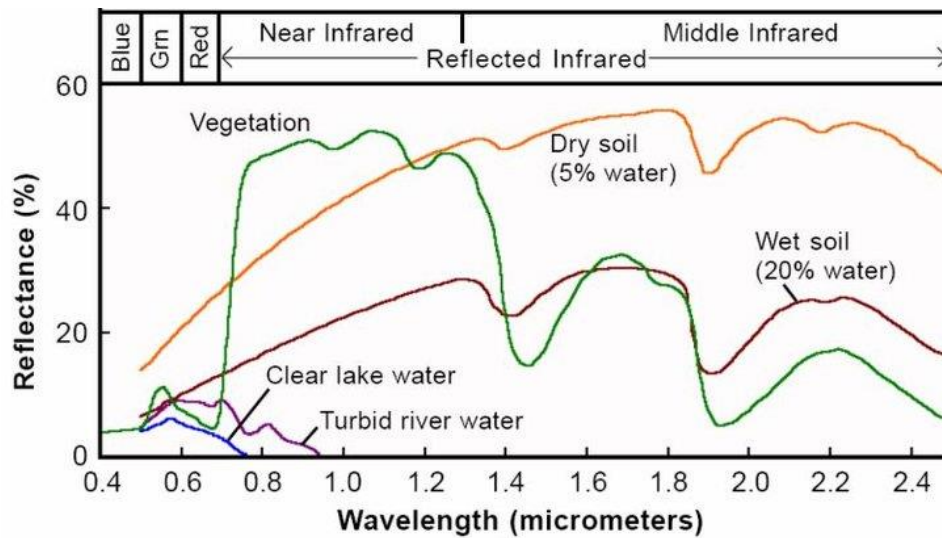
Fuente: Chuvieco (2006)

Respuesta electromagnética de la superficie

La superficie terrestre está compuesta por distintos elementos, como las unidades vegetales, las superficies hídricas, el material rocoso y dinámicas ambientales. Cada elemento superficial tiene un comportamiento electromagnético propio, sea en reflectancia o absorbanza de energía, este comportamiento único permite clasificar e identificar las unidades territoriales (Peguero, 2016). Cabe mencionar que los sensores remotos pasivos capturan la energía reflejada del sol, que es direccionada por la superficie terrestre en distintas longitudes de onda, ante ello tenemos al rango visible de $0,4 \mu\text{m} - 0,7 \mu\text{m}$, infrarrojo cercano de $0,7 \mu\text{m} - 1,3 \mu\text{m}$, infrarrojo medio de $1,3 \mu\text{m} - 8 \mu\text{m}$, infrarrojo térmico de $8 \mu\text{m} - 14 \mu\text{m}$ (Claverie et. al, 2018). En la figura 2, se observa la firma espectral del suelo para diferentes unidades territoriales, pues estas firmas permiten identificar cada unidad en función al rango de la longitud de onda.

Figura 2.

Firma espectral del suelo



Fuente: (Gidahatari, 2018)

Las imágenes satelitales

Son los productos obtenidos de la toma de información espacial de un terreno, el cual contiene valores de radiancia por cada pixel, cada banda electromagnética corresponde a un rango del espectro mencionado anteriormente (Hyypa et al., 2000). Del mismo modo, Lillesand y Kiefer (1987), menciona que las imágenes satelitales contienen información de los elementos territorial en la fecha de toma. Además, el procesamiento de las imágenes satelitales es necesario el uso adecuado de los sistemas de información geográfica, herramienta que permite evaluar y manipular datos espaciales, análisis de territorio y paisaje (Hiloidhari et al, 2017), mediante programas como ArcGIS, QGIS, ENVI, entre otros (Morales et al., 2016). Estas imágenes vienen compuestas por lo general por las siguientes bandas espectrales, el cual cada una de ellas son de utilidad para un destinado estudio territorial (Jaramillo y Antunes, 2018):

- Banda 1 (Coastal aerosol): Se usa para análisis de aerosoles y zonas costeros.
- Banda 2 (Azul): Se utiliza para estudios de aguas costeras, ayuda con la diferenciación territorial de suelo y vegetación, como la agricultura o forestación.

- Banda 3 (Verde): Para conocer el estado de vigorosa de una cobertura vegetal, también se emplea para la identificación de superficies urbanas.
- Banda 4 (Rojo): Diferencia las pendientes de vegetación y discriminación de plantas
- Banda 5 (Infrarrojo cercano (NIR)): Determina el contenido de biomasa
- Banda 6 (Infrarrojo onda corta (SWIR 1)): para conocer el grado de humedad de un suelo
- Banda 7 (Infrarrojo onda corta (SWIR 2): humedad del suelo y nubosidad
- Banda 8 (Pancromática): mejorar la resolución de una imagen
- Banda 9 (Cirrus): Detección de las nubes cirrus

En este estudio, se dio por uso a las imágenes satelitales de las misiones Landsat 5, 7 y 8; los cuales cumplen con la temporalidad planteada. Estas imágenes muestran una resolución espacial de 30m y una resolución espectral de 11 a 12 bandas (Franco, 2017).

Tratamiento de imágenes satelitales

Antes de la manipulación de una imagen satelital, requiere previas correcciones tanto como geográfica como los valores de píxeles (Jiménez et al., 2011). Pues según Zhao (2017), al descargar imágenes es necesario realizar la calibración, ya que presentan algunas distorsiones a causa de las partículas presentes en la atmósfera. Por ello, se cuenta con las siguientes correcciones: **Corrección radiométrica**, esta corrección consiste en homogeneizar la información de cada pixel bajo un rango estable y rellenar imperfecciones en los valores digitales (Gis & Beers, 2018). **La corrección Geométrica**, consiste en corregir las distorsiones geométricas presentes en una imagen, para ello se aplica una georreferenciación mediante puntos de referencia (Jiménez et al, 2011). Y finalmente la **Corrección Atmosférica**, este proceso elimina las distorsiones generadas por la radiancia

que genera la atmósfera mediante las moléculas o gases presentes, así como también los aerosoles (Jiménez et al, 2011).

1.1.1. El Clima

El clima es definido como la interrelación entre las variables climáticas (humedad, precipitación, temperatura, presión y viento) presentes en una unidad territorial, a un determinado tiempo. Asimismo, la variabilidad climática es conocido a los cambios en las magnitudes de los elementos climatológicos mencionados, el origen de estas variaciones se forma de manera natural, donde la causa es un fenómeno ambiental. Por otro lado, se presenta el origen antrópico, como la emanación de gases de efecto invernadero (Villar, 2019). El cambio climático, es originado por la variación de los valores climatológicos fuera de un estado normal, se expresa en precipitación anual, temperatura mensual o temperatura por temporada (NASA, 2017). El cambio climático surgente impacta de manera directa en la meteorología (Garreaud y Rutllant, 2006). Los elementos climáticos más significativos y que son de importancia en los cambios ecosistémicos son la precipitación y la temperatura.

- **Precipitación:** Es toda agua meteórica que proviene de las nubes en dirección a la superficie de la tierra por acción de la gravedad, se presenta en forma líquida (llovizna, lluvia, Granizo, etc.) y las precipitaciones en forma sólida (rocío, la helada blanca, etc.). La formación de las precipitaciones es a causa de las variaciones en la temperatura o presión (Musy, 2001). La precipitación es un factor primordial en la meteorología y en el ciclo hidrológico, su medición se expresa en milímetros, mientras que la intensidad en mm/h (milímetros por hora) (Sánchez, 2017).
- **Temperatura:** La temperatura es una variable atmosférica que mide el grado de agitación de las moléculas gaseosas presentes en la atmosfera, esta magnitud se expresa en grados Celsius (°C), Kelvin (°K) y Fahrenheit (°F). Los valores de temperatura son variables con relación a la topografía de un terreno, debido a que la

temperatura del aire disminuye a medida que aumenta la altura (Picquart y Carrasco, 2017).

1.1.2. Cobertura vegetal

Es toda superficie cubierta de unidades vegetales, estas pueden ser homogéneas o variadas (Morales, 2016) pueden ser desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques densos (Chazdon et al., 2016). También se incluyen las coberturas vegetales generadas por la acción humana, como las superficies agrícolas (Geoinstitutos, s.f).

Perdida de cobertura vegetal

Según Jalmacin (2017), la pérdida de la cobertura vegetal provoca un efecto sobre la biodiversidad y el ecosistema general circundante, pudiendo ocasionar infertilidad en el suelo, desequilibrio en la calidad del agua, pérdida de la flora y fauna, entre otros. Según Brack y Mendiola (2010), la cobertura vegetal en el presente estudio pertenece a la región altoandina, determinada por la cordillera de los Andes, que asciende de los 1000 msnm hasta los 5897 msnm, es por ello, la presencia de diferentes tipos de coberturas y especies de vegetación. Así mismo, los factores externos, como altitud, temperatura, precipitación, etc., también alteran los cambios de la cubierta vegetal. En la subcuenca Quisquichaca se presenta una vegetación conformada por plantas cactáceas, pajonales, gramíneas, arbustos, bofedales y bromeliáceas (Ramos et al., 2007).

Los elementos meteorológicos como la precipitación y la temperatura alteran la variabilidad de las coberturas vegetales, sobre todo cuando estos factores se encuentran en constante variabilidad temporal (Agbicodo et al., 2009). Pues las precipitaciones son tan negativos es la escasez como el exceso; donde un incremento de agua provoca la eliminación de oxígeno en el suelo, que es de beneficio para el proceso metabólico de las plantas. La pérdida de oxígeno en las raíces provoca la podredumbre de las mismas. A su vez, la absorción de agua

y nutrientes se ve inhibida a medida que las raíces dejan de funcionar (Brunele et al., 2009). Por otro lado, el proceso de incremento de precipitaciones en territorios con relieves accidentados genera la erosión por arrastre de sedimentos, generando pérdida de la capa arable, el cual contiene los nutrientes benéficos para las plantas (Echarri, 2011). Por otro lado, una escasez de lluvia genera una reducción del rendimiento de las plantas, debido a la acumulación de sales innecesario, que pudieron ser removidos por ósmosis natural (IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change, 2007). El incremento de la temperatura puede afectar directamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas y el metabolismo (Watson, 2001).

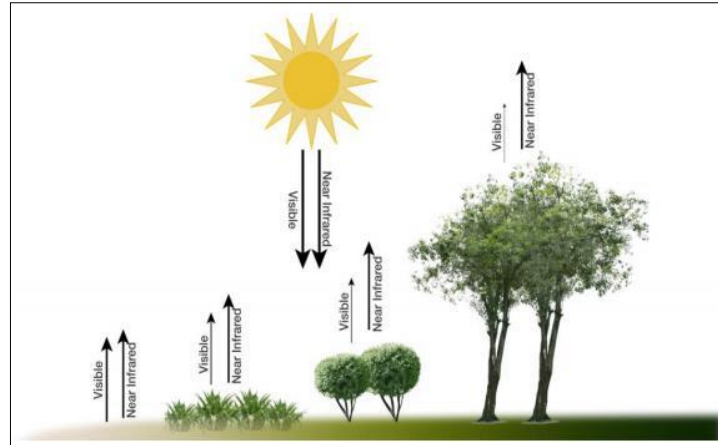
Índice de Vegetación

Para dar conocimiento temporal de las coberturas vegetales por medio de la teledetección, es necesario el uso de índices de vegetación, las cuales son cálculos algebraicos de bandas espectrales, que permite identificar las coberturas vegetales a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda (Gilabert et al., 1997). Ante ello, tenemos al **Índice Vegetativo Diferenciado NDVI**, índice que permite conocer las superficies de una vegetación, el estado, la abundancia de la vegetación, el tipo de vegetación y las condiciones de crecimiento. Se determina mediante una operación algebraica de la banda visible rojo y banda infrarrojo cercano, los valores de NDVI oscila entre -1 a +1 para cada pixel. Los valores negativos corresponden a superficies hídricas, valores próximos a cero corresponde a suelos desnudos y valores próximos a +1 corresponde a cobertura vegetal (Dagnachew et al., 2020; Al-Auf et al., 2020). El cálculo matemático del NDVI es el siguiente $NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$, donde NIR está representada por la longitud de onda cercana y RED por la longitud de onda de luz visible. El comportamiento de las radiaciones en la cobertura vegetal son las siguientes: Áreas con mayor vegetación absorben más luz visible

de clase rojo y el infrarrojo cercano refleja más luz hacia el medio atmosférico (Gonzaga 2014).

Figura 3.

Comportamiento de la banda Roja e Infrarrojo del NDVI

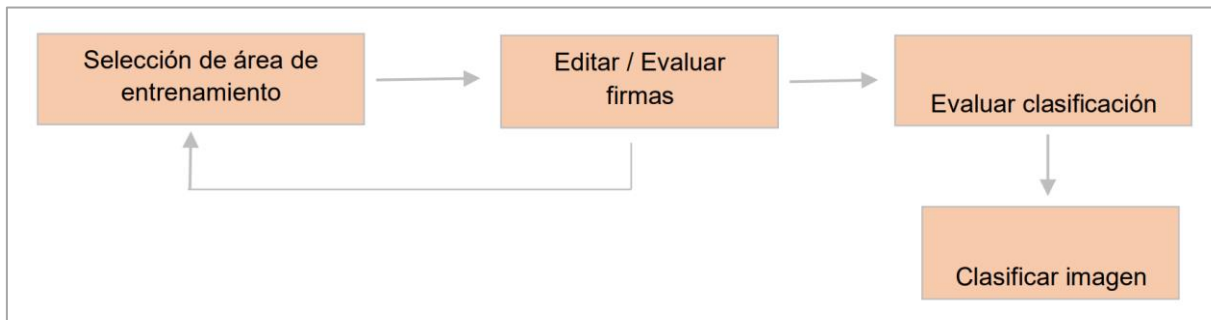


Fuente: (Gonzaga 2014)

En este estudio se optó por la clasificación supervisada del índice NDVI, pues la cobertura vegetal de la subcuenca en estudio es única y propia del territorio, por tanto, no se ajusta los valores o rangos predeterminados por autores secundarios. Ante ello, entendemos, por clasificación, a la agrupación de píxeles de una imagen satelital en grupo o categorías, esto debido a la coincidencia de subconjuntos por valores digitales semejantes, es decir, que un pixel coincide con un conjunto determinado, conocido como clase o categoría (Demir et al., 2018). Y la Clasificación supervisada, esta clasificación supervisada utiliza el conocimiento sobre el territorio para realizar la agrupación, esto pueden ser por puntos referenciados en campo (campos de entrenamiento), como la ayuda de una imagen natural y el reconocimiento previo de la zona, esta clasificación permite delimitar de la mejor manera un territorio (Savali y Ditix, 2016). El método que define a la clasificación supervisada es el Método de máxima probabilidad, el cual estima las cifras de niveles digitales (ND) de acuerdo a cada categoría que se ajuste a un tipo de distribución normal (QUIRÓS, 2009).

Figura 4.

Diagrama de proceso de clasificación supervisada



Fuente: (QUIRÓS, 2009)

Finalmente, un mapa temático, según la ICA (International Cartographic Association), es un producto cartográfico con el fin de mostrar resultados espaciales, asimismo transmiten información gráfica de un fenómeno geográfico (Membrado, 2015). El mapa temático debe contener la representación, con su respectiva grilla, orientación, leyenda y datos de elaboración (Orellana et ál., 2006). Esta herramienta permitirá visualizar los cambios espaciales de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca. Por otra parte, el análisis de cobertura vegetal de la subcuenca mencionada fue subdividida por pisos altitudinales, pues según las categorías determinadas por Pulgar Vidal (1967), la subcuenca abarca los siguientes pisos:

- Piso Yunga, de 500 a 2300 m de altitud, temperatura media de 22 °C, humedad relativa 65 %, clima cálido moderado, ligeramente húmedo.
- Piso Quechua, de 2300 a 3500 m de altitud, temperatura media de 16 - 0 °C; humedad relativa entre 65 – 84 %, clima templado.
- Piso Suni, de 3500 - 4000 m de altitud, temperatura de 14 – 3 °C, humedad relativa 70 %, clima templado frío.
- Piso Puna, de 4000 a los 4800 m de altitud, temperatura 8 °C en el día, humedad relativa 50 %, clima frío baja.

1.3. Formulación de Problema

1.3.1. Problema General

- ¿Cómo influye la variación de la precipitación y temperatura con la dinámica de la cobertura vegetal en la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la dinámica temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú?
- ¿Cómo es la variación de la precipitación de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú?
- ¿Cómo es la variación de la temperatura de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú?
- ¿Cómo influye la variación de la precipitación en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú?
- ¿Cómo influye la variación de la temperatura en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú?

1.4. Justificación

El presente estudio se justifica metódicamente, pues de forma remota se mide los cambios de cobertura vegetal con ventaja en análisis multitemporal, gracias a las imágenes satelitales Landsat, los cuales presentan información geográfica de importancia en el análisis de superficie.

La importancia de esta investigación radica en el análisis de la cobertura vegetal de una unidad hidrográfica, por su abundancia en recursos naturales y el beneficio hídrico que

afluye al río Chillón, donde dichos recursos son aprovechados por la población. Es por ello que esta investigación sirve para demostrar la eficiencia de la teledetección en la medición de los cambios de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca, así mismo dar a conocer la influencia de la precipitación y temperatura, en los cambios de la cobertura vegetal. De igual modo, dar a conocer los cambios en la cobertura vegetal permitirá tomar conciencia sobre el equilibrio del ecosistema, que regula las fuentes hídricas y por ende el balance hidrológico. El conocimiento de los cambios de cobertura vegetal, permitirán conocer la ocurrencia de estos cambios (Oliva, 2011) lo cual, serán de insumos para un proceso de ordenamiento Territorial, integración de proyectos de conservación vegetal y búsqueda de estrategias para regular o minimizar impactos (Lambin et al., 2001). Por otro lado, mayor pérdida de cobertura vegetal, mayor será el desarrollo de infertilidad del suelo y procesos erosivos; ello provocará nuevos impactos en el terreno. Los resultados de la investigación serán de base para el posterior desarrollo de investigaciones por parte de municipalidades principales y locales, desarrollo de otras investigaciones, y conocimiento para la población rural. Por otro lado, se podrá tener futuras investigaciones sobre proyecciones a futuro sobre los cambios. Finalmente, la población podrá priorizar el área de revegetación y de reforestación frente a las pérdidas de cobertura vegetal.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Determinar la influencia de la variación de la precipitación y temperatura en la dinámica de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dinámica temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.
- Identificar la variación de la precipitación de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.
- Identificar la variación de la temperatura de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.
- Evaluar la influencia de la variación de la precipitación en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.
- Evaluar la influencia de la variación de la temperatura en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

- Existe influencia significativa de la precipitación y la temperatura con la dinámica de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- La dinámica temporal de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca es negativo (descenso) durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.
- La variación de la precipitación en la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca muestran cambios significativos de descenso durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.

- La variación de la temperatura en la cobertura vegetal de la subcuena Quisquichaca muestran cambios significativos de incremento durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.
- Existe influencia significativa de la variación de la precipitación en la cobertura vegetal de la subcuena Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.
- Existe influencia significativa de la variación de la temperatura en la cobertura vegetal de la subcuena Quisquichaca durante el periodo 1986-2018, Canta-Perú.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de diseño no experimental, ante ello Hernández, Fernández y Baptista (2010), indican que en la investigación no experimental no se modifican las variables, por lo contrario, solo se registran los fenómenos observados en el medio. Por lo que la investigación, registrara los cambios de cobertura vegetal durante un periodo de análisis, al igual que los valores climáticos, precipitación y temperatura.

Por otro lado, la investigación es de tipo descriptivo - explicativo, pues según Hernández, Fernández y Baptista (2018), indican que el estudio descriptivo es identificar y proyectar las características de un fenómeno o escenario en estudio, del mismo modo un estudio explicativo tiene por finalidad dar respuesta al comportamiento temporal de la cobertura vegetal en función a las variaciones de los elementos climáticos precipitación y temperatura.

Asimismo, la investigación es de temporalidad longitudinal, ante ello Hernández, Fernández y Baptista (2010), detallan que un estudio longitudinal considera datos de una temporalidad amplia, con el fin de conocer la evolución de un fenómeno. Por ello, la investigación cuenta como periodo de estudio 1986-2018.

Variables y operacionalización

En la investigación la variable dependiente es la cobertura vegetal de la subcuena Quisquichaca y las variables independientes son la precipitación y la temperatura (Ver anexo 3).

2.2. Población y Muestra

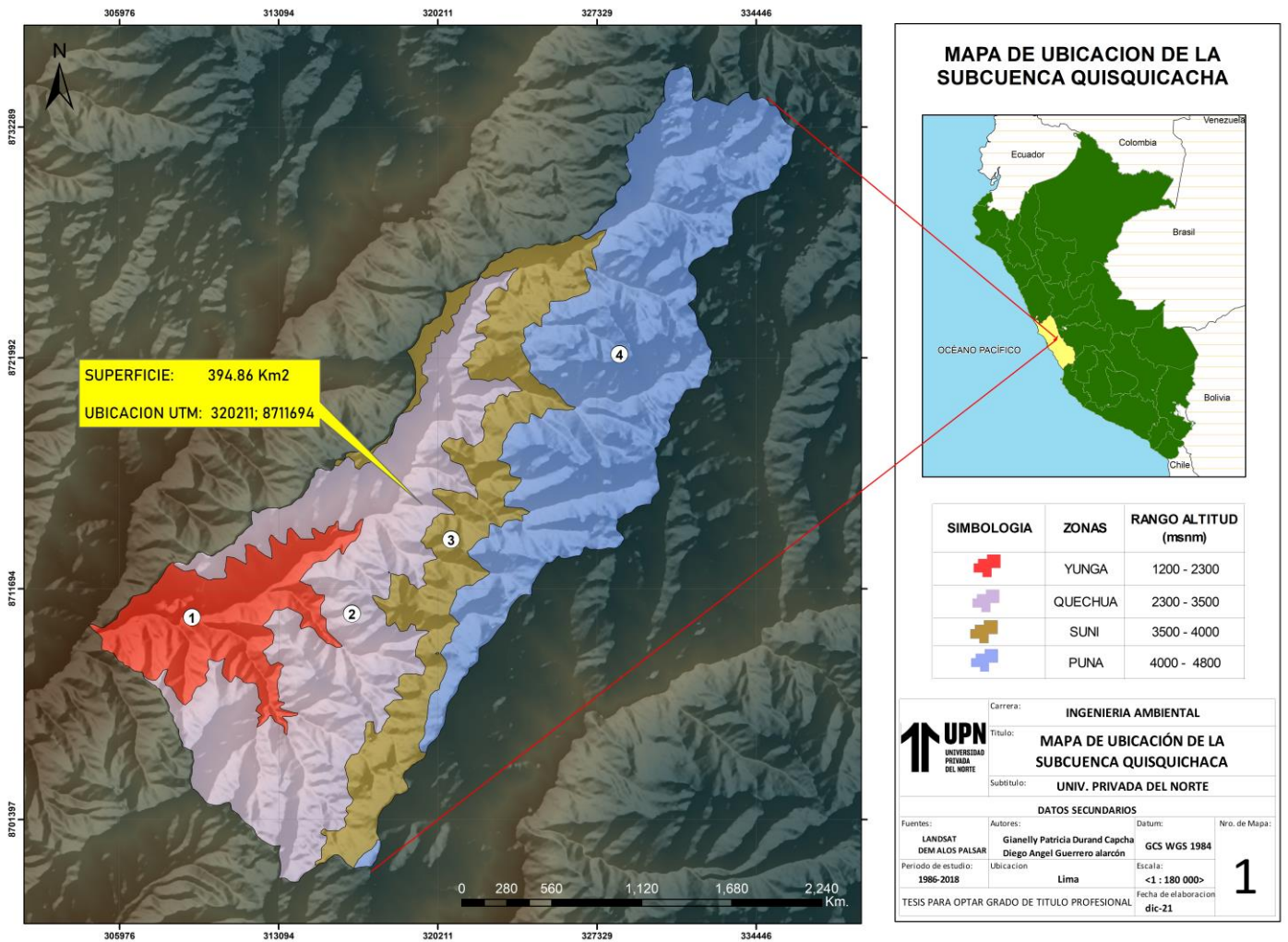
La población en estadística se refiere al conjunto de objetos o personas que cumplen ciertos requisitos, y se definen bajo ciertas cualidades, las cuales sirven para reconocer y establecer

los elementos representativos (López, 2004). La población del presente estudio es todas las subcuencas altoandinas ubicadas en toda la franja altitudinal costera con características hidrográficas homogéneas.

Por otro lado, la muestra, es el subconjunto representativo de una población (López, 2004). El tipo de muestreo para la investigación es tipo no probabilístico por conveniencia, por tanto, la muestra resulta ser la extensión hidrográfica que abarca la subcuenca Quisquichaca, que es aproximadamente 394,8 km² (ver figura 5)

Figura 5.

Mapa de Ubicación de la subcuenca Quisquichaca



2.3. Materiales e instrumentos

Materiales:

Los materiales considerados para el cumplimiento de los objetivos planteados son:

- Laptop Hp Core Ryzen 5 - 12GB RAM
- Disco duro externo Seagate 8 terabites
- Libretas de apuntes
- Software ArcGIS 10.8
- Software SPSS v.26
- Software QGIS 3.16
- Software ENVI 5.3.2
- Software Google Earth Pro
- Portales EROS - EarthExplore, para la visualización de imágenes de satélites históricas.

Técnicas e Instrumentos:

La técnica empleada para la recolección de datos en la investigación fue la **observación no experimental**, lo cual es definida como una técnica que permite seleccionar los datos por medio de la distinción de la observación (Chávez De Paz, 2014). La ficha que acompaña a la técnica de observación no experimental es una ficha de observación (Ver anexo 1).

La técnica empleada para el análisis de datos fue el **geoprocesamiento espacial**, para la cobertura vegetal; y se aplicó como técnica de **interpolación espacial por isoyetas** a los elementos climáticos, precipitación y temperatura. Los instrumentos a estas técnicas fueron fichas de registros de la cobertura vegetal temporal (hectáreas), precipitación superficial (mm/km²) y temperatura superficial (°C/km²) (ver anexo 2).

2.4. Procedimientos

2.4.1. Delimitación de área de estudio

El área de estudio está marcada por la subcuenca Quisquichaca, el cual pertenece a la cuenca hidrográfica del Chillón, Lima, Perú. La subcuenca se encuentra en las coordenadas UTM (320211 E, 8711694 N). Políticamente, la subcuenca del río Quisquichaca se ubica en los distritos de Lachaqui, Arahua, Santa Rosa de Quives y Canta, pertenecientes a la provincia de Canta del departamento de Lima (ANA, 2006).

El área de estudio presentó 4 divisiones según el piso altitudinal, recomendado por Javier Pulgar Vidal (1938), pues la subcuenca Quisquichaca presenta superficies territoriales desde 1200 hasta 4800 msnm. Basándonos en ello tenemos la siguiente tabla con las características de las cuatro divisiones.

Tabla 1.

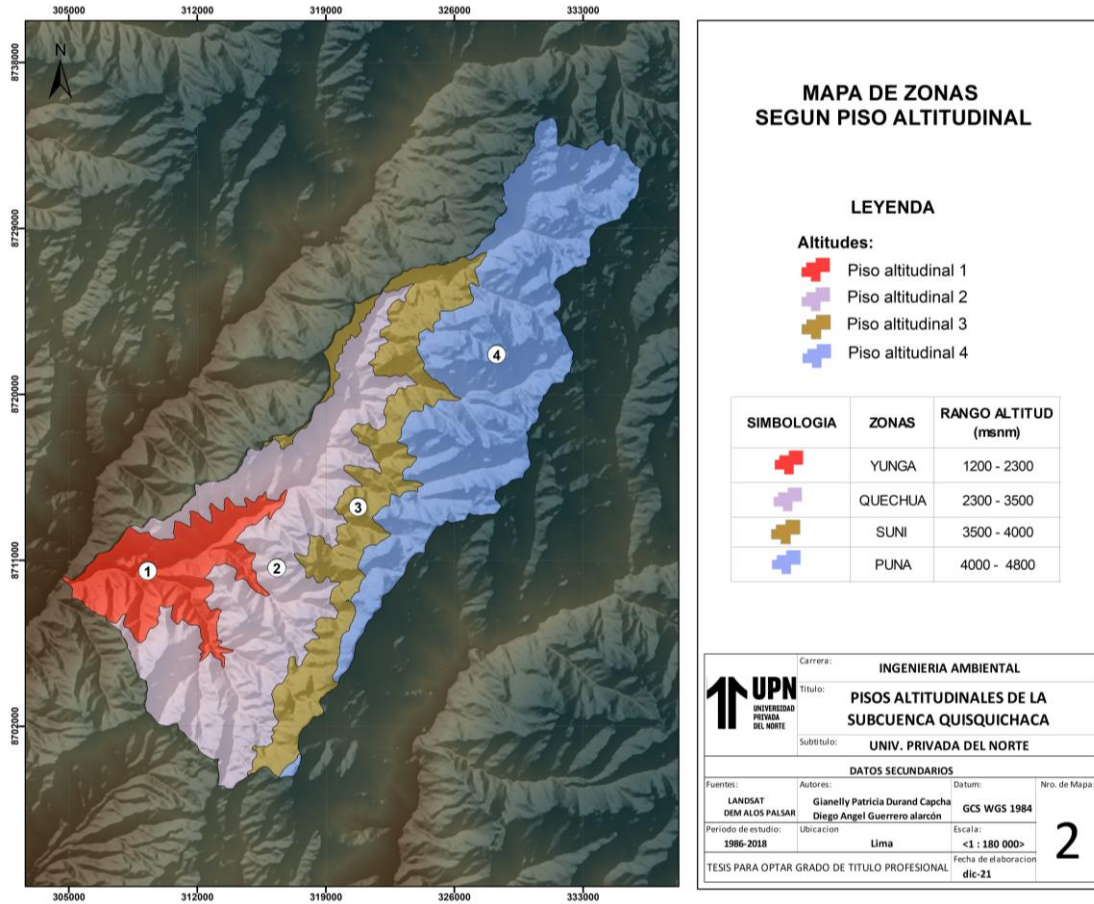
Divisiones de la subcuenca Quisquichaca, según piso altitudinal

DIVISIONES	PISO ALTITUDINAL	RANGO DE ALTITUD
Piso Altitudinal 1	Yunga	1200 m.s.n.m. hasta los 2300 m.s.n.m.
Piso Altitudinal 2	Quechua	2300 m.s.n.m. hasta los 3500 m.s.n.m.
Piso Altitudinal 3	Suni o Jalca	3500 m.s.n.m. hasta los 4000 m.s.n.m.
Piso Altitudinal 4	Puna	4000 m.s.n.m. hasta los 4800 m.s.n.m.

Fuente: (Anaya, 2015)

Figura 6.

Divisiones de la subcuenca Quisquichaca, según piso altitudinal



2.4.2. Obtención de Datos

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales obtenidas fueron de Landsat 5, 7 y 8, de los cuales se encuentran almacenados en la plataforma virtual del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), estas imágenes son de libre acceso. La ubicación del área de estudio se ubica en el cuadrángulo Landsat (Path 007 - Row 068). En la tabla 2, se precisa las imágenes Landsat consideradas en el estudio, según su temporalidad.

Tabla 2.

Datos de imágenes satelitales

Fuente	Sistema geodésico	Zona	Misión	Periodo	Fecha de obtención	Resolución
--------	-------------------	------	--------	---------	--------------------	------------

USGS	WGS 84	18 S	Landsat 4-5 TM	1986 - 2011	21 Julio	30 m
			Landsat 7 ETM	2012	19 Julio	30 m
			Landsat 8 OLI/TIRS	2013 - 2018	22 Julio	30 m

Datos climáticos

Los datos de precipitación y temperatura fueron obtenidos del instituto nacional de meteorología y climatología SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>), mediante el producto grillado, el cual presenta datos desde 1981 hasta 2016, el cual presenta información con los tratamientos estadísticos correspondientes realizados por la institución, para el complemento de información climática, se utilizó los datos de World-Clim para completar el periodo 2017-2018, estos fueron extraídos de la página oficial (<https://www.worldclim.org/data/index.html>).

Cabe precisar que el producto de SENAMHI está bajo función algorítmica de fusión se basa en métodos de interpolación geoestadísticos y deterministas que incluyen tres fuentes de lluvia diferentes: (i) el conjunto de datos de pluviómetros rellenos y con control de calidad nacional, (ii) climatologías de precipitación combinadas de medidores de radar y (iii) Precipitación infrarroja del Grupo de Riesgos Climáticos (CHIRP) estimaciones. Los resultados de la validación sugieren que las estimaciones de precipitación son aceptables y muestran el desempeño más alto para la costa del Pacífico y el flanco occidental de los Andes (Fernandez et al., 2021).

2.4.3. Tratamiento de imágenes satelitales

Los tratamientos aplicados a las imágenes satelitales Landsat de las misiones 5, 7 y 8, los tratamientos son los siguientes:

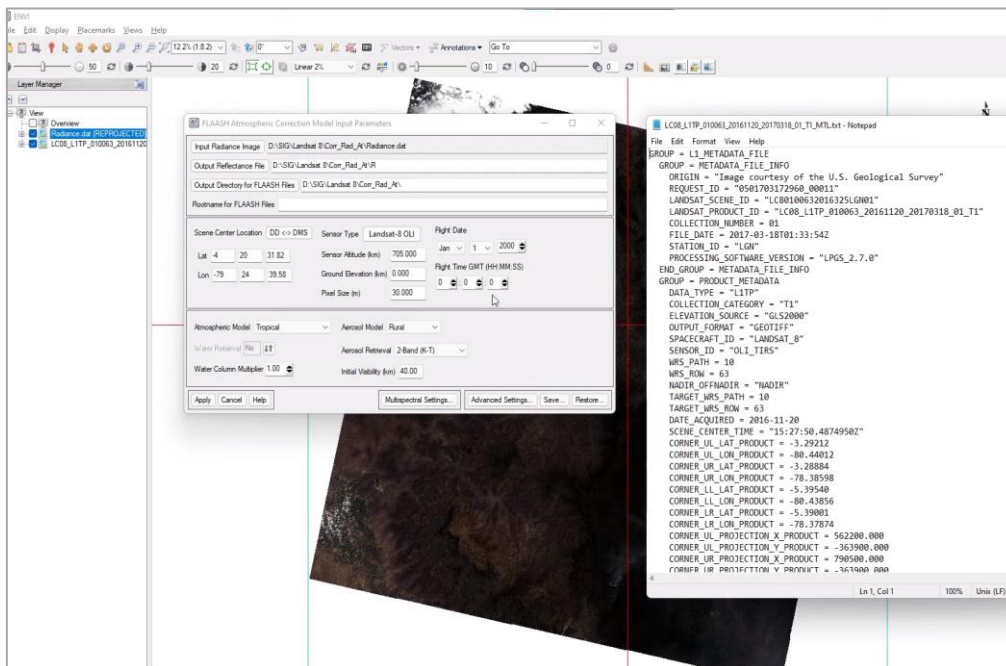
La corrección radiométrica: Consistió en calibrar los píxeles de cada imagen satelital por unidades de energía reflejada, obteniendo como producto una imagen en unidades de

radiancia (energía medida por el sensor satelital) (Heileen et al. 2014). Para ello se aplicó el algoritmo de FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) que se encuentra en el software ENVI.

Calibración atmosférica: La herramienta FLAASH también permitió corregir los niveles de interferencia digital generada por las nubes o aerosoles, el algoritmo permite solo obtener las firmas espectrales del suelo, agua, vegetación (superficie). Esto quiere decir la reflectividad únicamente de la superficie a partir de una imagen de radiancia (Paz, 2018).

Corrección geométrica: Las imágenes digitales obtenidas presentan distintas distorsiones geométricas y desplazamientos que son causados por la inclinación del sensor (Coluzzi et al., 2018). Por ello, es necesario la reposición de los píxeles con coordenadas de referencia. Para ello, se aplicó la re-proyección del sistema de referencia al sistema proyectada UTM 18s, así como también la georreferenciación. Estos procesos se llevaron a cabo en el software ArcGIS 10.8 y Qgis 3.16.

Figura 7.
Corrección Atmosférica en ENVI



2.4.4. Determinación de Cobertura Vegetal por NDVI

Determinación de NDVI

Para calcular la cobertura vegetal, se aplicó el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI que se determina mediante la siguiente ecuación: $NDVI = (NIR - Rojo) / (NIR + Rojo)$, donde NIR (reflectancia infrarroja) y Rojo (Banda visible rojo).

Clasificación supervisada

Con este método se crean agrupamientos espectrales o clústeres, funciona bajo una característica de semejanza y así formar una clase (vegetación, suelo desnudo, material rocoso, etc.) (Rodrigo, 2015, 42p). Los pasos de la clasificación supervisada son los siguientes:

- Se procedió a clasificar el ráster de NDVI por medio de cada píxel de una celda, la clase es Cobertura vegetal, esta unidad de estudio se identificó por la combinación de bandas de color natural, el cual mediante percepción visual se identifican zonas de cobertura vegetal, seguido se generó polígono de esas áreas perceptibles para su posterior clasificación supervisada.
- Posteriormente, se generó y guardó un archivo de firma espectral con la herramienta Create Signatures que se encuentra en la ruta de herramienta de ArcGIS 10.8 (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Create Signatures*).
- Después se procedió a la obtención de la clasificación supervisada del área de estudio (subcuenca Quisquichaca) con la herramienta Maximum Likelihood Classification que se encuentra en la ruta (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Multivariate > Maximum Likelihood Classification*), usando el raster de NDVI y el shapefile de clase (polígonos de control de asignación cobertura vegetal).

- A continuación, se hizo la conversión del ráster a shapefile (unidad vectorial), para ello se utilizó la herramienta Conversion Tools (*ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon*).
- Finalmente, se determinó la magnitud de superficie abarcada por la cobertura vegetal en hectáreas, este proceso se determinó para las 4 divisiones según piso altitudinal. Esta información se almacenó en hojas de Excel.

2.4.5. Determinación de precipitación y temperatura superficial

Para la obtención de precipitación y temperatura superficial a partir de los datos puntuales obtenidos de SENAMHI y WorldClim, se dio uso los programas R y RStudio para la extracción densa de los valores climáticos, los datos obtenidos fueron alojados en una tabla de Excel para su posterior geoprocésamiento y determinación de precipitación y temperatura superficial. Para ello, se aplicó la técnica de Isoyetas e Isotermas, el cual permite adquirir valores climáticos por superficie (Pizarro, Ramirez, & Flores, 2003).

Ecuación 2. Fórmula para la determinación precipitación superficial

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left[\frac{P_{i+1} + P_i}{2} \right] \right) * S_{i+1;i}}{S_t}$$

Donde:

P_m = Precipitación media del área geográfica en estudio (mm/km²).

P_{i+1} = Precipitación de la isoyeta 1+i (mm).

P_i = Precipitación de la isoyeta i.

$S_{i+1;i}$ = Superficie comprendida entre dos isoyetas (km²).

S_t = Superficie total (km²).

Ecuación 3. Fórmula para la determinación de la temperatura superficial

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left[\frac{T_{i+1} + T_i}{2} \right] \right) * S_{i+1;i}}{S_t}$$

Donde:

T_m = Temperatura media del área geográfica en estudio ($^{\circ}\text{C}/\text{km}^2$).

T_{i+1} = Temperatura de la isoterma $1+i$ ($^{\circ}\text{C}$).

T_i = Temperatura de la isoterma i .

$S_{i+1;i}$ = Superficie comprendida entre dos isoyetas (km^2).

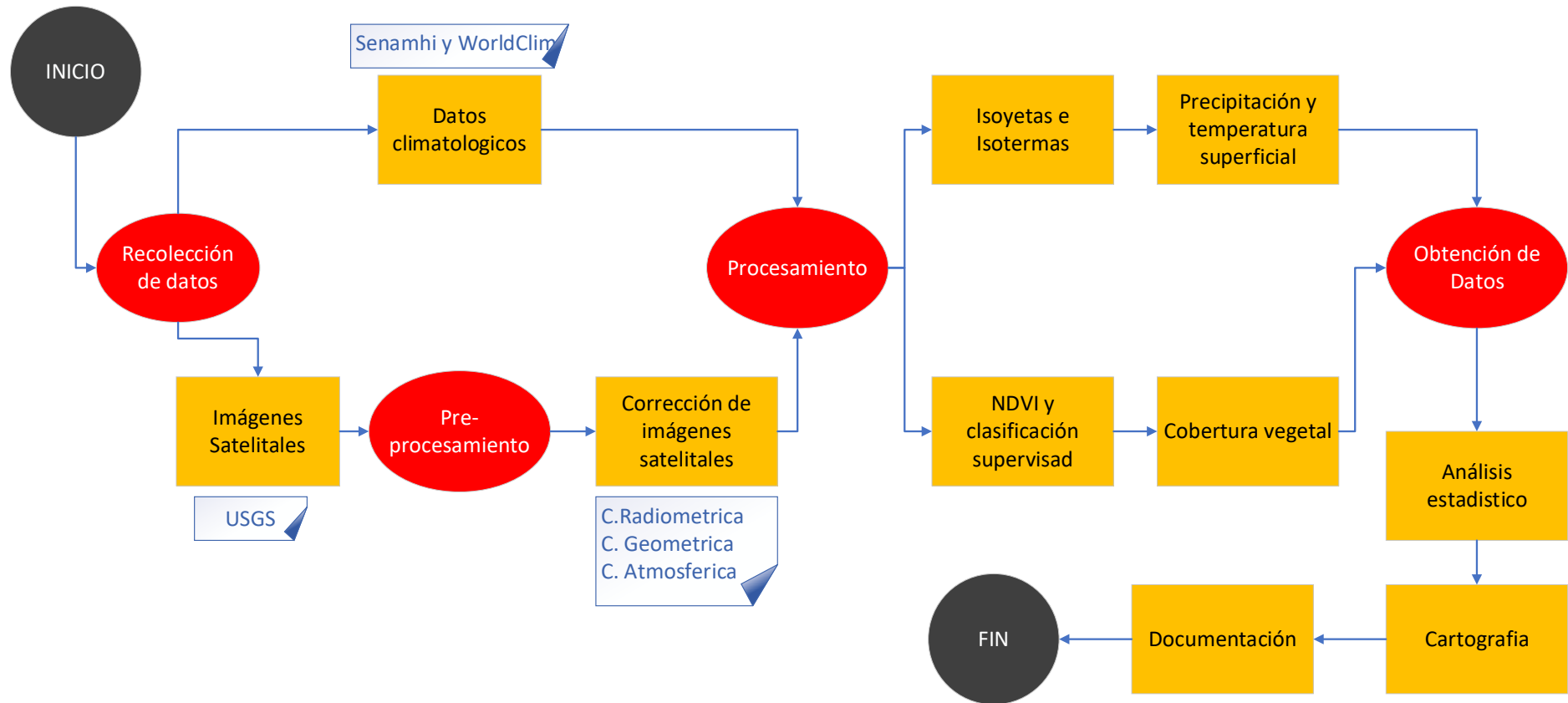
S_t = Superficie total (km^2).

Los datos fueron almacenados en una hoja de Excel en conjunto con los valores superficiales de cobertura vegetal.

En la siguiente figura se muestra el flujo grama de los procedimientos aplicados para la determinación de los resultados.

Figura 8.

Flujograma de los procedimientos desarrollados en la investigación



2.5. Análisis de datos

Los datos registrados de cobertura vegetal y parámetros climáticos, temperatura y precipitación registrados en Excel tuvieron los siguientes análisis estadísticos. En primer lugar, se aplicó como la estadística descriptiva a las variables cobertura vegetal, precipitación y temperatura, según piso altitudinal. Seguido se aplicó la prueba de normalidad, con el fin de dar uso pruebas estadísticas correspondientes de estadísticos inferenciales. Seguido se aplicó la prueba de ANOVA de un factor para determinar la influencia de los elementos climáticos sobre los cambios de la cobertura vegetal.

Por consiguiente, se aplicó la prueba de diferencia de medias de Kruskal-Wallis para variables con distribución no normal, seguido a ello la prueba post-hoc de Games-Howell. Asimismo, se dio uso de la prueba de Welch para variables con distribución normal, pero con datos no homogéneos. Para ello, también se determinó la prueba de homogeneidad de Levene. El post-hoc correspondiente a datos no homogéneos resulta será también Games-Howell.

Por otro lado, se aplicó la cartográfica a las coberturas vegetales de la subcuenca Quisquichaca, para el análisis espacial visual.

2.6. Aspectos Éticos

Los datos manejados en esta investigación son de instituciones gubernamentales SENAMHI-Perú y USGS-EE.UU., por tanto, se respeta los derechos de autor. Por otra parte, se preserva la ética profesional para el manejo de artículos científicos y otras actividades complementarias a la investigación.

La investigación desarrollada presenta datos de fuentes confiables como el SENAMHI, USGS, WorldClim, en consecuencia, se respeta los derechos. Asimismo, el desarrollo

espacial realizado en los distintos programas, fueron llevados a cabo con la previa capacitación de uso y manipulación, la presente investigación está orientada hacia una ética ambiental, en la búsqueda de una reflexión racional.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Dinámica Temporal de la cobertura vegetal, precipitación y temperatura

En la figura 9, se proyecta el comportamiento temporal de la cobertura vegetal, precipitación y la temperatura durante el periodo de estudio 1986-2018, según los 4 pisos altitudinales correspondientes (Yunga, Quechua, Suni y Puna).

Es así que en el **piso altitudinal 1** (Yunga, 1200 msnm a 2300 msnm), la cobertura vegetal incrementó a un ritmo aproximado de 4,37 ha/año, pues, en el año inicial 1986 presentó una superficie de 439,6 ha y en el año final 2018 una superficie de 484,5 ha, esto representa un aumento aproximado de 31,8 % en cobertura vegetal.

Por otro lado, se evidencia un incremento ligero de la precipitación a un ritmo promedio de 1,7 mm/km²; y un incremento leve de la temperatura máxima de 0,028 °C/km², temperatura mínima a un incremento de 0,0285°C/km², y la temperatura media a 0,028 °C/km².

En el **piso altitudinal 2** (Quechua, 2300 msnm a 3500 msnm), la cobertura vegetal incrementó a un ritmo aproximado de 3,64 ha/año, pues, en el año inicial 1986 presentó una superficie de 527,8 ha y en el año final 2018 una superficie de 709,4 ha, esto representa un aumento aproximado de 9 % en cobertura vegetal.

Por otro lado, se evidencia un incremento ligero de la precipitación a un ritmo promedio de 3,09 mm/km²; y un incremento leve de la temperatura máxima, mínima y promedio a 0,0277 °C/km².

En el **piso altitudinal 3** (Suni, 3500 msnm a 4000 msnm), la cobertura vegetal incrementó a un ritmo aproximado de 10,12 ha/año, pues, en el año inicial 1986 presentó una superficie de 459,8 ha y en el año final 2018 una superficie de 1158 ha, esto representa un aumento aproximado de 39 % en cobertura vegetal.

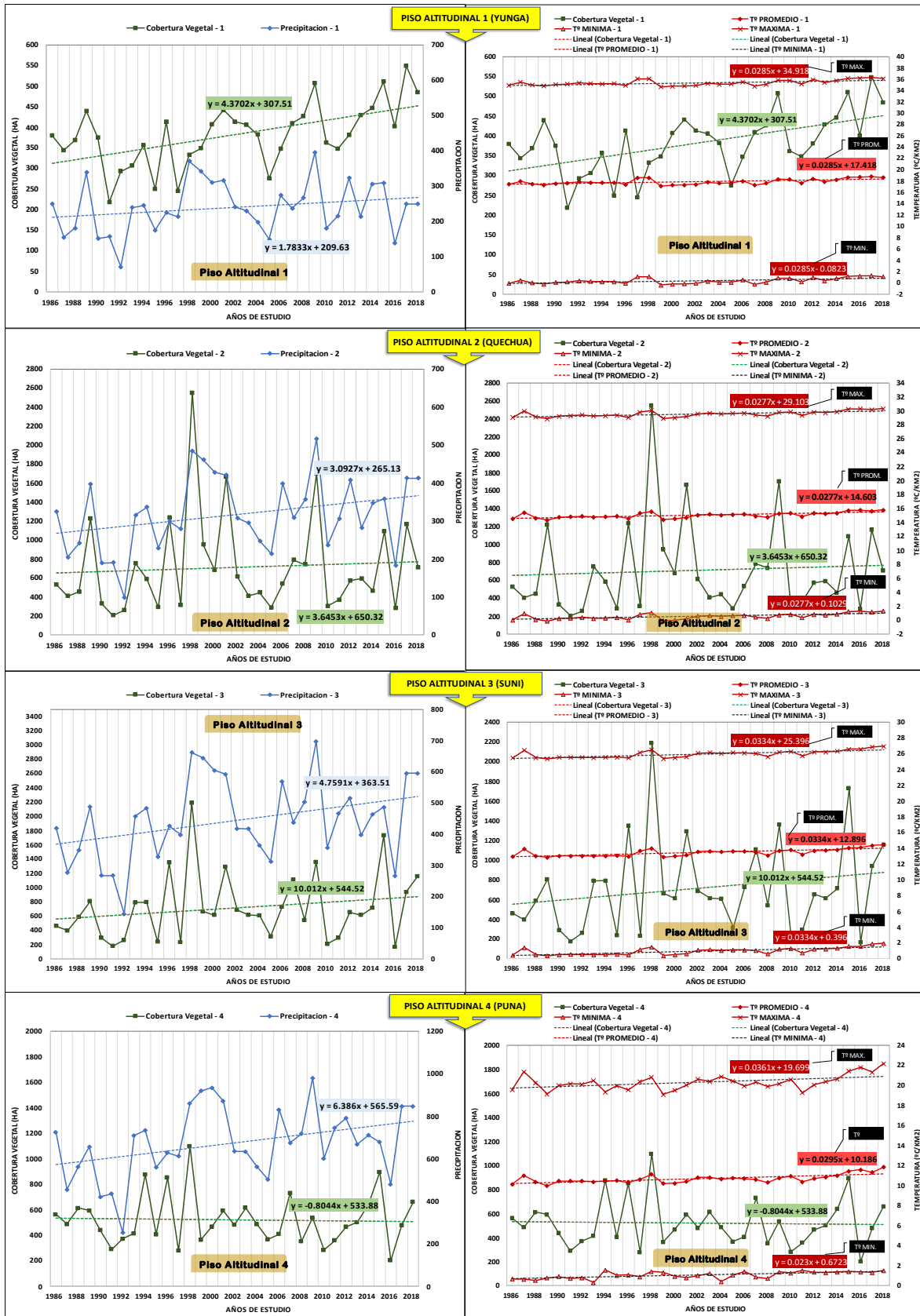
Por otro lado, se evidencia un incremento ligero de la precipitación a un ritmo promedio de 4,75 mm/km²; y un incremento leve de la temperatura máxima, mínima y promedio de 0,033 °C/km².

En el **piso altitudinal 4** (Puna, 4000 msnm a 4800 msnm), la cobertura vegetal ha disminuido a un ritmo aproximado de 0,8 ha/año, pues, en el año inicial 1986 presentó una superficie de 561,9 ha y en el año final 2018 una superficie de 478,2 ha, esto representa una disminución aproximado de 4,3 % en cobertura vegetal.

Por otro lado, se evidencia un incremento ligero de la precipitación a un ritmo promedio de 6,38 mm/km²; y un incremento leve de la temperatura máxima de 0,036 °C/km², la temperatura mínima a un incremento de 0,023°C/km², y la temperatura media a 0,029°C/km².

Figura 9.

Dinámica temporal de la cobertura vegetal, precipitación y temperatura

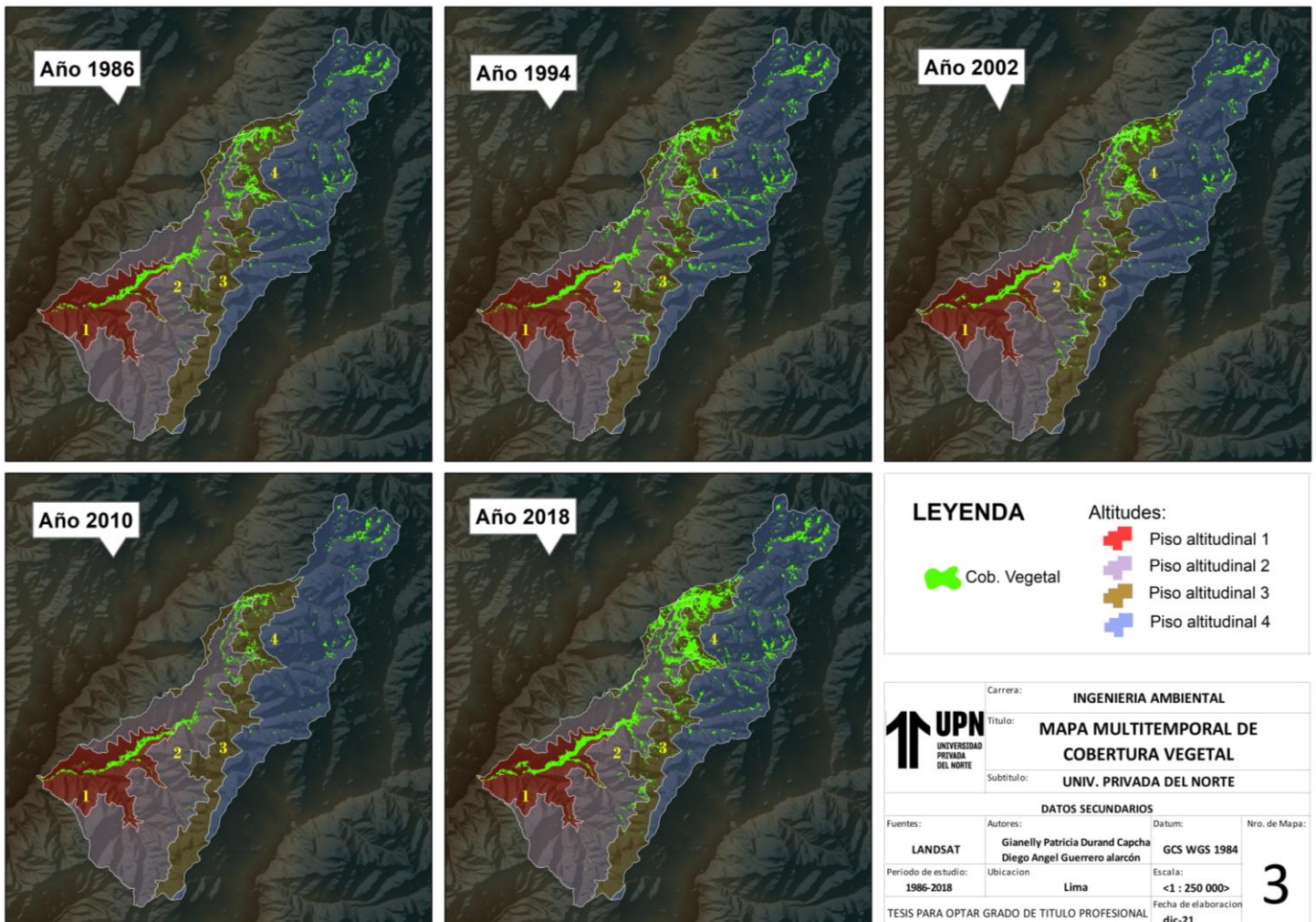


3.2. Dinámica espacial de la cobertura vegetal

El análisis cartográfico permite identificar los cambios entre dos mapas de diferentes años, estos cambios permiten identificar la dirección y posición de la variación (Lizmová, 2007). En la figura 14, se puede observar los cambios espaciales de la cobertura vegetal en el periodo de análisis 1986 a 2018. Se evidencia claramente que la cobertura vegetal presente en los valles de los pisos altitudinales 1,2 y 4, mantienen la superficie de cobertura vegetal. Sin embargo, las cumbres y laderas en los pisos altitudinales 2 y 3 muestra una variabilidad amplia de la cobertura vegetal, esto indica un desarrollo temporal de cobertura vegetal, así como también el descenso de la misma.

Figura 10.

Análisis cartográfico de la cobertura vegetal de la subcuenca Quisquichaca



3.3. Análisis descriptivo

En la tabla 3, se observa el análisis descriptivo determinado en SPSS de las variables cobertura vegetal, precipitación y temperatura según piso altitudinal. De ello, se evidencia que la media más alta de cobertura vegetal se refleja en el piso altitudinal 2 y 3 con valores promedio de 712 km² y 714 km², respectivamente. La cobertura vegetal con menor media se encuentra en el piso altitudinal 1 con valor de 381 km². Por otro lado, se evidencia que la mayor variabilidad temporal de cobertura vegetal se presenta en los pisos altitudinales 2 y 3 con rangos superiores 2000 km² y desviaciones estándares, superiores a 450 km²; seguido se ubica el piso altitudinal 4 y en última posición de variabilidad está el piso altitudinal 1 con rango de 331 km² y desviación estándar de 76 km².

Con relación a la precipitación se observa que el mayor valor promedio se ubica en el piso altitudinal 4 con valor de 674 mm y en último lugar el piso altitudinal 1 con valor de 239 mm. Del mismo modo, la mayor variabilidad se representa en el piso altitudinal 4. En la temperatura se observa que el mayor promedio se ubica en el piso altitudinal 1 con valor de 17,9°C y en último lugar el piso altitudinal 4 con valor promedio de 10°C; en cuanto a la variabilidad temporal se observa que son homogéneos en todos los pisos altitudinales

Tabla 3.

Análisis descriptivo de las variables cobertura vegetal, precipitación y temperatura

Rango de piso altitudinal	Estadístico	Cobertura Vegetal	Precipitación	Temperatura
		Valor	Valor	Valor
Piso altitudinal 1 "Yunga"	Media	381,8	239,9	17,9
	Mediana	381,0	240,0	18,0
	Desviación estándar	76,5	73,9	0,7
	Mínimo	218,0	71,0	17,0
	Máximo	549,0	396,0	19,0
	Rango	331,0	325,0	2,0
Piso altitudinal 2 "Quechua"	Media	712,2	317,7	15,1
	Mediana	573,0	308,0	15,0

	Desviación estándar	509,5	97,9	0,5
	Mínimo	205,0	98,0	14,0
	Máximo	2548,0	516,0	16,0
	Rango	2343,0	418,0	2,0
	Media	714,8	444,4	13,5
	Mediana	615,0	438,0	14,0
Piso altitudinal 3	Desviación estándar	469,9	131,1	0,5
"Suní"	Mínimo	167,0	144,0	13,0
	Máximo	2189,0	698,0	14,0
	Rango	2022,0	554,0	1,0
	Media	520,2	674,2	10,6
	Mediana	480,0	675,0	11,0
piso altitudinal 4	Desviación estándar	199,3	165,5	0,6
"Puna"	Mínimo	201,0	252,0	10,0
	Máximo	1098,0	980,0	12,0
	Rango	897,0	728,0	2,0

3.4. Prueba inferencial de ANOVA

Según la prueba de normalidad Shapiro Willks (tabla 4), que es usado para la determinación del comportamiento normal de variables con una cantidad de datos inferiores a 50 unidades. Para ello, cabe mencionar que una variable normal presenta un p-value mayor a 0,05, con base a esa decisión se puede observar en los resultados de normalidad, que las variables de estudio muestran distribuciones normales y no normales.

Tabla 4.

Distribución de normalidad de cada variable según piso altitudinal

PISO	Variables	Prueba de normalidad Shapiro-Wilk	
		P-Value	Significado
Piso Altitudinal 1	Cobertura Vegetal - P.A. 1	0,849	Distribución Normal
	Precipitación - P.A. 1	0,902	Distribución Normal
	Temperatura - P.A. 1	0,019	Distribución no Normal
Piso Altitudinal 2	Cobertura Vegetal - P.A. 2	0,000	Distribución no Normal
	Precipitación - P.A. 2	0,938	Distribución Normal
	Temperatura - P.A. 2	0,394	Distribución Normal
	Cobertura Vegetal - P.A. 3	0,002	Distribución no Normal

Piso	Precipitación - P.A. 3	0,865	Distribución Normal
Altitudinal			
3	Temperatura - P.A. 3	0,010	Distribución no Normal
Piso	Cobertura Vegetal - P.A. 4	0,034	Distribución no Normal
Altitudinal	Precipitación - P.A. 4	0,883	Distribución Normal
4	Temperatura - P.A. 4	0,072	Distribución Normal

*P.A., es piso altitudinal 1, 2, 3 y 4

En la **tabla 5**, se evidencia la prueba de ANOVA de un factor entre los elementos climáticos y la cobertura vegetal para el **piso altitudinal 1 “Yunga”**, de ello se observa que la precipitación influye en los cambios de la cobertura vegetal del piso altitudinal 1, así lo indica la significancia siendo un valor menor a 0,05. No obstante, los elementos climáticos temperatura máxima, mínima y promedio, no tienen influencia en los cambios de cobertura vegetal, puesto que las significancias resultaron superiores a 0,05.

Tabla 5.

Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 1 “Yunga”

		Suma de cuadrados	gl	Media Cuadratica	F	Sig
Precipitación	entre Grupos	189	23	102	11	0,001
	Dentro de Grupos	2342	462	80		
	Total	3062	466			
Temperatura mínima	entre Grupos	436	6	394	5	0,226
	Dentro de Grupos	185	43	423		
	Total	194	136			
Temperatura máxima	entre Grupos	392	8	424	4	0,331
	Dentro de Grupos	182	48	401		
	Total	194	139			
Temperatura promedio	entre Grupos	438	11	439	4	0,421
	Dentro de Grupos	183	42	369		
	Total	201	135			

En la **tabla 6**, se evidencia la prueba de ANOVA de un factor entre los elementos climáticos y la cobertura vegetal para el **piso altitudinal 2 “Quechua”**, de ello se observa que la precipitación influye en los cambios de la cobertura vegetal del piso altitudinal 2, así lo

indica la significancia con un valor ($p\text{-value}=0,002$) menor a 0,05. No obstante, los elementos climáticos temperatura máxima, mínima y promedio, no tienen influencia en los cambios de cobertura vegetal, puesto que las significancias resultaron superiores a 0,05.

Tabla 6.

Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 2 “Quechua”

		Suma de cuadrados	gl	Media Cuadratica	F	Sig
Precipitación	entre Grupos	177	18	108	8	0,002
	Dentro de Grupos	2441	462	70		
	Total	2706	466			
Temperatura mínima	entre Grupos	378	10	382	3	0,15
	Dentro de Grupos	195	47	360		
	Total	201	136			
Temperatura máxima	entre Grupos	390	11	372	4	0,185
	Dentro de Grupos	206	53	432		
	Total	195	135			
Temperatura promedio	entre Grupos	409	5	405	6	0,195
	Dentro de Grupos	192	53	439		
	Total	207	139			

En la **tabla 7**, se evidencia la prueba de ANOVA de un factor entre los elementos climáticos y la cobertura vegetal para el **piso altitudinal 3 “Suní”**, de ello se observa que la precipitación influye en los cambios de la cobertura vegetal del piso altitudinal 3, así lo indica la significancia con un valor ($p\text{-value}=0,00015$) menor a 0,05. No obstante, los elementos climáticos temperatura máxima, mínima y promedio, no tienen influencia en los cambios de cobertura vegetal, puesto que las significancias resultaron superiores a 0,05.

Tabla 7.

Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 3 “Suní”

		Suma de cuadrados	gl	Media Cuadratica	F	Sig
Precipitación	entre Grupos	187	24	112	9	0,0015
	Dentro de Grupos	2259	458	76		

	Total	2674	466		
Temperatura mínima	entre Grupos	339	6	379	5 0,211
	Dentro de Grupos	157	52	377	
	Total	197	137		
Temperatura máxima	entre Grupos	443	6	422	6 0,155
	Dentro de Grupos	180	54	422	
	Total	205	136		
Temperatura promedio	entre Grupos	340	10	394	6 0,132
	Dentro de Grupos	185	50	420	
	Total	196	132		

En la tabla 8, se evidencia la prueba de ANOVA de un factor entre los elementos climáticos y la cobertura vegetal para el **piso altitudinal 4 “Puna”**, de ello se observa que la precipitación no influye en los cambios de la cobertura vegetal del piso altitudinal 4, así lo indica la significancia con un valor ($p\text{-value}=0,075$) mayor a 0,05. Del mismo modo, los elementos climáticos temperatura mínima y promedio, no tienen influencia en los cambios de cobertura vegetal, puesto que las significancias resultaron superiores a 0,05. No obstante, la temperatura máxima si influye en los cambios de la cobertura vegetal (sig. menor a 0,05)

Tabla 8.

Prueba de ANOVA de un factor para el Piso Altitudinal 4 “Puna”

		Suma de cuadrados	gl	Media Cuadratica	F	Sig
Precipitación	entre Grupos	184	27	105	7	0,075
	Dentro de Grupos	2274	459	74		
	Total	2981	470			
Temperatura mínima	entre Grupos	383	7	416	5	0,09
	Dentro de Grupos	207	43	428		
	Total	198	133			
Temperatura máxima	entre Grupos	367	11	406	3	0,042
	Dentro de Grupos	177	42	351		
	Total	195	137			
Temperatura promedio	entre Grupos	432	7	363	7	0,195
	Dentro de Grupos	203	54	361		
	Total	203	131			

3.5. Diferencia de medias de las variables de estudio según piso altitudinal

Con el fin de comprobar la existencia de diferencias significativas de las variables cobertura vegetal, precipitación y temperatura, en los diferentes pisos altitudinales encontrados en la subcuenca Quisquichaca (Yunga, Quechua, Suni y Puna), se aplicó la prueba de ANOVA para demostrar si existe diferencia significativa en la media, según los diferentes pisos altitudinales.

A. Diferencia de medias de cobertura vegetal según piso altitudinal

Se aplicó la prueba estadística de diferencia de medias Kruskal-Wallis, debido a que las variables cobertura vegetal y piso altitudinal, corresponden a una distribución no normal. Con relación a ello, podemos evidenciar en la tabla 9, que la significancia es menor a 0,05; por tanto, existe diferentes dimensiones de cobertura vegetal, según cada piso altitudinal.

Tabla 9.

Prueba de varianza de Kruskal-Wallis

Superficie de la cobertura vegetal	
Estadísticos de prueba	
H de Kruskal-Wallis	17,291
gl	3
Sig. asintótica	0,001

En la siguiente prueba se realiza las diferencias de medias de forma específica en los distintos pisos altitudinales, mediante la prueba de Post-Hoc de Games-Howell (tabla 10). En ello, se puede evidenciar que el piso altitudinal 1 tiene diferencia significativa con los demás pisos altitudinales (demostrado por la sig. menor a 0,05); sin embargo, entre los pisos 2, 3 y 4, no hubo diferencias significativas entre las medias (demostrado por la sig. mayor a 0,05), esto

indica que en los pisos 2, 3 y 4, las coberturas vegetales no varían significativamente a pesar de encontrarse en diferentes pisos altitudinales.

Tabla 10.

Prueba Post-Hoc Games-Howell

Prueba		Games-Howell		
(I) piso	(J) piso	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
piso altitudinal 1	piso altitudinal 2	-330,45*	89,68	0,004
	piso altitudinal 3	-332,96*	82,87	0,002
	piso altitudinal 4	-138,42*	37,16	0,003
piso altitudinal 2	piso altitudinal 1	330,45*	89,68	0,004
	piso altitudinal 3	-2,51	120,65	1,000
	piso altitudinal 4	192,03	95,23	0,198
piso altitudinal 3	piso altitudinal 1	332,96*	82,87	0,002
	piso altitudinal 2	2,51	120,65	1,000
	piso altitudinal 4	194,54	88,85	0,142
piso altitudinal 4	piso altitudinal 1	138,42*	37,16	0,003
	piso altitudinal 2	-192,03	95,23	0,198
	piso altitudinal 3	-194,54	88,85	0,142

Nota. *. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

B. Diferencia de medias de precipitación según piso altitudinal

Según la prueba de normalidad, las variables piso altitudinal y precipitación cumplen con el primer supuesto de normalidad; no obstante, en la prueba de homogeneidad de Levene, las variables en mención no son homogéneas, pues la significancia basada en la media es inferior a 0,05 (ver tabla 11); por tanto, no cumple con el segundo supuesto para aplicar ANOVA. Por ello se opta por la aplicación de prueba de Welch, para variables normales no homogéneas

Tabla 11.

Prueba de Homogeneidad de Levene

Prueba de homogeneidad de varianzas					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Precipitación	Se basa en la media	5,77	3	128	0,001
	Se basa en la mediana	5,71	3	128	0,001
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	5,71	3	95,77	0,001
	Se basa en la media recortada	5,78	3	128	0,001

Con relación a ello, podemos evidenciar en la tabla 12, que la significancia es menor a 0,05; por tanto, las magnitudes de las precipitaciones tienen diferencias significativas en las medias, según piso altitudinal.

Tabla 12.

Prueba de Welch

Pruebas robustas de igualdad de medias de Welch				
Variable dependiente	precipitación			
	Estadístico	gl1	gl2	Sig.
Welch	70,972	3	68,480	0,000

En la siguiente prueba se realiza las diferencias de medias de forma específica, en los distintos pisos altitudinales, mediante la prueba Post-Hoc de Games-Howell (tabla 13). En ello, se puede evidenciar que hay diferencias significativas en todos los distintos pisos altitudinales, sin excepción. Esto refleja claramente que las magnitudes de precipitación son diferentes en los pisos altitudinales encontrados en la subcuenca Quisquichaca.

Tabla 13.

Prueba Post-Hoc de Games-Howell

prueba	Games-Howell

(I) piso	(J) piso	Diferencia de medias (I- J)	Desv. Error	Sig.
piso altitudinal 1	piso altitudinal 2	-77,78*	21,35	0,003
	piso altitudinal 3	-204,48*	26,20	0,000
	piso altitudinal 4	-434,21*	31,56	0,000
piso altitudinal 2	piso altitudinal 1	77,78*	21,35	0,003
	piso altitudinal 3	-126,69*	28,48	0,000
	piso altitudinal 4	-356,42*	33,47	0,000
piso altitudinal 3	piso altitudinal 1	204,48*	26,20	0,000
	piso altitudinal 2	126,69*	28,48	0,000
	piso altitudinal 4	-229,72*	36,76	0,000
piso altitudinal 4	piso altitudinal 1	434,21*	31,56	0,000
	piso altitudinal 2	356,42*	33,47	0,000
	piso altitudinal 3	229,72*	36,76	0,000

Nota. *. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

C. Diferencia de medias de temperatura según piso altitudinal

Se aplicó la prueba estadística de diferencia de medias Kruskal-Wallis, debido a que las variables cobertura vegetal y piso altitudinal, corresponden a una distribución no normal. Con relación a ello, podemos evidenciar en la tabla 14, que la significancia es menor a 0,05; por tanto, las magnitudes de las precipitaciones tienen diferencias significativas en las medias, según piso altitudinal.

Tabla 14.

Prueba de varianza de Kruskal-Wallis

temperatura	
Estadísticos de prueba	
H de Kruskal-Wallis	124,412

GI	3
Sig. asintótica	0,000

En la siguiente prueba se realiza las diferencias de medias de forma específica en los distintos pisos altitudinales, mediante la prueba de Post-Hoc de Games-Howell (tabla 15). En ello, se puede evidenciar que hay diferencias significativas en todos los distintos pisos altitudinales, sin excepción. Esto refleja claramente que las magnitudes de temperatura son diferentes en los pisos altitudinales encontrados en la subcuenca Quisquichaca.

Tabla 15.

Prueba Post-Hoc Games-Howell

prueba		Games-Howell		
(I) piso	(J) piso	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
piso altitudinal 1	piso altitudinal 2	2,84848*	0,13969	0,000
	piso altitudinal 3	4,39394*	0,14454	0,000
	piso altitudinal 4	7,30303*	0,15544	0,000
piso altitudinal 2	piso altitudinal 1	-2,84848*	0,13969	0,000
	piso altitudinal 3	1,54545*	0,11882	0,000
	piso altitudinal 4	4,45455*	0,13187	0,000
piso altitudinal 3	piso altitudinal 1	-4,39394*	0,14454	0,000
	piso altitudinal 2	-1,54545*	0,11882	0,000
	piso altitudinal 4	2,90909*	0,13699	0,000
piso altitudinal 4	piso altitudinal 1	-7,30303*	0,15544	0,000
	piso altitudinal 2	-4,45455*	0,13187	0,000
	piso altitudinal 3	-2,90909*	0,13699	0,000

Nota. *. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Dinámica temporal de la cobertura vegetal, precipitación y temperatura:

Se evidenció que en los pisos altitudinales 1, 2 y 3, incremento de la cobertura vegetal con un rango de 4 a 10 ha/año, donde el piso altitudinal 3, presenta una alta variabilidad en crecimiento y descenso durante el periodo de análisis, sin embargo, en el piso altitudinal 4 se evidenció pérdida de cobertura vegetal a un ritmo anual de 0,8 ha/año. Con relación a la precipitación, los 4 pisos presentaron incremento, no obstante, el piso altitudinal 4 (zona de mayor altitud) fue la de mayor magnitud en incremento de la precipitación, alcanzando una tasa de 4,7 mm/km². La temperatura presentó ligero incremento en todos los pisos altitudinales evaluados (0,027 a 0,03 °C). Basándonos en los resultados, el mapa de Fauna Silvestre y acuática elaborado por la Municipalidad Metropolitana de Lima, el piso altitudinal 4, presenta ecosistemas de tipo Puna y los pisos altitudinales restantes (1, 2 y 3) presenta un ecosistema de estepa. Basándose en ello, la ANA (2019), indica que el piso altitudinal 1, correspondería a la esteparia baja (1400-1600 msnm) presenta vegetación como agricultura, cactáceas columnares, bosques ralos perinifolios, entre otras especies. En el piso altitudinal 2, correspondería a la esteparia media (2400 – 3200 msnm) se encuentra cubierto de arbustos y pajonales (pastizales). En el piso altitudinal 3, que correspondería a la esteparia alta (3200 a 4000 msnm) presenta vegetación como gramíneas de los géneros Festuca, Calamagrostis y Poa, además de arbustos dispersos. Y el piso altitudinal 4, que correspondería al ecosistema Puna (3800 a 4600 msnm) está compuesto por vegetación pajonal altoandino (con ichu), bofedales y zonas pantanosas con presencia de gramíneas, ciperáceas y juncos, además de un clima frío.

Según Galende et al. (2016), los pajonales (hierbas en forma de manojos de hasta 80 cm de alto), césped (hierbas de porte bajo hasta de 15 cm de alto) son coberturas sensibles a la

variabilidad climática, esto indica que un incremento en la precipitación o humedad, desarrolla un aumento en la cobertura vegetal, generando una respuesta inmediata en el terreno. Por otro lado, la Autoridad Nacional del Agua (2015), indica que las coberturas boscosas (género *Polylepis*) que son poco presentes en la subcuenca Quisquichaca y en zonas altas (mayores a 3300 msnm), se ubican en laderas y quebradas llanas, asimismo, estas coberturas son más adaptables a cambios en la precipitación y temperatura, por tanto, su afectación no es inmediata (MINAM, 2020). Asimismo, Galende et al. (2016), menciona que en la zona alta de la subcuenca Quisquichaca, está compuesta por baja vegetación como bosques densos y bofedales. La mayor presencia superficial es de espejos de agua (lagunillas) y materiales rocosos.

Según el Informe de Evaluación de Riesgo del Río Chillón realizado el 2018, indica que la subcuenca del río Quisquichaca, sería impactada con la mayor disponibilidad hídrica anual, con un incremento de 15,1%, escenario similar que se proyectó en los resultados de la investigación. Este incremento de la precipitación resulta positivo para zonas favorables y con estabilidad de terreno uniforme, sin embargo, en zonas vulnerables con presencia de baja vegetación y pendientes accidentados provocará una mayor incidencia de la erosión de tipo pluvial (Gobierno Regional del Callao, 2018)

Influencia de la precipitación y temperatura en la cobertura vegetal:

En los resultados de ANOVA se demuestran que la precipitación influye en la cobertura vegetal de los distintos pisos altitudinales, a excepción del piso altitudinal 4, donde no hubo influencia de la precipitación en la cobertura vegetal. Por otro lado, la influencia de la temperatura en la cobertura vegetal no fue notable en los resultados de ANOVA, a excepción de la temperatura máxima, que tuvo influencia en la cobertura vegetal del piso altitudinal 4 "Puna". Basándonos en ello, García et al. (2019), menciona que en la zona alta

de la subcuenca Quisquichaca hay presencia de cobertura vegetal poco dependiente a la precipitación, un claro ejemplo es los bofedales (ecosistema de tipo hidrofítico), donde estas coberturas son afectadas por los suelos húmedos, producto de mayor escorrentía o afloramiento hídrico subterráneo. Asimismo, en estos terrenos se localizan distintos cuerpos lagunares que son fuente hídrica para las coberturas vegetales durante toda la temporada anual.

Del este modo, la variabilidad de la temperatura del aire puede afectar al proceso de fotosíntesis, por lo que conocer la influencia de esta sobre la vegetación, dependiendo del sitio y del año específico puede ayudar en la agricultura, el medio ambiente y la salud, (Chang et al., 2020), por su parte, los árboles también se ven afectados por los cambios de temperatura, pues pueden provocar un adelanto en el inicio de la temporada de crecimiento y un retraso en el fin de temporada, además pequeñas variaciones de 1°C de temperatura pueden alargar la formación de anillos en los árboles (Yang et al., 2017). Además, Bagherzadeh, et al. (2021) mencionan que la cobertura vegetal limita su crecimiento en temperaturas bajas y prolifera en regiones cálidas, puesto que, la temperatura se encuentra por encima de lo necesario por las plantas, lo cual genera un efecto en su crecimiento.

Por otro lado, se evidenció que la cobertura vegetal del piso altitudinal 1 "Yunga", tiene diferencia significativa en superficie en comparación a los otros pisos altitudinales. Pues los pisos altitudinales 2, 3 y 4, no tienen diferencia significativa en superficie. Asimismo, se evidenció que las variables climáticas, precipitación y temperatura, tienen diferencias significativas en las medias según piso altitudinal (sig. bilateral menor a 0,05). Según Chen et al. (2015), hay poca diferencia significativa en la cobertura vegetal según pisos altitudinales, esto se debe a que la orografía en diferentes pisos altitudinales es similar, pues el terreno está conformado por lo general por valles, laderas, colinas y montañas; ello permite la formación de coberturas vegetales en distintos puntos de la orografía de terrenos, sin

importar el piso altitudinal. No obstante, Basantes & García (2018) mencionan que en relieves bajos o parte baja de las cuencas, la cobertura vegetal por lo general es modificada por la actividad antrópica, por ello, su formación y ubicación es dependiente a este factor.

Con relación a la variabilidad de los elementos climáticos en los diferentes pisos altitudinales, Luna-Romero et al. (2018) indican que la temperatura del aire desciende a medida que incrementa la altura; esto se debe a que el aire es menos denso en las alturas, las moléculas están más separadas que a nivel del mar, por tanto, las moléculas colisionan menos y disminuye la energía cinética provocando un descenso térmico. Del mismo modo, Matovelle et al. (2021) indican que hay mayor presencia de precipitaciones en las alturas, debido a la acumulación de nubes en zonas altas que fueron arrasadas por la acción del viento, este proceso provoca mayor condensación y su pronto precipitación, ello explica las diferentes magnitudes de la precipitación a diferentes pisos.

Las **limitaciones** involucradas en esta investigación están referidas a la calidad de los datos de teledetección: los datos de teledetección pueden tener errores y limitaciones en términos de resolución, precisión, calidad espectral y temporal. Estas limitaciones pueden afectar la precisión y la fiabilidad de los resultados obtenidos. Asimismo, la variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal puede variar espacialmente y temporalmente debido a factores como el clima, la topografía, la actividad humana y los eventos naturales como incendios y sequías. Por lo tanto, es posible que los datos de teledetección no capturen completamente esta variabilidad, lo que podría afectar la precisión de los resultados. Finalmente, la metodología utilizada para analizar los datos de teledetección puede tener limitaciones que afecten la precisión y la fiabilidad de los resultados. Por ejemplo, la selección de las bandas espectrales, la corrección atmosférica, la clasificación de la imagen y la validación de los resultados pueden ser fuentes potenciales de error.

Las **implicancias** de este estudio están referidas a la contribución al conocimiento científico, como por ejemplo ser útiles para la gestión de los recursos naturales y la planificación del uso de la tierra.

Utilización de tecnologías avanzadas: el uso de imágenes satelitales y técnicas de teledetección para el análisis de la cobertura vegetal puede ser un avance tecnológico en la investigación y en la gestión de los recursos naturales. Potencial de replicación: la metodología utilizada en la tesis puede ser replicable en otras subcuencas o áreas geográficas, lo que puede contribuir a la generación de conocimiento y al desarrollo de estrategias para la gestión de los recursos naturales en diferentes contextos.

Conclusiones:

- La cobertura vegetal en los pisos altitudinales 1, 2 y 3, presenta un comportamiento variado y ascendente durante el periodo de análisis, con una tasa de crecimiento promedio de 4 a 10 ha/año. Sin embargo, el piso altitudinal 4, presenta un descenso ligero de 0,8 ha/año. En el análisis cartográfico espacial, se evidencia cambios variados de ascenso y descenso de cobertura vegetal, sobre todo en los pisos altitudinales 2 y 3, en laderas y cumbres del terreno.
- El comportamiento de la precipitación en todos los pisos altitudinales de estudio es ascendente, con una tasa de 1,7 a 6,3 mm/km².
- El comportamiento de la temperatura presenta un incremento ligero de una tasa promedio de 0,027 a 0,03 °C/km² para todos los pisos altitudinales.
- Las precipitaciones influyen en las coberturas vegetales de los pisos altitudinales 1, 2 y 3, más no en el piso altitudinal 4. Esto se debe a que las coberturas vegetales presentes en pisos 1, 2 y 3, son dependientes a precipitación, en cambio, en el piso altitudinal 4, la formación vegetal depende de otras fuentes hídricas como lagunas.

- Por otro lado, la temperatura no tuvo influencia en la cobertura vegetal, a excepción de la temperatura máxima en el piso altitudinal 4. La no influencia se debe, a que la subcuenca en estudio está ubicada en zona altoandina, donde la afectación de las temperaturas en la cobertura vegetal no es significativa, a excepción de una altitud mayor como el piso altitudinal 4, en donde la temperatura es de mayor magnitud y, por tanto, su incremento afecta a las coberturas vegetales.

REFERENCIAS

- Abburu PhD, S., y Babu Golla, S. (2015). Satellite Image Classification Methods and Techniques: A review. *International Journal of Computer Applications*, 25
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). (2017). Landsat Science. [Fecha de consulta: 24 de abril 2021]. Disponible en: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- AGBICODO, E.M.; FATOKUN, C.A.; MURANAKA, S.; VISSER, R.G.F.; LINDEN VAN DER, C.G. (2009). Breeding drought tolerant cowpea: constraints, accomplishments, and future prospects. *Euphytica (Holanda)*. 167(3):353-370.
- 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. [Fecha de consulta 24 de octubre 2018]. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10803>
- ALMUT, Arnoeth. (2020). An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Suiza, Ginebra. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- ANA. (2006). Represamiento de la laguna Santiago de Lorococha -Hidrología MINAG - INRENA -IRH -oficina de proyectos de afianzamiento hídrico -Abril 2006 represamiento de la laguna Santiago de Lorococha Hidrología 1. Generalidades. (n.d.). Retrieved March 8, 2022, from <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3686/ANA0002225.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- ANA. (2015). Ocupación del suelo. Observatorio del agua Chillón, Rimac y Lurin. Obtenido de: <https://observatoriochirilu.ana.gob.pe/caracterizaci%C3%B3n-de-cuencas/ocupacion-del-suelo>
- ANA. (2019). Diagnóstico Inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca (p. 151). Lima, Perú.
- Basantes, A. C. N., & García, E. H. (2018). Altitud, variables climáticas y tiempo de permanencia de las personas en plazas de Ecuador. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 10(2), 414–425. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.002.a011>
- Bermúdez E.(2015). Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte dl departamento de Chocó, 1990-2014. Tesis (Ingeniera en Información Geográfica). Manizales, Colombia: Universidad de Manizales – Facultad de Ciencias e Ingeniería.51p. [Fecha de consulta: 25 de octubre 2018].
- BRACK, Antonio y MENDIOLA, Cecilia. (2010). Ecología del Perú. 3ª ed. Edit.Asociación editorial bruño. Lima, Perú. 496 pág. ISBN: 978-9972-1-1109-9
- Bravo, N. (2019). Teledetección Espacial y Procesamiento de Imágenes Satelitales de Acceso Gratuito con el Uso de Software Libres. Segunda Edición. Geomática Ambiental
- Bravo, Nino.(2017). Teledetección Espacial LANDSAT, SENTINEL2, ASTER L1T y MODIS. [en línea] 1ªed. Perú. Geomática ambiental S.R.L.[Fecha de consulta: 04 de mayo del 2021]
- Brunele, F.; Da Silva, D.; Pedrosa, D.; Cardoso,T.; Pugnall, A. (2009). Enriquecimento intermitente de CO2 e análise do acúmulo de massa seca e da partição de fotoasimilados em tomateiro. Acta Agr. (Colombia). 58(3):133-139
- Campos, Adan, Guerrero, Edwin, Gines, Eber. (2018). Evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes utilizando el Índice de Vegetación

- de Diferencia Normalizada (NDVI): 2000 – 2014. *Revista de investigación Científica* Universidad Nacional de Tumbes. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2018.006> ISSN: 2414-1046
- Carballo, M., y Guelmes, E. (2016). Algunas consideraciones acerca de las variables en las investigaciones que se desarrollan en educación. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 140-150. Recuperado en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000100021&lng=es&tlng=es
- Chávez De Paz, D. (2014). Concepto y técnicas de recolección de datos en la investigación jurídica social [en línea]. En revista de Derecho y Ciencia Política, Vol.64. Lima, Perú:20pp. [Fecha de consulta: 11 de noviembre del 2018].
- Chazdon, Robin. (2016). When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. Springer Link. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y> ISSN 1654-7209
- Chen, Y., Liu, H., An, J., Görsdorf, U., & Berger, F. H. (2015). A Field Experiment on the Small-Scale Variability of Rainfall Based on a Network of Micro Rain Radars and Rain Gauges. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(1), 243–255. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-13-0210.1>
- Chuvieco, E. (2006). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona. Editorial Ariel., 327 p
- Claverie, M., Ju, J., Masek, J., Dungan, J., Vermote, E., Roger, C., Skakun, S., y Justice, J., (2018). The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sensing of Environment*, 219, 145–161. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.002>

- Collaborative Safety Research Center. (2016). Manual de uso y funcionamiento Google Earth. [en línea]. Mexico. [fecha de consulta: 08 de agosto 2018]. Disponible en: <https://deceniodeaccion.mx/wp-content/uploads/2017/01/ManualGE.pdf>
- Coluzzi, R., Imbrenda, V., Lanfredi, M., Simoniello, T. (2018). A first assessment of the Sentinel-2 Level 1-C cloud mask product to support informed surface analyses. *Remote Sensing of Environment*, 217, 426-443. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.009>
- Comunidad Andina. (2008). El Cambio Climático no tiene Fronteras. Impacto del Cambio Climático en la Comunidad Andina
- Condori, Wilzon. (2018). Estimación de la pérdida de cobertura boscosa por actividades antrópicas en el distrito Nueva Requena, mediante análisis multitemporal de imágenes 61 satelitales. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Perú, 2018.
- Dagnachew, Melku. (2020). Effects of Climate Variability on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Gojeb River Catchment, OmoGibe Basin, Ethiopia. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2020/8263246> ISSN: 1687-9309
- Droppelmann, G. (2018). Pruebas de normalidad. Actualizaciones medicas MEDS, 39-45. Obtenido de <https://www.meds.cl/wp-content/uploads/Art-5.-Guillermo-Droppelmann.pdf>
- Duda, T., y Canty, M. (2014). Unsupervised classification of satellite imagery: choosing a good algorithm. Taylor & Francis, 2212.
- Echarri, P.L. (2011). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Libro electrónico.2011. Disponible desde Internet en: <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/>
- ESPINOZA, Friere. (2018). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Parte I. *Revista Conrado en línea*. Vol. 14, N° 65, octubre 2018, pág. 39-

49. □ Fecha de consulta: 05 de mayo de 2021 □. Disponible en:
<http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v14s1/1990-8644-rc-14-s1-39.pdf>
- Falcón, O. (2014). Dinámica de cambio en la cobertura/uso de suelo, en una región del Estado de Quintana Roo, México: El impacto de las políticas gubernamentales sobre el manejo forestal. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fernandez-Palomino, Fred F. Hattermann, Valentina Krysanova, Fiorella Vega-Jácome, Axel Bronstert. (2021) Towards a more consistent eco-hydrological modelling through multi-objective calibration: a case study in the Andean Vilcanota River basin, Peru. *Hydrological Sciences Journal* 66:1, pages 59-74.
- Franco, R. (2017). Composiciones Landsat en ARCGIS. Guía Básica. Recuperado de <http://wp.me/p2IwQU-1bh>
- Frantz, D., Haß, E., Uhl, A., Stoffels, J., y Hill, J. (2018). Improvement of the Fmask algorithm for Sentinel-2 images: Separating clouds from bright surfaces based on parallax effects. *Remote Sensing of Environment*, 215, 471–481. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.046>
- Galende, E., Robredo, J., Angulo, O. (2016). Estrategia para la mejor gestión de los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hídricos en Lima (Perú) a través del análisis de actores. Universidad politécnica de madrid. Escuela técnica superior de ingeniería de montes, forestal y del medio natural. Disponible en: https://oa.upm.es/44636/1/TFG_Ester_Galende_Sanchez_1.pdf
- García, J., Willems, B., Espinoza, R. (2019). Mapeo de Bofedales en Cabeceras de Cuenca Mediante Imágenes de los Satélites Landsat. Disponible en: <https://revista.inaigem.gob.pe/index.php/RGEM/article/view/8>
- Garreaud, René y Rutllant, José. (2016). Variabilidad Atmosférica de alta frecuencia en el borde oriental del Anticiclón del Pacífico Sureste. *Revista de Ciencia y tecnología*.

[Fecha de consulta: 03 de junio de 2021]. Disponible en:

http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/cla_cimar6_final.pdf

Geoinstitutos. (s.f.). La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panama.

Gilabert, M., Piqueres, J. y García, J. (1997). Acerca de los Índices de Vegetación. En Revista de Teledetección, 8, pp. 1 - 10. Recuperado de http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_4.pdf

Gis & Beers. (2018). Corrección radiométrica de imágenes satélite. Recuperado de <http://www.gisandbeers.com/correccion-radiometrica-imagenes-satelite/>

Gobierno Regional del Callao. (2018). INFORME DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN EL RIO CHILLÓN – TRAMO CALLAO. Gerente Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial

Gómez, C., White, J., y Wulder, M. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 116, 55–72. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>

Gonzaga, Carlos A. (2014). Aplicaciones de Índices de Vegetación derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y Aster para caracterización de la cobertura vegetal en la zona Centro de la Provincia de Loja, Ecuador. 43-44p.

González, E., Pedemonte, C., Vargas, I., Lazo, D., Pérez, H., Canales, M., & Verdugo, F. (2015). facial fracture in a Chilean trauma center. a descriptive study. Scielo, 65-70.

Hernandez, Roberto, Fernandez, Carlos y Bapista, Marí (2014). Metodología de la Investigación. 6ª. Ed. México: McGraw-Hill, 634 pp.

Hernandez, Roberto, Fernandez, Carlos y Bapista, María. (2018). Metodología de la investigación. 5ta ed. México: Mc Graw Hill. 613 pp. ISBN: 978-607-15-0291-9

- Herrera, Marco y Alaya, Christian. (2017). Monitoreo de la calidad del agua del lago Chinchaycocha, mediante técnicas de teledetección espacial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*
- Hiloidhari, M., Baruah, D., Anoop, S., Sampriti, K., Kristina, M., Shilpi, K., Shekhar Thakur, I. (2017). Emerging role of Geographical Information System (GIS), life Cycle Assessment (LCA) and spatial LCA (GIS - LCA) in sustainable bioenergy planning. *Bioresource Technology*, 218-226.
<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sociales/article/view/7665/6671>
- Hyypä J, Hyypä H, Inkinen M, Engdahl M, Linko S, Zhu Yh. (2000). Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. *Forest Ecology and Management* [en línea]. n° 128. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00278-9) ISSN: 0378-1127
- IPCC - Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. ISBN 92- 9169-322-7. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change). (2007). Synthesis report. Summary for policymakers. Disponible desde Internet en: <http://www.ipcc.ch>.
- Jalmacin Nene Preciado. (2017). Land cover and land use change in coastal basins from the central pacific coast of México. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 94, diciembre 2017. ISSN: 24487279
- Jaramillo, L.; Antunes, A. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista de Teledetección*. (51):33-46.

- Jiménez, J. (2000). Manejo de Cuencas Hidrográficas. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=99oOAQAIAAJ&pg=PP5&lpg=PP5&dq=&f=false>
- Jiménez, J., Sobrino, J. y Sória, G. (2011). Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite. [en Línea]. Recuperado de https://www.uv.es/ucg/CURSO_TD4.pdf
- Keshtkar, H. y Winfried, V. (2016). «Potential Impacts of Climate and Landscape Fragmentation Changes on Plant Distributions: Coupling Multi-Temporal Satellite Imagery with GISBased Cellular Automata Model». *Ecological Informatics* 32, 145 – 55.
- Lambin, E., Tuner, L., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., y Folke, C. (2001). Las causas del uso de la tierra y el cambio de la cobertura terrestre: ir más allá de los mitos. *Global Environmental Change*, 11, 261-269
- Lillesand, T. y Kiefer, R. (1987). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Jhon Wiley & Sons. 2da edición. New York. 721p.
- Locatelli, Bruno. (2009). Ante un futuro incierto como se pueden adaptar los bosques y las comunidades al cambio climático. Indonesia. CIFOR, 2009, 95 pp. ISBN: 9789791412919
- López, J. (1998). *Procesos de investigación* (ed.). Caracas, Venezuela: Panapo
- López, Pedro. (2004). Población muestra y muestreo. Punto cero. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181502762004000100012 ISSN: 1815-0276
- Luna Ayala, Kenia y Naquiche Yesquen, Dagnert. (2020). Impacto de la variabilidad climática en los componentes ecológicos de los Pantanos de Villa mediante el

- Sistema de Información Geográfica, 2000-2020. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Lima, Perú. Universidad César Vallejo. 125 pp.
- Luna-Romero, A., Ramírez, I., Sánchez, C., Conde, J., Agurto, L., & Villaseñor, D. (2018). Spatio-temporal distribution of precipitation in the Jubones river basin, Ecuador: 1975-2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 63–70. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
- Mas, J. F., Velásquez, A., y Couturier, S. (2009). Evaluación de los cambios de cobertura/Uso de suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*, (1): 23-39
- Matovelle, C., Andreo, B., & Mudarra, M. (2021). Análisis de la influencia de la altitud en los eventos de máxima precipitación en una cuenca del Pacífico: tendencias y variabilidad. *Información Tecnológica*, 32(6), 3–12. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000600003>
- Meffe, G., & Carroll, C. (1994). *Principles of conservation biology*. Sinauer. Associates, Inc. Stamford, CT. USA
- Membrado, J. (2015). El lenguaje cartográfico en los mapas temáticos. En *Estudios Geográficos*, 75 (278), pp. 177 – 201. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/71052916.pdf>
- MINAM. (2016). Resolución Ministerial N° 0.81-2016-MINAM. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/RM-N°-081-2016MINAM.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). *Manual técnico: Metodología para clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales*. 1ª. ed. Lima, Perú: ESERGRAF, 2018. 110 p.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). DIAGNÓSTICO DE SERVICIOS

ECOSISTÉMICOS en la cuenca del río Lurín para la implementación de un mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos. Disponible: C:/Users/user/Downloads/10._diagnostico-lurin.pdf

Miyasiro, M., y Ortiz, H. (2016). Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014). Tesis (Ingeniero Geógrafo). Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Facultad de Ingeniería Geológica, metalúrgica, minera y geográfica. 172 p. [Fecha de consulta: 24 setiembre 2018]. Disponible en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5281>

Morales J., et al. (2016), Cambio de la Cobertura Vegetal en la Región de Bahía de Banderas, México. No. 29. [fecha de consulta: 25 de Setiembre 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v38n1/v38n1a2.pdf>

Moufouma-Okia. (2019). An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/> ISBN: 9789291693511

Muñoz, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de Vegetación. Recuperado de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indice%20de%20vegetaci%C3%B3n%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 10.

Musy, A. (2001). *Hidrologie generale.*

- Oliva, P. (2011). Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago. Tesis para obtener el grado de Maestro en Geomática. Centro de Investigación en Geografía y Geomática, México D. F.
- Ordoñez, J. (2011). Cartillas Técnica: ¿Qué es una Cuenca Hidrológica?. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Ordóñez, J. A. B. (2008). Análisis Dimensional de la Cobertura Vegetal-Uso de Suelo en la Cuenca. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/cfm/v34n105/v34n105a7.pdf>
- Orellana, J; Best, S.; Claret, M. (2006). "Sistemas de Información Geográfica". En publicación: "Agricultura de precisión: integrando conocimiento para una agricultura moderna y sustentable". PROCISU/IICA 2006, Montevide. Capítulo 7. Pág. 131-143
- PAUCA-TANCO, A. (2020). Spatial temporal and climatic analysis of the high Andean wetland of Chalhuanca (Peru) during the period 1986-2016. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13325> ISSN: 1988-8740
- Paz F. (2018). Correcciones atmosféricas relativas de imágenes de satélite: patrones invariantes y modelos atmosféricos. Terra Latinoamericana, 36(1), 1- 12. <https://dx.doi.org/10.28940/terra.v36i1.228>
- Pérez, C. & Muñoz, A. (2006). Teledetección: nociones y aplicaciones. España. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=teledetecci%C3%B3n+definici%C3%B3nes&ots=pEmdv7gFZ&sig=DEAkqHjGMhMu7Q2OIWxnz5xD8HA#v=onepage&q=teledetecci%C3%B3n%20definici%C3%B3nes&f=false>
- PICQUART, Michael y CARRASCO, Izayana.(2017). De la temperatura y su medición. Latin-American Journal of Physics Education.Nº 11, 1. [Fecha de consulta: 26 de

abril 2021]. Disponible en: http://www.lajpe.org/mar17/1310_Picquart_2017.pdf

ISSN: 1870-9095

Pinos, N. J. (2016). Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial. *Estoa* 9(5): 7-19.

Pulgar Vidal, J. (1967). Geografía del Perú: las ocho regiones naturales del Perú. Ansonia. 256 p.

QUIPUSCOA SILVESTRE, Víctor et al. (2019). Impacto de los cambios climáticos y uso de suelo, en la distribución de las especies de géneros endémicos de Asteraceae de Arequipa. *Arnaldoa*. vol.26, n.1 [Fecha de Consulta: 03 de junio de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26105>.

QUIRÓS Rosado, Elia M. (2009). Clasificación de imágenes multiespectrales ASTER mediante funciones adaptivas. Tesis (Doctorado en Expresión Gráfica). Cáceres, España: Universidad de Extremadura. 214 p.

Ramos Pedro, Natanel Severo, Herrero Adrián. (2007). Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales. 1ª. ed. Salamanca, España: Universidad de Salamanca. 30 p. ISBN: 978-84-7800-387-7.

Rodríguez. E. (2015). Informe temático: Clima. IIAP- Programa de cambio climático, desarrollo territorial y ambiente – PROTERRA. Disponible en: http://iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/Publicacion_1500.pdf

ROSAS, Gabriela. (2009). Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Resumen técnico segunda comunicación nacional de cambio climático. Disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/Resumen_Nacional.pdf

SÁNCHEZ, F. Javier. (2017). Hidrología Superficial y Subterránea [en línea]. España, Universidad Salamanca. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021]. Precipitaciones.

Disponible en: <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf> ISBN:
9781975606602

Saunders, D. A., Hobbs, R. J., & Margules, C. R. (1991). Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. *Conservation Biology*, 5(March), 18–32.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>

Sayali, J., y Dixit, M. (2016). Supervised Classification of Satellite Images. Cummins college of Engineering for women, 98.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú (2016), Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro / Resumen Ejecutivo, Ediciones SENAMHI, Lima, Perú, 250 pp.

Szewranski, S., Kazak, J., Sylla, M., & Swiader, M. (2016). Spatial Data Analysis with the Use of ArcGis and Tableau Systems. Springer, 337-349.

Tiria, Nataly, Bonilla, Julián, Bonilla, Cesar. (2018), Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguizamo, putumayo (Colombia). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (2): 286-300

VARGAS, Rosa. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. San José: s.n.vol.5, 165 p.

Villón, M. (2011). Hidrología. 3a. ed. Lima, Perú: Edit. Villón.

Wang, X., Mohcine, C., Chen, J., Li, R., & Ma, J. (2022). Modeling boundedly rational route choice in crowd evacuation processes. *Safety Science*, 147, 105590.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105590>

Watson, R. (2001). Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Disponible desde Internet en: <http://www.ipcc.ch/pub/un/syrspanish/spm.pdf>

Zhao Ruishan, Zhang, G., Deng, M., Xu, K., y Guo, F. (2017). Geometric Calibration and Accuracy Verification of the GF-3 Satellite. Science Direct, 50-62

Zhi, Li. (2016). Potential impacts of climate change on vegetation dynamics in Central Asia. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015JD023618> ISSN: 2169-8996

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Registro de Imágenes Satelitales

DATOS GENERALES	
TÍTULO:	
FECHA:	
IMÁGENES SATELITALES	
CARACTERISTICAS	1986-2018
Código	
Fecha de toma	
Zona UTM	
Elevación	
Azimut	
Fecha de adquisición	
Altitud	

Fuente: (Rodríguez & Rubianes, 2019)

Anexo 2. Registro de la cuantificación de variables

INFLUNCIA DE LA VARIACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA SOBRE LA DINAMICA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA SUBCUENCA QUISQUICHACA DURANTE EL PERIODO 1986-2018, CANTA - PERÚ		
AÑO	1986-2018.	
VARIABLES	INDICADORES	VALOR ADQUIRIDO - ESCALA DE MEDIDA
Cobertura vegetal	Superficie	Hectáreas
Precipitación	Precipitación superficial	mm/km ²
Temperatura	Temperatura promedio superficial	Celsius (°C)/km ²

Fuente: (De la Cruz y Gamarra, 2021)

Anexo 3. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICIÓN
COBERTURA VEGETAL	Es toda superficie cubierta de unidades vegetales, estas pueden ser homogéneas o variadas (Morales, 2016)	La cobertura vegetal es medida mediante el procesamiento digital de las imágenes satelitales Landsat entre los años 1986-2018 posteriormente mediante NDVI se podrá determinar la cobertura vegetal con ayuda de los softwares ENVI 5.3 Y ARC MAP 10.8	Superficie	análisis temporal	Teledetección	Kilómetros cuadrados
				análisis temporal	Hoja de cálculo	%
VARIABLES CLIMÁTICAS	El clima es definido como la interrelación entre las variables climáticas (humedad, precipitación, temperatura, presión y viento) presentes en una unidad territorial, a un determinado tiempo (Villar, 2019).	La dinámica precipitación y temperatura será obtenido de la plataforma digital del SENAMHI y WorldClim, posteriormente será transformado de un elemento puntual a un elemento superficial, mediante el método de Isoyetas e isothermas	Precipitación	Precipitación superficial	Isoyetas	mm/km ²
			Temperatura	Temperatura promedio superficial	Isothermas	Celsius (°C)/km ²