



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA DEL RÍMAC MEDIANTE EL NDVI Y SU RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO 1984-2016”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Henry Edinson Llecllish Rojas

Asesor:

M.Sc. Daniela Milagros Landa Acuña

Lima - Perú

2020

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor M.Sc. Daniela Milagros Landa Acuña, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Lleclish Rojas, Henry Edinson

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “Evolución temporal de la cobertura vegetal en la cuenca del Rímac mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo (1984-2016)” para aspirar al título profesional de: Ingeniero Ambiental por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Daniela Milagros Landa Acuña
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante Henry Edinson Llecllish Rojas para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “Evolución temporal de la cobertura vegetal en la cuenca del Rímac mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo (1984-2016)”

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a múltiples investigadores enfocados en las mejoras tecnológicas, para que puedan desarrollar de manera exitosa sus proyectos, también dedico a mis padres, por sus esfuerzos involucrados en este proceso.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por fortalecerme todo este tiempo, y a mis padres por apoyarme durante mi desarrollo profesional

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	ii
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMMARY	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Realidad Problemática	14
1.2. Bases teóricas.....	25
1.3. Formulación del Problema.....	32
1.4. Justificación	33
1.5. Objetivos	34
1.6. Hipótesis.....	35
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	36
2.1. Tipo de Investigación.....	36
2.2. Población.....	36
2.3. Materiales, Instrumentos y métodos.....	36
2.3.1. Materiales	36
2.3.2. Instrumentos	37
2.3.3. Métodos.....	38
2.4. Procedimientos.....	43
2.4.1. Localización del área de estudio.....	43
2.4.2. Adquisición de los datos.....	44
2.4.3. Zonificación de la cuenca del Rímac	46
2.4.4. Tratamiento Digital de las Imágenes Landsat	47
2.4.5. Determinación de la cubierta vegetal	48
2.4.6. Determinación de la precipitación	53
2.4.7. Determinación del comportamiento temporal de la cobertura vegetal	56
2.4.8. Correlación entre las variables precipitación y cobertura vegetal:.....	57
2.5. Aspectos Éticos	58

CAPÍTULO III. RESULTADOS	62
3.1. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la cuenca del Rímac	64
3.2. Relación entre la precipitación y la cobertura vegetal	78
3.2.1. Relación entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac	78
3.2.2. Relación entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal a nivel de zonas	80
CAPÍTULO IV. DISCUSIONES	83
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	90
REFERENCIAS.....	92
ANEXOS.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalles del satélite Landsat 5 - TM.....	30
Tabla 2. Detalles del satélite Landsat 7 - ETM+	31
Tabla 3. Detalles del satélite Landsat 8 - OLI/TIRS	31
Tabla 4. Materiales empleados en la investigación	37
Tabla 5. Interpretación de los valores de la correlación.....	43
Tabla 6. Imágenes Landsat requeridos, según el periodo de estudio	45
Tabla 7. Codificación PATH y ROW	45
Tabla 8. Clasificación de los valores del NDVI	49
Tabla 9. Alternativas de la hipótesis correlacional	58
Tabla 10. Matriz de Consistencia	59
Tabla 11. Matriz de Operacionalización de Variables.....	60
Tabla 12. Prueba de normalidad de datos, mediante el método Shapiro-Wilk.....	78
Tabla 13. Prueba de correlación de Pearson.....	79
Tabla 14. Prueba de normalidad de datos, mediante Shapiro-Wilk.....	80
Tabla 15. Prueba de correlación de Pearson para las variables de análisis	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación porcentual de la precipitación para el año 2030	16
Figura 2. Muestra de error radiométrico de Landsat 7	28
Figura 3. Muestra de corrección atmosférica	29
Figura 4. Satélite Landsat 8 y sus subsistemas	30
Figura 5. Mapa de la cuenca Hidrográfica del Rímac, según ANA (2018) y MINAGRI (2012)	44
Figura 6. Modelo para la zonificación de la cuenca del Rímac, mediante ModelBuilder	46
Figura 7. Zonificación de la cuenca hidrográfica del Rímac	47
Figura 8. Modelo para la obtención del NDVI expresado en áreas	51
Figura 9. Modelo para la obtención del NDVI expresado en áreas, según las 9 zonas de estudio	52
Figura 10. Puntos determinados para la extraer datos de precipitación del producto PISCO	53
Figura 11. Modelo para determinar la precipitación media, mediante el método de Isoyetas	55
Figura 12. Flujograma de las etapas de procedimiento de la investigación	61
Figura 13. Evolución temporal de la variabilidad de la precipitación	63
Figura 14. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac	65
Figura 15. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac, con la distribución de la precipitación Acumulada	66
Figura 16. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 1, con la distribución de la precipitación Acumulada	67
Figura 17. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 2, con la distribución de la precipitación Acumulada	68
Figura 18. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 3, con la distribución de la precipitación Acumulada	69
Figura 19. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 4, con la distribución de la precipitación Acumulada	70
Figura 20. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 5, con la distribución de la precipitación Acumulada	71
Figura 21. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 6, con la distribución de la precipitación Acumulada	72
Figura 22. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 7, con la distribución de la precipitación Acumulada	73
Figura 23. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 8, con la distribución de la precipitación Acumulada	74
Figura 24. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 9, con la distribución de la precipitación Acumulada	75
Figura 25. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma interanual desde 1984 hasta 2016	77
Figura 26. Diagrama de relación de las variables	79
Figura 27. Mapa del grado de correlación de las variables precipitación y cobertura vegetal a nivel de zonas	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Expresión matemática para determinar el NDVI.....	25
Ecuación 2. Reflectancia de la tierra.....	39
Ecuación 3. Determinación del NDVI mediante las bandas espectrales.....	40
Ecuación 4. Determinación de la precipitación media de un territorio.....	41
Ecuación 5. Operación algebraica para las bandas del Landsat 5 y 7.....	48
Ecuación 6. Operación algebraica para las bandas del Landsat 8.....	49
Ecuación 7. Ecuación Lineal.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Registro de Imágenes Satelitales	104
Anexo 2. Registro de precipitación.....	104
Anexo 3. Registro de la cuantificación de variables.....	104
Anexo 4. Código para extraer los datos de precipitación del producto grillado PISCO Versión 2.1	105
Anexo 5. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 1984 hasta 1991.....	106
Anexo 6. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 1992 hasta 1999.....	107
Anexo 7. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 2000 hasta 2007.....	108
Anexo 8. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 2008 hasta 2016.....	109

RESUMEN

El cambio climático presenta muchas consecuencias, como la escasez hídrica por la baja disponibilidad del agua. Sin embargo, no se conoce con exactitud el efecto de la variabilidad climática en las coberturas vegetales, o en que magnitud se encuentra la asociación; por otra parte, el conocimiento del comportamiento vegetativo de un territorio permite abordar mecanismos para conservar los recursos vegetales. Por ello, se buscó conocer la relación de la precipitación climática y la cobertura vegetal, así como también realizar un análisis de comportamiento evolutivo de la cobertura vegetal en la cuenca del Rímac, para un periodo de 32 años. El diseño de la investigación fue descriptiva correlacional, donde la cobertura vegetal estuvo determinada por el índice NDVI y la variable precipitación estuvo definido por el método de Isoyetas; luego, estas variables fueron analizadas a través de la prueba correlacional de Pearson. El análisis demostró que las variables presentan una relación alta de 78.7% en todo el territorio; las zonas con mayor relación fueron las zonas 1 y 2 con 75 %; además el comportamiento evolutivo mostró con un ligero incremento de cobertura vegetal de 24 km².

Palabras clave: NDVI, Precipitación, Landsat, análisis multitemporal

SUMMARY

Climate change has many consequences, such as water scarcity due to low water availability. However, the exact effect of climate variability on plant cover, or the magnitude of the association, is not known. On the other hand, knowledge of the vegetative behavior of a territory allows us to address mechanisms for conserving plant resources. For this reason, it was sought to know the relationship between climatic precipitation and vegetable cover, as well as to carry out an analysis of the evolutionary behavior of vegetable cover in the Rimac River Basin, for a period of 32 years. The research design was descriptive and correlational, where the vegetable cover was determined by the NDVI index and the precipitation variable was defined by the Isoyetas method; then, these variables were analyzed through Pearson's correlational test. The analysis demonstrated that the variables present a high relation of 78.7% at level of all the territory; the zones with greater relation were zones 1 and 2 with 75%; in addition, the evolutionary behavior showed a slight increase of vegetal cover of 24 km².

Keywords: NDVI, Precipitation, Landsat, multi-temporal analysis

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Desde hace siglos el planeta ha presenciado cambios en clima, debido distintos fenómenos naturales como El Niño, sin embargo, la mayor repercusión es atribuido a los factores antrópicos como la industrialización; asimismo, desde 1950 la biosfera ha incrementado su temperatura superficial entre 01-04 °C (Solman, 2011). Este cambio ha influenciado en las precipitaciones atmosféricas, modificando su desplazamiento y su magnitud, el cual provoca sequías en terrenos áridos, y erosiones hídricas en terrenos empinados (Broecker, 2013). Los cambios de la precipitación no se presenta de manera uniforme en un territorio, por lo contrario esta es muy variable, sin importar la escala que se considere (Miranda & Pugnaire, 2016).

El cambio significativo de las precipitaciones data a partir del año 2000, así lo demuestran Brown, Gallardo, Correa, & Barrios (2015), mediante un modelo climático. Por otra parte, el IPCC menciona que los patrones de precipitación son cada vez más complejos y variables, dejando en claro que los más afectados ante esta situación hídrica son los ecosistemas continentales; más aún, los componentes físicos y biológicos (Miranda & Pugnaire, 2016). Sin embargo, la situación más preocupante para la población ecosistémica ante la variación de las precipitaciones es la disponibilidad hídrica; ya que, deja sin recurso a la población y a la biodiversidad (Broecker, 2013), lo que encadena una baja productividad en áreas rurales, cambios en la fauna silvestre, limitaciones en la funcionalidad ecosistémica y alteración en los ciclos ambientales (Miranda & Pugnaire, 2016).

En cuanto a los impactos geográficos, se destaca las sequías y las inundaciones, estos fenómenos desencadenan diversos efectos como la deshidratación de los pastizales, cuando este proceso ocurre, la variable temperatura ambiental acarrea con mayor intensidad las cubiertas pastizales generando olas de calor (Burgos, 2015). Las inundaciones provocan los llamados huaicos que son deslizamientos de masas generados por las altas precipitaciones, este fenómeno es percibido con mayor intensidad en zonas con pendientes elevadas (45° a 60°) y textura de suelo de tipo franco-arenoso y franco-arcillo-arenoso, es por ello la importancia de las coberturas vegetales como infraestructuras naturales que brindan estabilidad al suelo (Salvador, Reyes, Castañeda, & Alberich, 2019).

Las coberturas vegetales más afectadas o sensibles ante el comportamiento variado de la precipitación, son los matorrales (Solman, 2011) que están compuestas por arbustos altoandinos, arbustos de montañas y arbustos de zonas áridas (MINAM, 2015); los bosques nativos, como la especie *Pinus* (Galeana, Corona, & Ordóñez, 2009) y las unidades agrícolas, esta cobertura es de provecho sostenible para los pobladores de una cuenca u otro territorio, puesto que afecta los procesos de siembra y cosecha (Olivares, 2010).

Según SENAMHI (2017), el Perú presentó variaciones de precipitaciones dentro del rango -4 mm/día a 5 mm/día, además indican que en la zona norte incrementó la precipitación y en la parte sur disminuyó esta variable, eso demuestra los eventos o fenómenos antes mencionados. Por otra parte, los escenarios climáticos realizados por el SENAMHI muestran que la costa, sierra norteña y la selva sur, presentarán un incremento de hasta 20% en precipitaciones atmosféricas, sin embargo los descensos se evidenciarán en la selva norte, sierra central-sur con la misma magnitud, para el año

2030 (MINAM, 2010); además, se evidencia que la disminución más significativa se encuentra en el departamento de Lima (Figura 1).

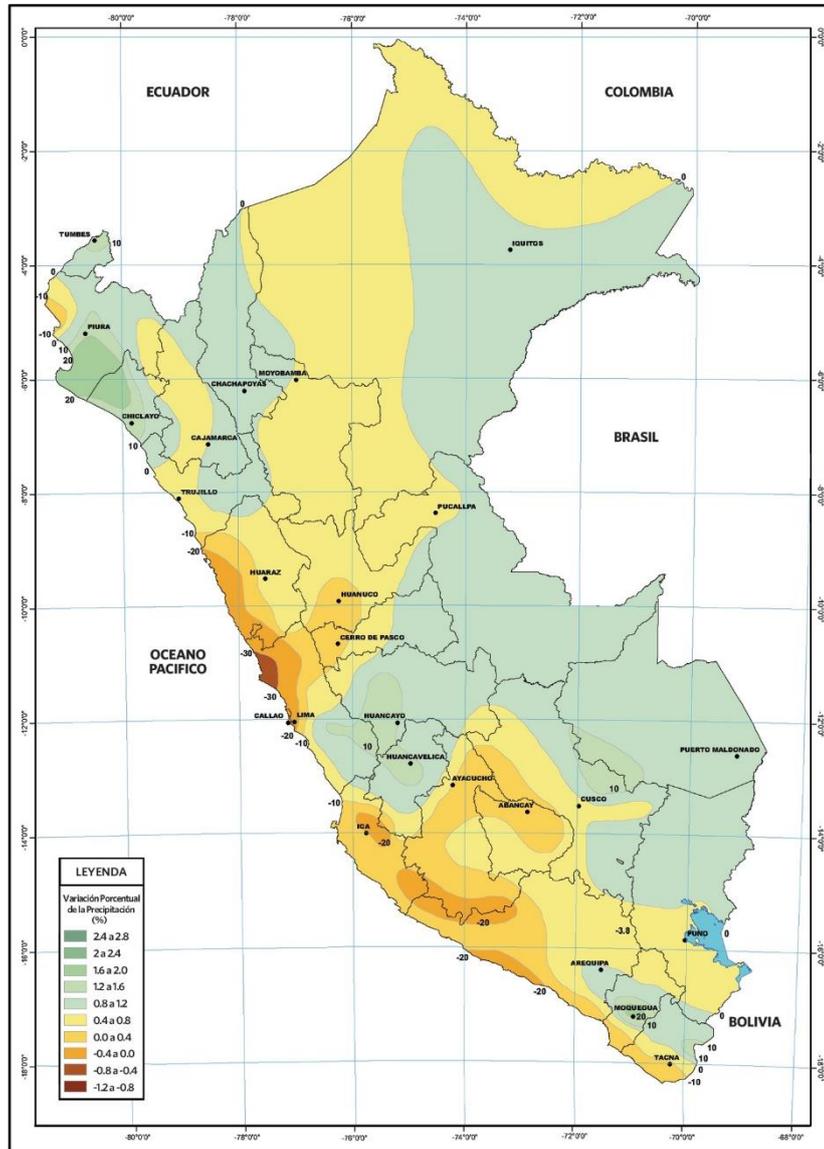


Figura 1. Variación porcentual de la precipitación para el año 2030
Fuente: (MINAM, 2010)

El Perú desde la ratificación al Acuerdo de París (2016), ha generado informes que contiene acciones de mitigación y adaptación para contrarrestar los efectos del cambio climático, dentro del informe el eje temático agua presenta distintas medidas de adaptación en referencia a cuencas hidrográficas vulnerables, no obstante, no se hace mención el proceso para determinar dicha vulnerabilidad de cuencas hidrográficas;

tampoco indican, como identificar las zonas prioritarias para implementar acciones de intervención (MINAM, 2018). El Perú aún se encuentra en procesos de involucrar sectores, generar alianzas y concretar acuerdos, para implementar las medidas de mitigación y adaptación propuestas en sus informes, este proceso aún no culmina, por ende aún no se desarrolla estudios para identificar cuencas vulnerables ante cambios de precipitación (MINAM, 2020).

Por otra parte, mencionar que las coberturas vegetales son unidades importantes en las planificaciones territoriales, sobre todo en cuencas hidrográficas; puesto que, presentan diversos beneficios como el control de los microclimas y las reducciones de los eventos relacionados con deslizamientos de masas e inundaciones fluviales, quiere decir la protección de los suelos ante procesos de erosión (Leal, 2015); a ello se suma el beneficio de los servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica, valores estéticos, entre otros (Ibáñez, 2019). Estos servicios benefician económicamente a las poblaciones mediante la agricultura, ganadería y generación de energía eléctrica (Rodríguez, 2015)

En base a todo lo mencionado, esta investigación tiene como objetivo conocer la evolución de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac y su relación con las precipitaciones, en un periodo de análisis de 32 años (1984-2016), para ello se aplicó el análisis multitemporal, el cual consiste en identificar cambios ocurridos en diferentes lapsos de tiempo (Flórez, Rincon, Santiago, & Alzate, 2016), a esto acompaña la técnica de fotointerpretación de imágenes satelitales, que consiste en la cuantificación de parámetros como la superficie, a través de imágenes satelitales (Ismael, Gregorio, Mamani, & Solíz, 2018). Para la caracterización de la cobertura

vegetal se utilizará el índice NDVI; debido a que, es la técnica más significativa para la evaluación vegetativa de un territorio (Maggi & Di Ferdinando, 2016)

Esta investigación utilizó datos de instituciones internacionales y nacionales, además tuvo sustento en artículos científicos y tesis de investigación, todo ello en relación a la precipitación atmosférica y el NDVI, estos artículos son presentados en las siguientes líneas:

Birtwistle, Laituri, Bledsoe, & Friedman (2016), investigaron el comportamiento de la precipitación y la cobertura vegetal en un espacio geográfico. Para ello, utilizaron el índice NDVI obtenido de las imágenes satelitales landsat TM, los datos pluviómetros obtenidos del NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica). El análisis demostró un cambio de cobertura vegetal de 37%; además, se evidenció una correlación de 73% entre las variables precipitación y cobertura vegetal. Por último, la investigación indico que este análisis permitió conocer la ubicación de los flujos de ríos cargados por las precipitaciones.

Esteban & Ponieman (2017), investigaron la variabilidad de la cobertura vegetal, todo ello durante un periodo de 10 años de análisis, además buscaron relacionar esta variabilidad vegetal con la magnitud de la precipitación local. Para ello, aplicaron el método de análisis espacio temporal, y la técnica de teledetección de imágenes satelitales, donde, la cobertura vegetal fue determinado mediante los datos del sensor MODIS del satélite Terra, los datos mensuales de precipitación fueron adquiridos de la institución Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), estas variables tuvieron un análisis de correlación lineal. Los resultados demostraron un descenso de

la cobertura vegetal a una tasa anual de 2.02% y una correlación de 78% entre la cobertura vegetal y la precipitación. La investigación determinó que la unidad vegetal se encuentra en una dependencia significativa a las precipitaciones.

Valencia & Tobo (2017), determinaron la relación de las coberturas vegetal y las variables climáticas, en la parte superior de una cuenca hidrográfica. Para ello aplicaron el método de análisis espacio temporal, donde la vegetación fue determinada por el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) y los datos climáticos como precipitación y temperatura fueron adquiridos de estaciones meteorológicas automáticas de la zona, el análisis de las variables en cuestión se dividió en dos temporadas, húmeda y seca. La investigación demostró que las coberturas vegetales arbustivas (*Espeletia* y *Chusquea*) son las más dependientes a las precipitaciones, en cambio los pajonales son unidades autodependientes. Asimismo la investigación concluye que el conocimiento de esta dependencia ayuda a determinar con precisión el ciclo hidrológico de una cuenca.

Franco & Pascual (2019), investigaron la interrelación de las precipitaciones y las unidades vegetales de un bosque alto andino. Para ello, utilizaron la técnica de teledetección en las imágenes satelitales de la nave Spot-5, además se complementó con la técnica de clasificación supervisada de NDVI, para determinar las categorías de vegetación existente; por otra parte, la variable precipitación climática fue determinada por las mediciones de cinco pluviómetros distribuidos de manera equidistante. La investigación demostró que la cobertura boscosa es la unidad con mayor relación a la variable precipitación en un 76%, el cual demuestra una dependencia significativa; por otra parte, mencionan que para determinar una relación fiable, es necesario trabajar con los datos volumétricos de las escorrentías.

Gomez (2017), indagaron la respuesta vegetativa de un territorio ante la variación de las precipitaciones. Para ello aplico el método de percepción remota con un periodo de 22 años de análisis, la cobertura vegetal fue determinada a partir del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), y las precipitaciones, fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas presentes en la zona. El estudio reveló que los bosques de encino, la agricultura, el pino y los pastisales presentan valores mínimos de NDVI en déficit de lluvia, por consiguiente, estas coberturas son más dependientes a las precipitaciones climáticas; por otra parte, el estudio indica que hay coberturas vegetales que presentan una alta capacidad de resiliencia, a pesar de encontrarse en temporadas de estiaje.

Belenguer-Plomer, (2016), analizaron el estado productivo de una unidad agrícola, a partir del índice vegetativo NDVI e identificar la influencia de la precipitación en ella. Para ello, la investigación utilizo imágenes satelitales del sensor MODIS a escala anual; las precipitaciones medias fueron adquiridos de los datos climáticos de la zona; las variables fueron evaluados en curvas de anomalías anuales y una prueba estadística de relación; para ello, el estudio abarco un periodo de análisis de 14 años. La indagación demostró una relación estrecha entre la variable NDVI y precipitación, en gran parte de los años; además, se encontró anomalías negativas entre 3 a 6%. Este análisis evidencio que las bajas producciones agricolas fueron ocasionados por las bajas precipitaciones de la zona, ya que presenta una relación directa con la cobertura vegetal; además, la investigación menciona que existen distintos factores ajenos a la precipitación que afectan la productividad agrícola de manera directa.

Gómez (2017), determino la relación del NDVI y la variabilidad del clima en un espacio mixto (zonas rurales y urbanas). Por consiguiente, empleo los datos anómalos

de la precipitación ambiental y la temperatura, de una base digital de 48 años, por otra parte, el NDVI fue determinado por percepción remota con un periodo de análisis de 23 años con una escala espacial de 8kmx8km y una resolución temporal mensual, luego cuantifico la relación entre los grupos precipitación / NDVI y temperatura / NDVI. La investigación demostró que el grupo precipitación/NDVI, se encuentra intensamente relacionado, sobre todo en las vegetaciones caducifolio y semicaducifolio; el grupo temperatura/NDVI muestra una relación media. Las coberturas vegetales muestran dependencia ante las precipitaciones, por ello cuando disminuyen las precipitaciones, las coberturas vegetales se reducen, sin embargo, estas unidades se recuperan con las temporadas siguientes. La investigación sugiere realizar estudios similares, pero con el efecto del cambio climático.

Brendel, Bohn, & Piccolo (2017), indagaron la influencia de los eventos climáticos en la cobertura vegetal de un territorio hidrográfico. Por tal motivo, empleo el índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) para caracterizar la magnitud de los eventos climáticos. Para determinar la cobertura vegetal, también, empleo el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) en 5 años de análisis, por otra parte, los cuerpos hídricos se identificaron mediante la clasificación supervisada de imágenes LANDSAT 5 TM Y 7 ETM. La investigación mostró que la cuenca presenta un Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) normal, quiere decir un equilibrio entre clima húmedo y seco; los valores de NDVI oscilaron entre 0.22 a 0.31, ; por otra parte, la cobertura vario desde 12.7 km² a 13.5 km².

Villalba & Bruzzone (2017), investigaron sobre la variabilidad de las coberturas vegetales frente a los impactos del cambio climático, para ello, utilizaron la técnica de geoestadística, donde los datos de precipitación ambiental y temperatura, fueron

convertidos en datos ráster de 20kmx20km; la cobertura vegetal fue expresado mediante los valores de un NDVI; además, aplicaron una clasificación supervisada teniendo en cuenta las características vegetales de la zona; luego, calcularon la relación entre la variable climática y cobertura vegetal. La indagación demostró que la temperatura es un factor dominante en las temporadas de insolación, sobre todo en los bosques templados; sin embargo, la precipitación es un factor dominante en las temporadas de invierno y otoño. Por tanto, la investigación indica que las variables climáticas influyen de forma directa en las coberturas vegetales, sobre todo, en las vegetaciones sensibles a cambio climáticos.

Trujillo (2019), determinaron los cambios en las coberturas vegetales de un espacio geográfico ante la presencia de actividades antrópicas y los efectos de la variabilidad climática. Para ello, utilizó el método de análisis espacio-temporal, donde la cobertura vegetal fue determinada por el índice NDVI, la variable antrópica estaba definida por densidad poblacional e infraestructuras grises, y la variable climática determinada por las unidades temperatura, precipitación y viento. El análisis demostró que la unidad precipitación es una variable muy influyente en las coberturas de tipo bosque, agrícola y matorral; por otra parte, el factor antrópico muestra una relación negativa con la cobertura vegetal. En resumen, las variaciones de cobertura vegetal se encuentran en dependencia a la precipitación climática y las actividades antrópicas.

Wang *et al.* (2018), efectuaron un estudio con el fin de conocer la respuesta vegetativa de las unidades pastizales frente a la variabilidad de las precipitaciones. Para ello, se utilizaron la base de datos de 145 estaciones meteorológicas para determinar el grado de variabilidad; por otro lado, las coberturas de tipo pastizal fueron determinados por el índice de vegetación normalizada NDVI; luego, las variables en cuestión fueron

analizadas en una prueba correlacional. El análisis mostro cambios significativos de precipitación en la parte sur del área de estudio, donde predominaban pendientes elevadas; el análisis estadístico demostró que los pastizales de toda el área en estudio presentaban una relación directa y significativa con la precipitación anual. En resumen, la variable precipitación atmosférica, influye en los cambios de cobertura vegetal.

Sun & Qin (2016), elaboraron una investigación con el objeto de conocer como las variables precipitación atmosférica y temperatura regulan el NDVI. Para ello, utilizaron los datos de la organización GIMMS (Sistema mundial de seguimiento agrícola) esto para el cálculo del NDVI en el periodo 1982-2013, y la institución Centro de Información Meteorológica de China, para obtener los datos históricos de precipitación y temperatura. El análisis demostró una tendencia creciente a excepción de las temporadas de invierno; de la relación NDVI / precipitación y temperatura, se observó que la temperatura muestra una relación directa positiva en la primavera, sin embargo, la precipitación muestra una relación positiva en todo el año. De lo mencionado, el estudio indica que la precipitación es el mayor factor influyente en la cobertura vegetal, además, el estudio por temporadas, indica una mayor posición para determinar cambios precisos.

Perez (2015), investigo la dinámica multitemporal de la cobertura vegetal y su relación con la variabilidad climática. Para ello, utilizo el índice de vegetación Normalizada (NDVI) de las imágenes Modis Terra para determinar las coberturas vegetales del área en estudio y el índice de precipitación estandarizado (SPI) para determinar la variable climática. El análisis demostró un NDVI entre 0.15 hasta 0.55, donde predominaban las unidades matorrales; y un SPI con valor de -0.5 hasta 1.29, lo que significa una condición ligeramente húmedo. La investigación concluyo que el NDVI muestra una

relación significativa con el SPI, con mayor intensidad en años húmedos, también indica que se debe contar con otros factores que modifican las extensiones de las coberturas vegetales.

Campos & Guerrero (2017), indagaron el comportamiento de las coberturas vegetales y su relación con los factores meteorológicos: precipitación y temperatura. Para ello, utilizo la técnica de teledetección en un periodo de 16 años, con el propósito de generar el índice NDVI; por otro lado, los datos climáticos fueron extraídos del registro del SENAMHI (Instituto Meteorológico del Perú); luego, se determinó la tendencia de las coberturas vegetales, así como también la correlación con la variable precipitación. El análisis demostró que el área de estudio presentaba líneas de tendencia positiva y negativa en distintas zonas de la superficie, también evidenciaron una relación significativa entre la precipitación climática y los cambios de la cobertura vegetal.

Nina (2015), investigo los cambios temporales de la cobertura vegetal y su relación con las variables climáticas temperatura y precipitación. Para ello, aplico la técnica de análisis multitemporal entre la cobertura vegetal y las variables climáticas; la vegetación fue determinada mediante el índice NDVI y las variables climáticas tuvieron un proceso geoespacial (Kriging ordinario). El análisis reveló una pérdida de cobertura vegetal de 60%, donde las unidades más afectadas fueron los pajonales y el tólar; también, se evidenció una relación significativa entre la precipitación y el NDVI con una magnitud de 0.92. Estos datos demostraron que la variable precipitación atmosférica influye en la vigorosidad de las coberturas vegetales; también identificaron las unidades vegetales más sensibles a los cambios atmosféricos.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Índice de vegetación

Son ecuaciones algebraicas que nos permiten detectar algún elemento característico dentro de un territorio, todo ello es debido a los valores de la reflectancia a diferentes longitudes de onda (Muños, 2013).

Estos índices no miden directamente la productividad ni la disponibilidad vegetativa de un terreno, pero gracias a la reflectancia, se logra estimar el grado o el estado de una cobertura vegetal (Aguilar, 2016), una propiedad fundamental de estos índices vegetativos son la exclusión de los factores externos físicos como la óptica del suelo y la irradiancia solar (Sobrino *et al.*, 2000)

A. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Es un índice matemático que permite determinar el estado de vigorosidad de coberturas vegetales pertenecientes a un territorio, así como también cuantificar las diferentes unidades vegetales (Aguilar, Mora, & Vargas, 2015). El cálculo aritmético está dado por la Banda infrarroja cercana y la Banda roja (ecuación 1), además mencionar que es la más utilizada, debido a se encuentra normalizada, quiere decir que contrarresta los efectos atmosféricos presentes en las mediciones satelitales (Perez & Muñoz, 2006).

Ecuación 1: Expresión matemática para determinar el NDVI.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Donde:

NIR: Banda infrarroja cercana

RED: Banda roja

Fuente: (Aguilar, Mora, & Vargas, 2015)

El NDVI varían entre los valores de -1 a +1, donde el nivel más alto indica una alta actividad fotosintética de la cubierta vegetal, los valores bajos indican situaciones de escasa o nula cubierta vegetal y baja actividad fotosintética (Arboit & Maglione, 2018).

1.2.2. Precipitación climática

Se define a las gotas de agua que se condensan de la atmosfera, esta variable se encuentra sujeta a la gravedad, por ello presenta una velocidad de descenso de 4 a 8 m/s (Landa, Magaña, & Neri, 2008). También es denominado como la cantidad de vapor de agua acumulado en una columna vertical, por consiguiente, la unidad que le expresa es milímetros (IPCC, 2018); según Landa, Magaña, & Neri (2008), las precipitaciones pueden clasificarse en:

- A. Llovizna: se denominan así a las precipitación con baja frecuencia y diámetros inferiores a 0.5 mm.
- B. Lluvia: con continua presencia, y con diámetros superiores a 0.5 mm.
- C. Chubasco: se denomina así a las precipitaciones con intensidad agresiva, por presentar una intensidad superior a 20mm/h.
- D. Tromba: se denomina así a las precipitaciones violentas y abundantes, que generan inundaciones.

1.2.3. Software ArcGIS

Es un software generado por ESRI y se encuentra como ArcGIS Server (gestión web), ArcGIS Móvil (gestión en campo) y ArcGIS Desktop (gestión en escritorio) (Pucha, Fries, Cánovas, Oñate, & Pucha, 2017). También, es conocido como una herramienta para el manejo de información geográfica, ya que permite realizar manipulaciones e interpretaciones de informaciones geoespaciales (ESRI, 2002).

1.2.4. Software QGis

Es un software para el procesamiento de imágenes espaciales que provienen de los sensores satelitales (Aguilar, Mora, & Vargas, 2015). También es conocido como una herramienta SIG, debido a que permite analizar las imágenes sin importar sus características, además cuenta con el lenguaje IDL (Interactive Data Language) el cual permite realizar actividades específicas y propias (MINAGRI, 2018).

1.2.5. R y RStudio

Son softwares complementarios, que tienen por finalidad realizar procesamiento de datos, generación de gráficos y operaciones de cálculos , además se puede trabajar con la plataforma Windows (Horton & Kleinman, 2015), “R” brinda la facilidad de exportación de los datos a formatos Excel, SPSS, Stata, entre otros, estos software estadísticos se encuentra a libre disposición (Komperda, 2017)

1.2.6. Imágenes satelitales

Es la representación gráfica de los datos espaciales capturados por los sensores satelitales, los formatos de grabación son por lo general JPG, Geo TIFF y BMP (Sacristán, 2006), también son conocidos como los productos de una percepción remota, el cual consiste en la recepción de datos terrestres mediante sus energías electromagnéticas emitidas al ambiente (Serrato , 2018)

A. Procesamiento de imágenes satelitales:

Esto indica manipulación de imágenes, mediante diferente procesos SIG (sistema de información geográfica) (Alata, 2018), además el almacenamiento se presenta de manera digital.

1.2.7. Corrección de imágenes satelitales

Es el proceso que se le aplica a las imágenes satelitales, puesto que estos datos adquieren anomalías por las características atmosféricas de las nubes y por las características geográficas del planeta (Chuvieco, 1995)

A. Corrección Radiométrica

Es el proceso de convertir las magnitudes digitales a magnitudes físicas como radiancia y reflectancia (Gonzaga, 2015), con la finalidad de cuantificar los datos de una imagen satelital (MINAM, 2014) y también para obtener valores paramétricos homogéneos, estos procesos son debido a las imperfecciones de los píxeles de la imagen satelital, que son adquiridos por los factores climáticos o los factores de calibración de equipos (UNODC, 2020).

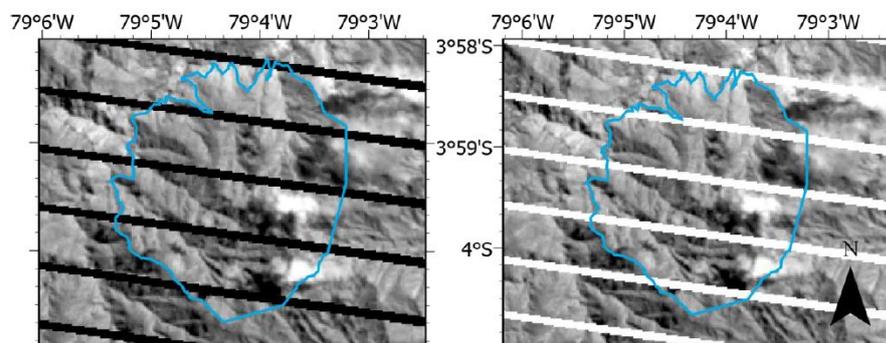


Figura 2. Muestra de error radiométrico de Landsat 7
Fuente: (Pucha, 2019)

B. Corrección Atmosférica

Es un proceso que permite reducir o eliminar las anomalías generadas por factores ambientales, como la humedad o las nubes, estas anomalías ocurren en la toma de datos de los sensores transportados en los satélites (Chuvieco, 2008). La corrección atmosférica está basada en algoritmos donde están dependientes del coeficiente de variación de los aerosoles atmosféricos presentes

en el área de estudio, sin embargo, en la actualidad se utiliza diversos programas que realizan el proceso de manera automática, se menciona los software más relevantes QGIS, CESVIO, ATCOR, entre otros (Palacios *et al.*, 2018)

Esta corrección es debido a los efectos de difusión, el cual es provocada por las partículas sólidas, gases y vapor de agua; estos elementos, capturan, refractan y dispersan la energía del sol. Todo lo mencionado provoca errores en la captura de datos terrestres (Baghdadi, Mallet, & Zribi, 2020)

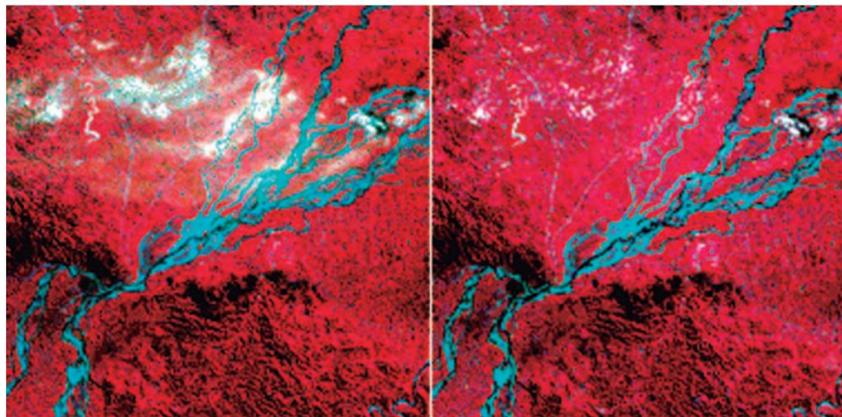


Figura 3. Muestra de corrección atmosférica
Fuente: (IDEAM, 2011)

C. Corrección Geométrica

Es el proceso que se aplica a las imágenes satelitales con la finalidad de georreferenciar la proyección geográfica (Baghdadi, Mallet, & Zribi, 2020), quiere decir realizar la transformación de las coordenadas de una imagen satelital, para ello se aplica generalmente puntos de control, o herramientas automáticas (Perez & Muñoz, 2006), esta corrección es debido a la inclinación del sensor (posición del sensor en el momento de la toma), la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con la imagen (Arevalo, Gonzalez, & Ambrosio, 2004).

1.2.8. Landsat

Son satélites que fueron lanzados por la NASA, con la finalidad de obtener datos de la cubierta terrestre mediante los sensores abordados, el primer satélite fue lanzado en 1972 y el último satélite (Landsat 8) fue emitido en 2013 (Fernandez & Herrero, 2007). También es conocido como la misión Landsat, además, con el transcurso temporal se busca afinar la calidad de los datos, y la información se encuentra a libre disposición (USGS, 2019).

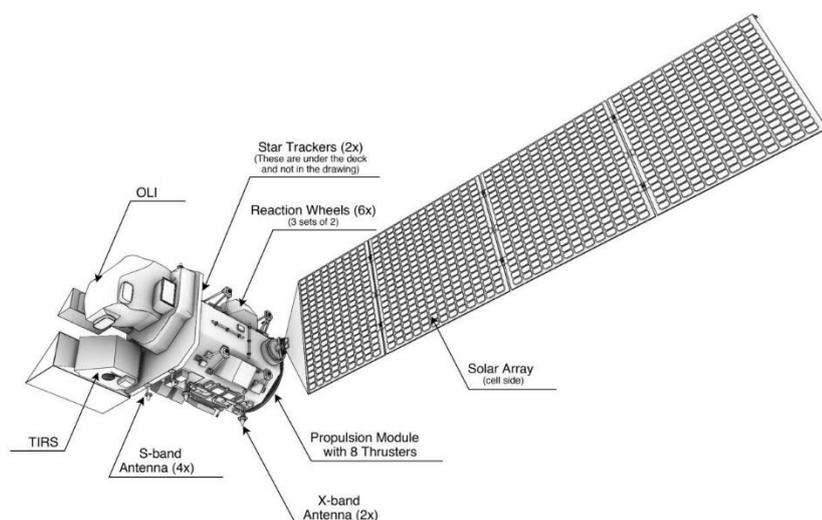


Figura 4. Satélite Landsat 8 y sus subsistemas
Fuente: (Ariza, 2013)

En las siguientes tablas se muestran algunas características pertinentes de los Satélites Landsat:

Tabla 1.
Detalles del satélite Landsat 5 - TM

Sensor	Resolución Espectral (μm)	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal (Días)	Resolución Radiométrica (Bits)	Área de Cobertura (km)
Landsat-5 TM Thematic Mapper	B1: 0.45-0.52 (visible-azul)	30			
	B2: 0.52-0.60 (visible-verde)	30			
	B3: 0.63-0.69 (visible-rojo)	30			
	B4: 0.76-0.90 (R cercano)	30			
	B5: 1.55-1.75 (R medio)	1	16	8	185x170
	B6: 10.4-12.5 (R térmico)	2			
	B7: 2.08-2.35 (R medio)	0	30		

Fuente: (USGS, 2011)

Tabla 2.
Detalles del satélite Landsat 7 - ETM+

Sensor	Resolución Espectral (μm)	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal (Días)	Resolución Radiométrica (Bits)	Área de Cobertura (km)
Landsat-7 ETM Spectral Bands	B1: 0.45-0.52 (visible-azul)	30			185x170
	B2: 0.52-0.60 (visible-verde)	30			
	B3: 0.63-0.69 (visible-rojo)	30			
	B4: 0.76-0.90 (R cercano)	30	16	8	
	B5: 1.55-1.75 (R medio)	30			
	B6: 10.4-12.5 (R térmico)	120			
	B7: 2.08-2.35 (R medio)	30			
	B8: 0.52-0.90 (Pancromática)	15			

Fuente: (USGS, 2011)

Tabla 3.
Detalles del satélite Landsat 8 - OLI/TIRS

Sensor	Resolución Espectral (μm)	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal (Días)	Resolución Radiométrica (Bits)	Área de Cobertura (km)
Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	B1: 0.435-0.451 (costero)	30			183x170
	B2: 0.450-0.515 (visible-azul)	30			
	B3: 0.525-0.600 (visible-verde)	30			
	B4: 0.630-0.680 (visible-rojo)	30			
	B5: 0.845-0.885 (R cercano)	30	16	16	
	B6: 1.560-1.660 (SWIR 1)	30			
	B7: 1.560-1.660 (SWIR 2)	30			
	B8: 0.500-0.680 (Pancromática)	15			
	B9: 1.360-1.390 (Cirrus)	30			
	B10: 10.30-11.30 infrarrojo térmico (TIRS) 1	100			
	B11: 11.50-12.50 infrarrojo térmico (TIRS) 2	100			

Fuente: (USGS, 2011)

1.2.9. Análisis Multitemporal

Es una técnica que permite conocer o estudiar el comportamiento de un elemento, ya sea una evolución o una tendencia (Lao & Pelaez, 2018). Se menciona multitemporal, puesto que dicho estudio será evaluado en distintos tiempos (años, meses o días), por lo general este análisis es representado en matrices temporales con su respectiva variable de estudio, por ejemplo, superficie, concentración, volumen, entre otros (Martinez E., 2015). También, es considerado como un proceso que permite observar

y cuantificar los cambios de una materia en estudio, en un lapso significativo (Mendoza , Salas , & Barboza, 2017),

1.2.10. Percepción Remota

Es una técnica para observar o analizar el sistema físico de la tierra, esta observación se maneja a una distancia amplia y con ayuda de la tecnología espacial (Lira, 2011). Las características para identificar un espacio geográfico son tanto cualitativos como cuantitativos, esta determinación es gracias a la energía solar o a la energía artificial dispuesto en el medio ambiente, estas energías proporcionan a los cuerpos la capacidad de emitir energías a distintas frecuencias, y estas ser capturadas por sensores tecnológicos (Chuvienco, 2008)

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Cuál es la evolución temporal la cobertura vegetal que es medida por el NDVI de la cuenca del Rímac y su relación con la precipitación en el periodo 1984-2016?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el comportamiento de la cobertura vegetal en la cuenca del Rímac en el periodo 1984-2016?
- ¿Cómo es la dinámica temporal de la precipitación acumulada anual de la cuenca del Rímac en el periodo 1984-2016?
- ¿Cuál es la relación a nivel global entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca Rímac en el periodo 1984-2016?
- ¿Cuáles es la relación a nivel de zonas entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac en el periodo 1984-2016?

1.4. Justificación

El cambio climático que percibe el planeta, ha ocasionado un desequilibrio en las precipitaciones ambientales, provocando aridez en zonas costeras, deslizamiento de masas en relieves empinados, erosión de las coberturas vegetales, deshidratación de pastizales altoandinos y pérdidas de vegetaciones. Por otra parte, el desequilibrio mencionado, provoca un desbalance hidrológico, alterando la funcionalidad de las infraestructuras verdes, como los andenes, bofedales, pajonales, pastizales, entre otros; estas coberturas brindan servicios ecosistémicos a la población y a la biodiversidad. Los territorios más afectados son las cuencas hidrográficas, ya que estos territorios presentan la mayor diversidad de coberturas vegetales. La cuenca hidrográfica por su alta densidad territorial, presenta diversos pisos altitudinales albergando ecosistemas de gran valor como los bofedales y bosques relictos, los recursos de esta cuenca son de beneficio para la población rural y urbana, pues la actividad más primordial es el agropecuario. Asimismo, la cuenca abastece de agua a la población urbana de Lima, mediante el uso de agua del río Rímac (río principal que colecta agua de todos los ríos secundario y quebradas de la cuenca).

En base a lo mencionado, resulta de especial interés conocer la dependencia de las cubiertas vegetal ante las precipitaciones cambiantes, y la evolución vegetativa de una cuenca hidrográfica. La cobertura vegetativa y la precipitación constituyen variables de importancia para determinar la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica ante el cambio climático, en ese sentido la presente investigación contribuirá con el enriquecimiento de la literatura científica.

La investigación también contribuirá con información técnica para los diversos proyectos ambientales direccionados en cuencas hidrográficas, donde busquen

garantizar el uso sostenible de los recursos naturales, ya que, al conocer las coberturas vegetales dependientes de las precipitaciones, se podrá implementar diversas medidas para preservar las coberturas vegetales, como por ejemplo la inserción de microreservorios, que consiste en captar precipitaciones en temporadas húmedas y dispersarla en temporadas de sequía. Asimismo, la investigación favorecerá a los gobiernos locales inmersos en una cuenca hidrográfica, ya que conocer el estado de las coberturas vegetales del territorio, les permitirá realizar agropecuarias, de manera sostenible.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar la evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo 1984 - 2016

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac en el periodo 1984-2016
- Analizar la dinámica temporal de la precipitación acumulada anual de la cuenca Rímac en el periodo 1984-2016
- Determinar la relación a nivel global entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca Rímac en el periodo 1984-2016.
- Determinar la relación a nivel de zonas entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac por zonas en el periodo 1984-2016.

1.6. Hipótesis

Existe una relación estrecha entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac que es medido por el NDVI en el periodo de análisis 1984-2016.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La investigación es de carácter descriptivo – correlacional – no experimental, es descriptivo, ya que se busca como objetivo evaluar el cambio de cubierta vegetal de la cuenca del Rímac en un periodo de 32 años y realizar un análisis entre las dos variables en estudio; correlacional, puesto que, se buscara el grado de asociación de la variable precipitación y cobertura vegetal en la zona de estudio; y no experimental – longitudinal, puesto que, no se realizara cambios en la variable independiente (precipitación), por lo contrario esta se tomara en su expresión natural para aplicar un análisis multitemporal de tres décadas. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

2.2. Población

El presente trabajo cuenta como población a toda la extensión territorial de la cuenca hidrográfica del Rímac, ya que, presenta coberturas vegetales con distintas tipologías y una distribución variable de precipitaciones (Miranda & Pugnaire, 2016). Se consideró como espacio de estudio a una cuenca hidrográfica, debido a que estos territorios son considerados unidades de planeación cuando se analizan las interacciones físicos-ambientales del territorio (Adalto *et al.*, 2020).

2.3. Materiales, Instrumentos y métodos

2.3.1. Materiales

Los materiales necesarios para cumplir los objetivos de la investigación, fueron los siguientes:

Tabla 4.
Materiales empleados en la investigación

Materiales de contacto	Materiales Digitales
Laptop Intel Core i5 – memorial RAM 16 GB	Software ArcGIS 10.3
Bolígrafos de tinta oscura	Software WinRAR
Resaltadores	Imágenes Satelitales Landsat
USB	Programa Microsoft Excel 2019
Rauter - Amplificador de internet	Programa Microsoft Word 2019
Block de notas	Software SPSS (Science for a Changing World) version 25
Dos monitores (pantallas PC)	Software R y RStudio
USB 32gb	Software QGis 3.14

Elaboración: Propria

2.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Para las imágenes satelitales, se aplicó la técnica de observación no experimental, que consistió en el uso de la percepción visual para la descarga de imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8, ya que es un requerimiento que el área en estudio no presente alto grado de nubosidad. El instrumento que acompañó fue una ficha de registro (anexo 1), donde se almacena las características típicas de las imágenes satelitales; tales como: fecha de adquisición, tipo de sensor, resolución espacial, temporal, ancho de barrido de la escena, entre otras.

Para los datos de precipitación se aplicó el procesamiento y extracción de datos puntual del producto grillado PISCO-SENAMHI, y como instrumento se aplicó el software R y RStudio, los datos extraídos fueron almacenados en una matriz de registro (anexo 2), en ella se almacenó, la magnitud puntual de la estación virtual y sus respectivas coordenadas de ubicación.

Para los datos de cobertura vegetal, precipitación por superficie, se aplicó como técnica el procesamiento de imágenes satelitales e isoyetas, respectivamente. El

instrumento considerado fue el software ArcGis 10.8, los datos resultantes fueron almacenados en una matriz de registro (anexo 3).

2.3.3. Instrumentos de Análisis de datos:

Los datos obtenidos de cobertura vegetal y la variable climática precipitación, fueron analizados por una prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) para medir si las variables presentan comportamiento normal o anormal (Droppelmann, 2018). Luego se aplicó la prueba correlacional de Pearson para determinar la relación entre las variables (Rivas-Tovar, 2016). El valor de la relación se encuentra en el rango de -1 a 1, donde los extremos numéricos representan mayor correlación y el 0 (valor central) representa una relación nula o independiente, el signo del coeficiente indica una relación directa (positivo) o inversa (negativo) (Evans & Rosenthal, 2004), todo estos procesos fueron realizados en el software SPSS 26.0. También, se utilizó la estadística descriptiva, para la elaboración de graficas lineales.

2.3.4. Métodos

A. Técnica de corrección geométrica:

Esta técnica consiste en corregir los desfases y distorsiones geométricas de las imágenes satelitales, para ello se requiere un elemento de control, como los formatos vectoriales, puntos y líneas; o formatos ráster, imágenes de Google Earth e imágenes, estos elementos ayudaran a repositonar las imágenes satelitales, mediante un ajuste de posición. georreferenciadas (Baghdadi, Mallet, & Zribi, 2020) Para llevar a cabo esta técnica es necesario el complemento de un software SIG (Ambrosio, Gonzales, & Arevalo, 2016).

B. Método DOS (Dark Object Sustracción) para corrección atmosférica:

Consiste en suprimir el efecto anómalo de la radiación electromagnética originada por los gases y partículas de la atmósfera, pues este, efecto ocasiona la baja fiabilidad de información de las imágenes satelitales (Riaño, Salas, & Chuvieco, 2000). El método Dark Object Sustracción (DOS), tiene como objetivo mejorar la reflectancia de la capa terrestre (Sobrino, Muñoz, & Paolin, 2004), la ecuación matemática para contrarrestar los errores atmosféricos y validar los datos de reflectancia es:

Ecuación 2. Reflectancia de la tierra

$$\rho = \frac{\pi * (L_{\lambda} - L_{\rho}) * d^2}{ESUN_{\lambda} * SEN(\theta_{SE})}$$

$$L_{\rho} = ML * ND_{min} + AL - 0.01 * \frac{ESUN_{\lambda} * SEN(\theta_{SE})}{\pi * d^2}$$

Donde:

L_{λ} = Radiancia espectral de entrada en el sensor

L_{ρ} = Es el efecto bruma

d = Distancia del SOL – Tierra (unidades astronómicas)

$ESUN_{\lambda}$ = Irradiancia espectral solar exoatmosférica

$SEN\theta_{SE}$ = Ángulo de elevación del sol local

ND_{min} = Valor digital mínima

ML = Factor multiplicativo denominado también ganancia

AL = Constante aditiva denominada sesgo

θ_{SE} = Ángulo de elevación del sol local

C. Método de correlación espacial – criterio de vecindad

Este método pertenece al proceso de corrección radiométrica, el cual consiste en restaurar la información perdida o defectuosa (Chuvieco, 1995). Para ello utiliza los números digitales (ND) de las áreas correctas de una imagen satelital y luego estima mediante criterio de vecindad, los valores de las áreas defectuosas (Rodríguez, 2019).

D. Método de análisis multitemporal:

Consiste en evaluar cambios ocurridos en diferentes lapsos de tiempo en un territorio sea continental o marítimo (Flórez, Rincon, Santiago, & Alzate, 2016). El proceso está determinado en primer lugar por adquirir imágenes satelitales, luego ser procesadas en una herramienta SIG (sistema de información geográfica) y por último cuantificar la variable en estudio en tiempos estipulados (Ismael, Gregorio, Mamani, & Solíz, 2018).

E. Técnica de Clasificación no Supervisada:

Esta técnica consiste en clasificar las informaciones digitales densas de un ráster en rango cuantificables, para ello se utiliza las herramientas automáticas de un software o la clasificación manual, considerando la experiencia. (Escobar, 2016)

F. Técnica de NDVI

Esta técnica permite conocer e identificar cobertura vegetal de un espacio geográfico mediante las bandas espectrales infrarrojo cercano y la banda roja de las imágenes satelitales, estas bandas son procesadas mediante una ecuación matemática (ver ecuación 3), el rango de valores de este índice va de -1 hasta +1, la cota superior hace referencia a una alta vegetación y la cota inferior refiere para suelos sin vegetación (Pauca *et al.*, 2020).

Ecuación 3. Determinación del NDVI mediante las bandas espectrales

$$NDVI = \frac{\text{Banda NIR} - \text{Banda ROJA}}{\text{Banda NIR} + \text{Banda ROJA}}$$

G. Método Pfafstetter

Este método consiste en delimitar un territorio tomando en consideración la línea divisoria de aguas, para especificar la escala o el tamaño del límite periférico, es necesario contar con el orden de ríos de una red hidrográfica, ya que esto permite identificar el nivel alta, media o baja de una superficie (Jumbo, 2015)

H. Método de Isoyetas

Es el método más ajustado para la determinación de la precipitación media, pues considera los efectos orográficos del territorio. Las isolíneas generadas presentan precipitaciones de igual magnitud, de forma similar a las curvas de nivel de un levantamiento topográfico (Pizarro, Ramirez, & Flores, 2003). Para calcular la precipitación media de un espacio terrestre, se requiere de dos variables: precipitación en isolíneas y áreas enmarcadas por las isolíneas, dichas isolíneas se construyen por interpolación de valores (UNESCO, 2006)

Ecuación 4. Determinación de la precipitación media de un territorio

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

Donde:

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

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 secuenciales (m²).

S_t = Superficie total (m²).

identificar el nivel alta, media o baja de una superficie (Jumbo, 2015)

I. Método estadístico de Shapiro - Wilks

Este método consiste en conocer la distribución estadística de los datos de una variable. Solo es utilizada cuando la cantidad de datos es inferior o igual a 50 unidades (Romero-Saldaña, 2016). El test que aplica a este método es el siguiente:

- H0: La distribución de datos es normal
- H1: La distribución de datos no es normal

Decisión:

$\text{Sig}(p \text{ valor}) > \alpha$: Acepto H0 (distribución de datos es normal).

$\text{Sig}(p \text{ valor}) < \alpha$: Aceptar H1 (distribución de datos es no normal)

Donde α representa la significancia 5% (0,05), para un nivel de confianza del 95%.

Una distribución normal permite realizar estadísticas y estimaciones significativas y confiables (Flores, Muñoz , & Sánchez, 2019)

J. Método estadístico de Correlación de Spearman

Es método de estadística correlacional es para datos con distribución no normal o también considerados datos no paramétricos. Este método adopta valores reales entre +1 y -1, según la correlación evaluada puede ser positiva (relación directa), negativa (relación inversa) o cero (que indica correlación nula) (Restrepo & González, 2007).

La interpretación de los distintos coeficientes de la correlación, son mangados del mismo modo que el método de Pearson (Rebollar & Campos , 2015)

K. Método estadístico de Correlación de Pearson

Este método determina la magnitud de asociación entre dos variables aleatorias cuantitativas, utilizado en variables que presentan datos con una distribución normal.

Los resultado de la relación se encuentra deben encontrarse en el rango de -1 a 1, donde los extremos numéricos representan mayor correlación; y el 0 (valor central) representa una relación nula o independiente, el signo del coeficiente indica una relación directa (positivo) o inversa (negativo) (Evans & Rosenthal, 2004)

En la siguiente tabla se observa la interpretación de los distintos niveles de correlación entre dos variables, estas descripciones son compartidas para la correlación estadística de Pearson y Spearman.

Tabla 5.
Interpretación de los valores de la correlación

Positivo	Negativo	Significado
Rango de Correlación	Rango de Correlación	
$r = 1$	$r = -1$	Correlación perfecto
$0.8 < r < 1$	$-0.8 > r > -1$	Correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	$-0.6 > r > -0.8$	Correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	$-0.4 > r > -0.6$	Correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	$-0.2 > r > -0.4$	Correlación baja
$0 < r < 0.2$	$0 > r > -0.2$	Correlación muy baja
$r = 0$		correlación nula

Fuente: (Gonzales J. , 2009)

2.4. Procedimientos

2.4.1. Localización del área de estudio

El ámbito de estudio está conformado por limite territorial de la cuenca hidrográfica del Rímac, el límite fue adquirido de manera digital del Geoportal de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el formato digital del límite se encontró en shapefile (vector) (ANA, 2018). Las características primordiales de la cuenca hidrográfica son las ubicación, datos geométricos como área y perímetro, altitud media, cuencas colindantes y el rio principal que lo determina (Cuya, 2016), todo ello se puede evidenciar en el siguiente mapa.

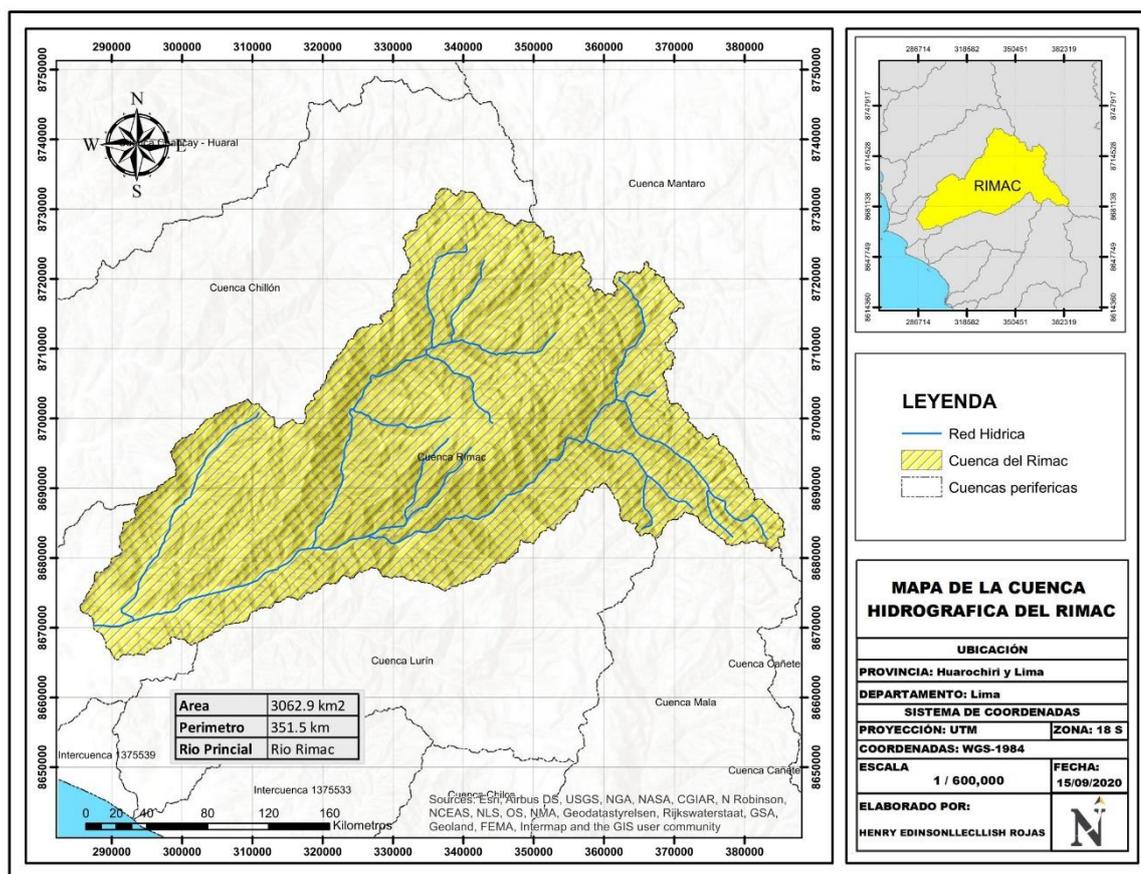


Figura 5. Mapa de la cuenca Hidrográfica del Rímac, según ANA (2018) y MINAGRI (2012)

2.4.2. Recolección de los datos

Para el presente estudio se optó el rango de años, 1984 hasta el 2016; debido a que, los datos de precipitación del territorio peruano solo se encuentran con tratamiento y disponibles al público en general a partir del año 1981 hasta el 2016, en formato NetCDF (Aybar *et al.*, 2017). Por otra parte, las imágenes Landsat se encuentran con mayor disponibilidad de datos a partir del año 1984 (USGS, 2019)

A. Datos de precipitación

Los datos de precipitación fueron obtenidos del producto PISCO (Peruvian Interpolate data of the Senamhis Climatological and Hydrological Observations) que fue elaborado por el SENAMHI, estos datos presentan información desde el año de

1981 hasta el año 2016, además, ya cuentan con el proceso de calidad informática (SENAMHI, 2013). El formato en que se descargan estos datos son NetCDF(Raster) y a escala mensual (Aybar *et al.*, 2017).

B. Obtención de las imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron adquiridas de la plataforma internacional Earth Explorer que pertenece a la organización USGS “Servicio Geológico de los Estados Unidos” (Maldonado, Alatorre, & Torres, 2015), la investigación utilizó las imágenes Landsat 5, 7 y 8, debido al periodo de análisis es de 1984 hasta 2016 (ver tabla 5). Además, se utilizó las codificaciones PATH – ROW (ver tabla 6), esto posibilitó identificar imágenes correspondiente para el área de estudio, para la selección de imágenes, se consideró los siguientes criterios: baja nubosidad y iluminación alta (Chuvienco , 1998) el formato de las imágenes satelitales son los Geotif (ráster) con una mediana resolución (30 x 30m por pixel)

Tabla 6.
Imágenes Landsat requeridos, según el periodo de estudio

Landsat	Finalidad
5	Satisfacer al periodo 1984 - 2001
7	Satisfacer al periodo 2002 - 2012
8	Satisfacer al periodo 2013 - 2016

Fuente: Propia

Tabla 7.
Codificación PATH y ROW para la obtención de imágenes satelitales, perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Rímac

Cuadrángulo	PATH	ROW
1°	007	067
2°	008	068

Fuente: Propia

2.4.3. Zonificación de la cuenca del Rímac

La cuenca del Rímac fue zonificada con la finalidad de realizar análisis, a escalas menores. Para dicha zonificación se utilizó el método Pfafstetter y el software Arcgis (Jumbo, 2015); el software Gis, determino de manera automática la zonificación mediante la extensión ModelBuilder considerando el método mencionado (ver figura 6). Según (Loro, 2012), la expresión de valor óptimo para la zonificación de cuencas que se encuentren entre la escala 1/500 000 y 1/900 000, es un “*value > 3000*”; en base a ello, el área de estudio presentó 9 zonas (ver figura 7). Por otra parte, se utilizaron como entrada principal el ráster DEM (modelo de elevación digital) que fue obtenido del Geoportal del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).

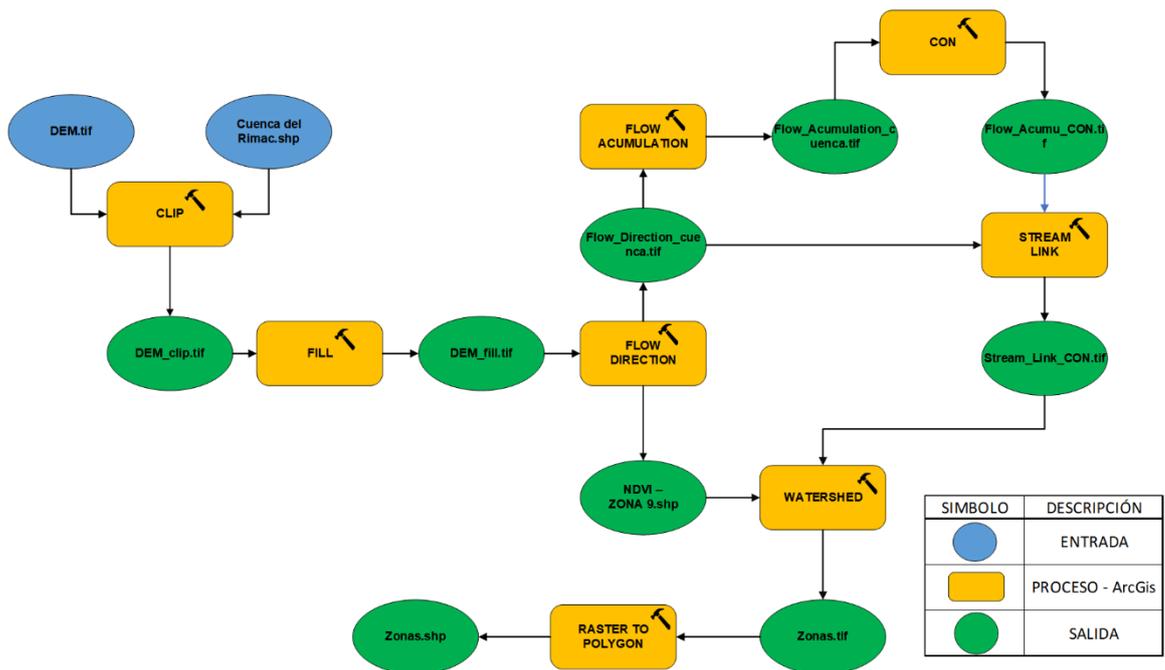


Figura 6. Modelo para la zonificación de la cuenca del Rímac, mediante ModelBuilder

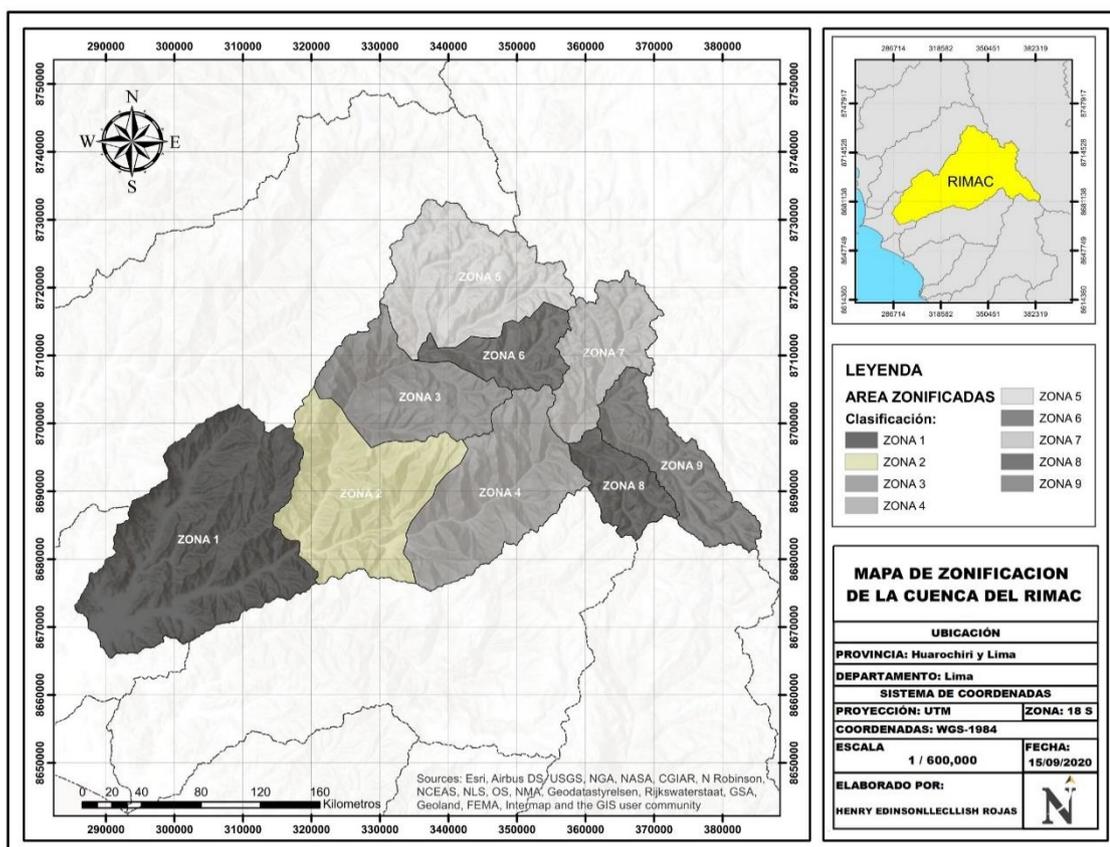


Figura 7. Zonificación de la cuenca hidrográfica del Rímac

2.4.4. Tratamiento Digital de las Imágenes Landsat

Las imágenes satelitales 5, 7 y 8, presentaron perturbaciones en los valores digitales, adquiridos por la nubosidad u otros factores, también, se evidencio que las imágenes Landsat 7 mostraron líneas de valores digitales incompletos. Por tales motivos, se aplicaron los siguientes tratamientos.

A. Corrección Atmosférica

Para eliminar o disminuir las perturbaciones o errores digitales, adquiridos por los componentes ambientales se aplicó el método de corrección atmosférica “DOS” mediante el software QGIS 3.14, el cual presenta la herramienta plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), esta extensión permitió corregir las bandas de Landsat 5, 7 y 8 de manera automática, y cumpliendo el método mencionado (Quispe, 2019)

B. Tratamiento Geométrico

Este tratamiento fue aplicado a todas las bandas de las imágenes Landsat utilizados en esta investigación, puesto que se encuentran en sistemas de coordenadas WGS-84 zona norte, para corregir la geometría de las imágenes se aplicó la técnica de corrección geométrica con ayuda del software ArcGis (ESRI, 2016); ya que, este programa brinda la herramienta de proyección de sistemas geográficos (*Project Ráster*), el cual permitió obtener las imágenes en WGS-84 zona 18 sur.

C. Tratamiento Radiométrica

El tratamiento radiométrico solo fue aplicado a las imágenes Landsat 7, puesto que presentaban perdidas de pixeles o también llamado error de bandamiento, por tal motivo, se aplicó el proceso de restauración de líneas o pixeles, a través del método correlación espacial – criterio de vecindad (Rodriguez, 2019), en consideración a ello, se utilizó la herramienta “*Fill No Data*” del software QGIS 3.14, el cual realizó la restauración de líneas de manera automática (Agresta, 2015).

2.4.5. Determinación de la cubierta vegetal

A. Proceso para la obtención del NDVI

Para la obtención del índice NDVI a partir de las imágenes landsat, se utilizó el método manifestado por Chuvieco (2008), la determinación del índice mediante un cálculo aritmética entre las bandas infrarrojo cercano (NIR) y banda roja (R); todo ello se desarrolló en el software ArcGis 10.5 (Hou, Gao, Wu, & Dai, 2015). La extensión *Map Algebra* de ArcGis permitió realizar operaciones algebraicas para obtener el NDVI del área en estudio (ver ecuación 5 y 6)

Ecuación 5. Operación algebraica para las bandas del Landsat 5 y 7

$$NDVI_{5-7} = \frac{\text{Float (banda 4 - banda 3)}}{\text{Float (banda 4 + banda 3)}}$$

Ecuación 6. Operación algebraica para las bandas del Landsat 8

$$NDVI_8 = \frac{\text{Float (banda 5 - banda 4)}}{\text{Float (banda 5 + banda 4)}}$$

B. Clasificación de los valores del NDVI

El NDVI calculado fue categorizado mediante la técnica de clasificación no supervisada, para ello se utilizó el rango de valores recomendado por Olivo (2017), puesto que también considero como unidad de análisis una cuenca hidrográfica. La herramienta que facilito la elaboración de dicho proceso, fue el software ArcGis 10.5 mediante su extensión *Reclassify* (ESRI, 2016)

Tabla 8.
Clasificación de los valores del NDVI

Rango de NDVI	Tipología	Unidad
< 0.2	Cuerpos de Agua y Suelo Desnudo	Sin Cobertura Vegetal
0.2 - 0.35	Vegetación Escasa-leve	
0.35 - 0.45	Vegetación Dispersa	Cobertura Vegetal
> 0.45	Vegetación Densa	

Fuente: (Olivo, 2017)

C. Obtención del NDVI en Áreas

Para determinar la geometría de la clasificación del NDVI obtenido, se transformó el formato ráster al formato vectorial, una vez realizado la conversión se procedió a determinar las áreas en km² (Gonzalez, 2015), todo ello fue mediante la extensión *Raster To Polygon* del Arcgis. Estos datos fueron exportados a Excel, en una matriz de síntesis, para su posterior análisis.

Para la obtención de manera automática del NDVI expresadas en áreas, se aplicó la herramienta ModelBuilder (ESRI, 2016). En las siguientes figuras se muestran los modelos automatizados.

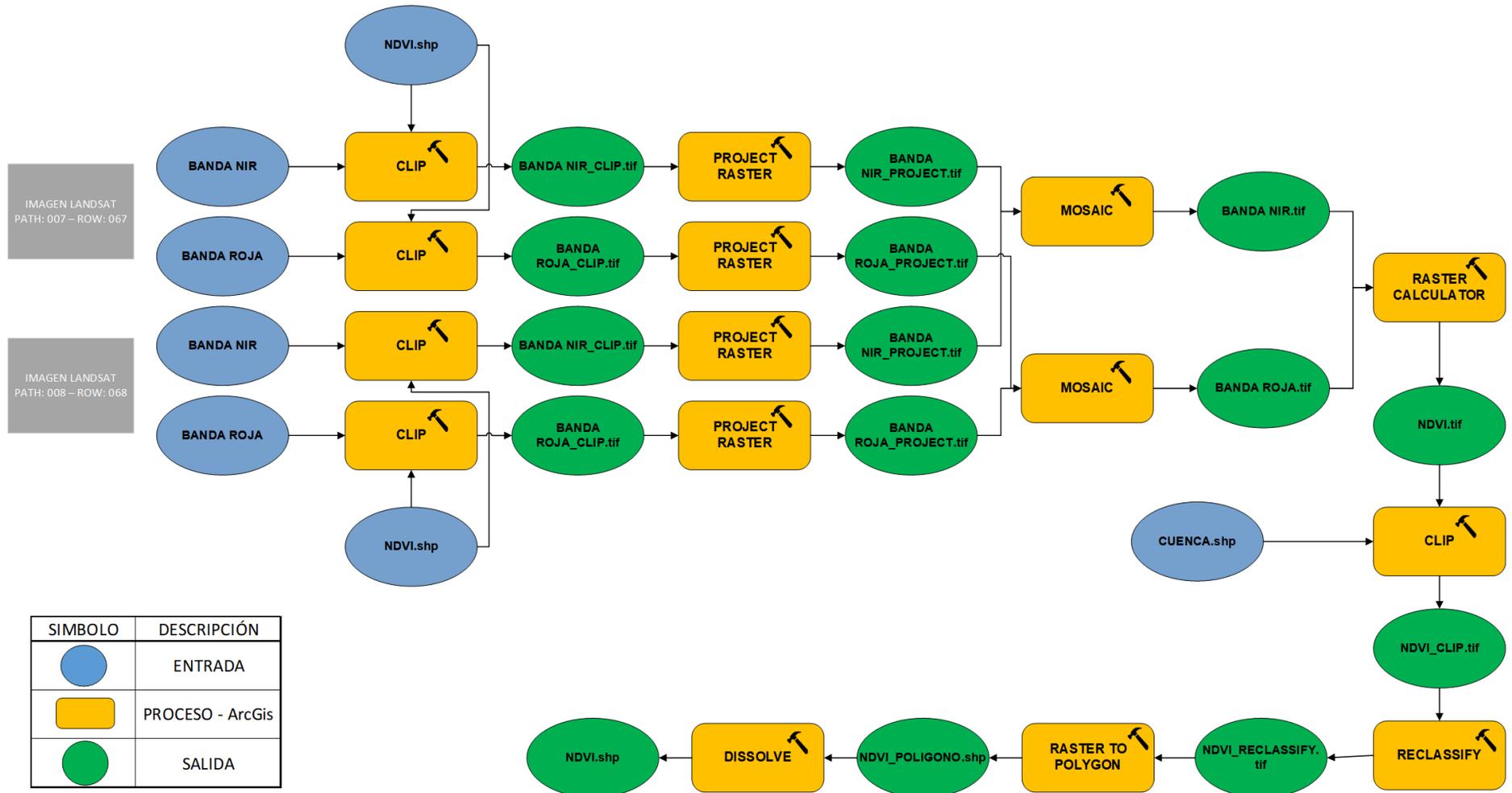


Figura 8. Modelo para la obtención del NDVI expresado en áreas

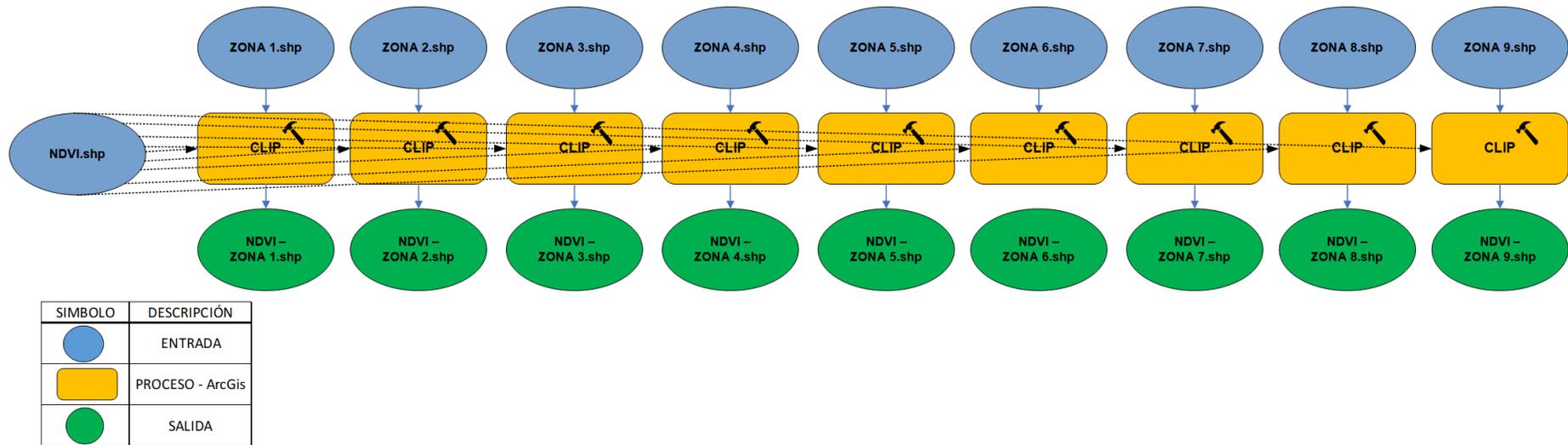


Figura 9. Modelo para la obtención del NDVI expresado en áreas, según las 9 zonas de estudio.

2.4.6. Determinación de la precipitación

A. Determinación de los puntos para la extracción de datos

La selección de los puntos digitales para extracción de datos de precipitación fue en consideración a la dimensión de la grilla del producto PISCO brindado por el SENAMHI, la magnitud de cada grilla es de 5km x 5km (Aybar *et al.*, 2017), por tanto, se colocó puntos en el centro de cada cuadrícula. Este proceso se desarrolló en el software en el Arcgis 10.5, mediante la herramienta *Create Fishnet*, el cual permitió crear la malla de puntos ; además se generó un buffer de 6 km al área en estudio, con la finalidad de colocar más puntos por la periferia del ámbito en estudio (Carmona, 2019), del proceso se obtuvo 202 puntos.

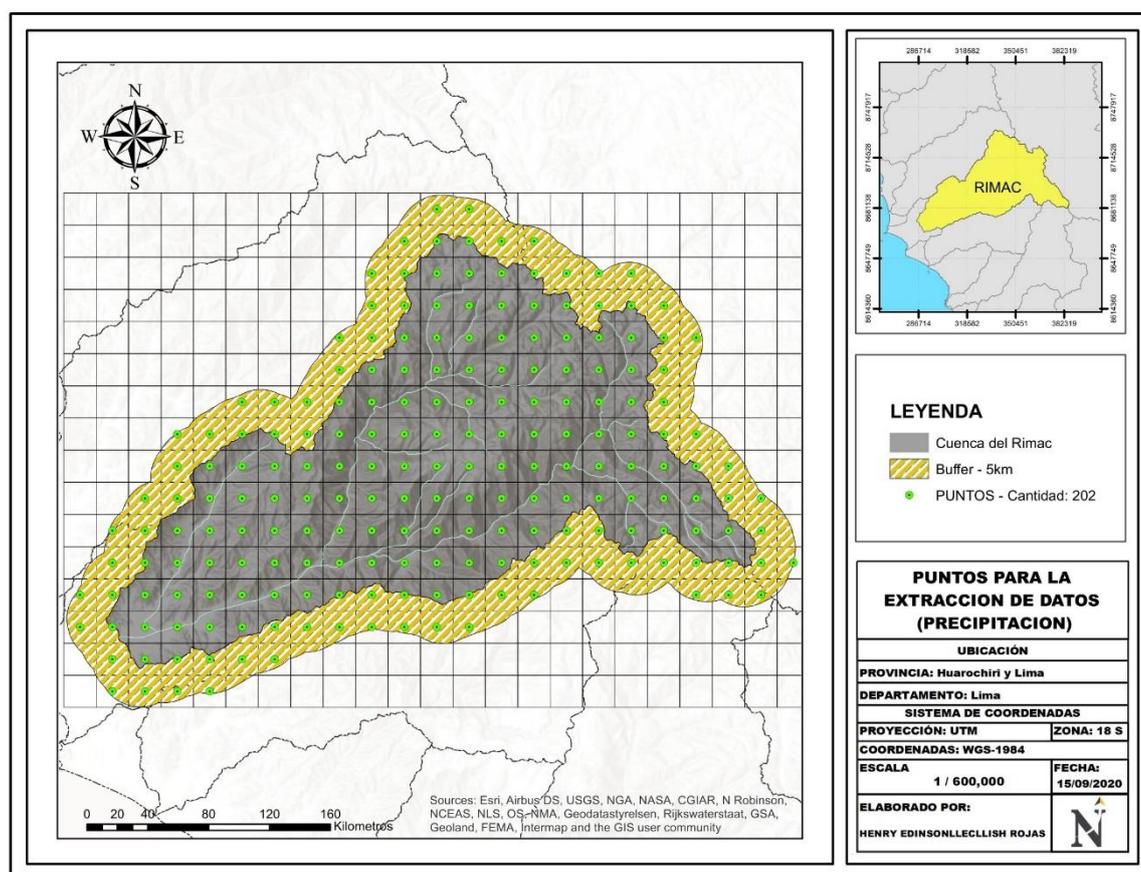


Figura 10. Puntos determinados para la extraer datos de precipitación del producto PISCO

B. Extracción de los datos de precipitación

Para extraer los datos de precipitación mensual del ráster grillado PISCO, se utilizó el software R y el lenguaje de programación RStudio (SENAMHI, 2019), para efectuar el proceso en el software fue necesario tener como entrada: los puntos para la extracción de datos (en coordenadas geográficas), codificación (ver anexo 4) y el ráster de precipitación mensual; estos dos últimos requerimientos fueron obtenidos de la página oficial del SENAMHI (Aybar *et al.*, 2017). Se obtuvo como salida la precipitación mensual desde el año 1984 hasta el año 2016 para todos los puntos.

C. Determinación de la Precipitación Media

Para determinar la precipitación media anual de una superficie, se utilizó el método de las Isoyetas (Pizarro, Ramirez, & Flores, 2003), ya que es la más precisa para promediar precipitaciones sobre un área (Legarda & Viveros, 1996). El método en mención fue desarrollado en el software ArcGis 10.5, gracias a las distintas herramientas de procesamiento; además, se utilizó la guía técnica “Elaboración de mapas de Isoyetas para ámbitos políticos, administrativos y unidades hidrográficas”, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2013), esta guía permitió validar de manera confiable el proceso. Teniendo en consideración todo lo mencionado, se elaboró un modelo para calcular la precipitación media del área total y las áreas zonificadas, teniendo en cuenta el periodo de análisis (1984-2016) (ver figura 11).

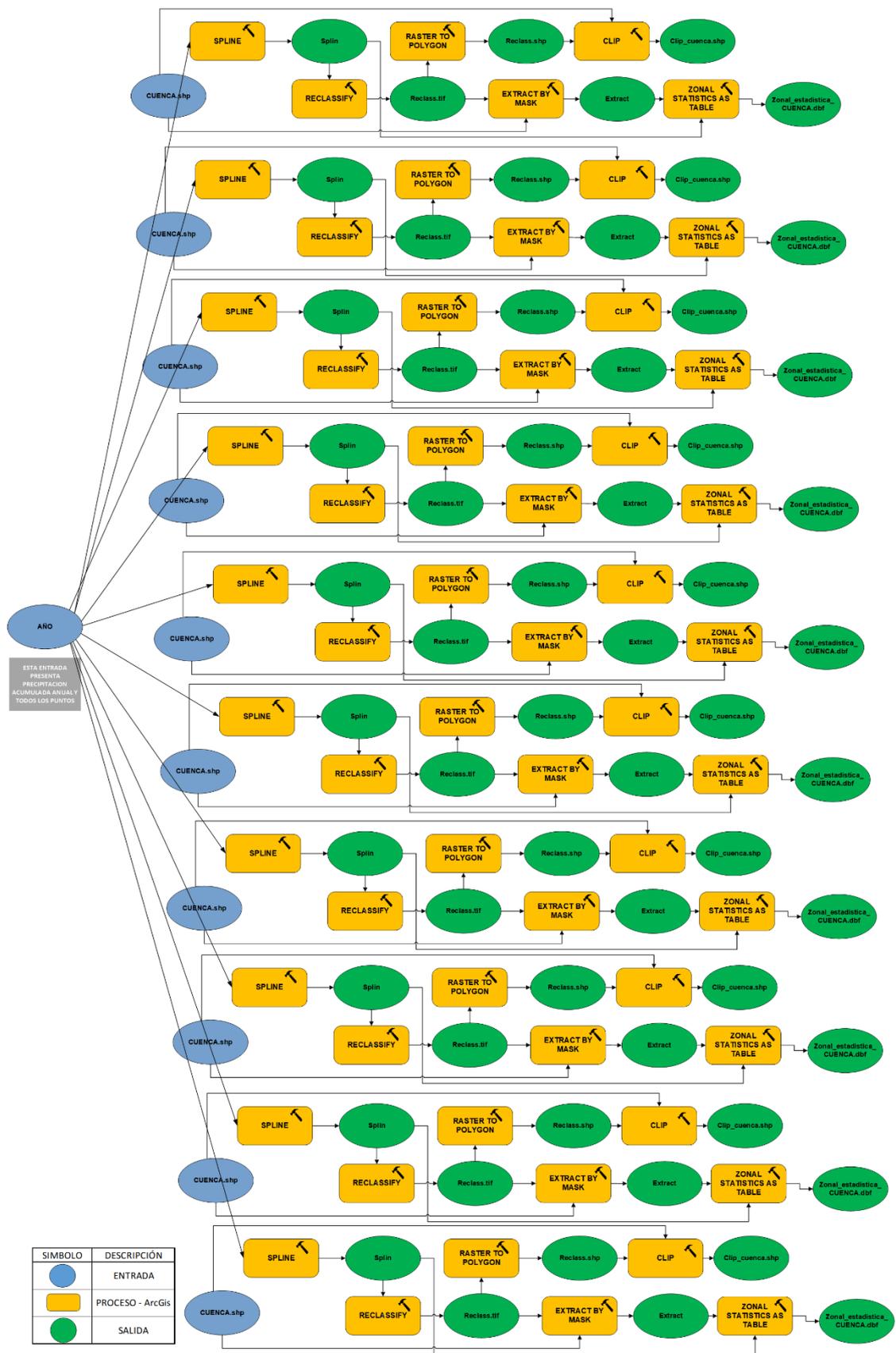


Figura 11. Modelo para determinar la precipitación media, mediante el método de Isoyetas

2.4.7. Determinación del comportamiento temporal de la cobertura vegetal

Para determinar el comportamiento temporal de la cobertura vegetal anual, se aplicó el método de análisis multitemporal (Trujillo, 2019), el cual permitió identificar los cambios superficiales de la cobertura vegetal durante el periodo de análisis 1984-2016, para ello se utilizó como escala de medición la tendencia temporal, el cual está conformado por una ecuación lineal (Nina, 2015)

Ecuación 7. Ecuación Lineal

$$Y = A * X + B$$

Donde:

Y= La variable cobertura vegetal (km²)

X= Pendiente, indica si hubo descenso o ascenso de la cobertura vegetal

A=Coeficiente numérico

B= Terminó independiente, hace referencia a la magnitud de la cobertura vegetal en el primer año de estudio

La magnitud del incremento o descenso de cobertura vegetal en el periodo de estudio, fue determinado por la siguiente ecuación.

Ecuación 8. Ecuación de incremento o descenso

$$\Delta Y = A * (\Delta T)$$

Donde:

ΔY = Cambio de cobertura vegetal (km²)

A = Coeficiente proveniente de la ecuación de lineal

ΔT = Variación temporal

Para el complemento de este análisis se utilizó la herramienta cartográfica (Gerardo, Priego-Santander, Mendoza, & Burgos, 2009), para poder visualizar y analizar los cambios temporales de cobertura vegetal en la cuenca del Rímac. El resultado de este

proceso genera un mosaico temporal cartográfico (1984-2016), que se desarrolló en el software ArGIS.

2.4.8. Correlación entre las variables precipitación y cobertura vegetal:

Para validar la confiabilidad de los datos multitemporales de cobertura vegetal (km²) y la precipitación acumulada anual expresados en mm, se aplicó la prueba de normalidad de manera independiente. Luego se determinó el grado de relación que existe entre las variables en estudio, este análisis estadístico se ejecutó en el software SPSS versión 25.0.

A. Prueba de Normalidad

Los datos de las variables en estudio fueron procesadas en la prueba de normalidad, utilizando el método de Shapiro-Wilks, este proceso se realizó en el software SPSS 25.0 (Droppelmann, 2018)

B. Prueba Correlacional

El grado de relación entre las variables precipitación y cobertura vegetal, fue determinado por los métodos de estadística correlacional de Pearson y Spearman, (Rivas-Tovar, 2016). Estos métodos fueron desarrollados en el programa SPSS (Gonzales J. , 2009). Los resultados importantes de este proceso fueron el coeficiente de relación y la significancia bilateral (p-valor).

Dentro de este análisis se determinó la hipótesis correlacional, mediante del valor de la significancia bilateral, ya que este valor es criterio para decidir si se rechaza o se acepta la hipótesis, esta operación se trabajó a un nivel de confianza del 95% (Navarro, 2018).

Tabla 9.
Alternativas de la hipótesis correlacional

Hipótesis Correlacional		Interpretación
Hipótesis nula	H0= no existe relación	$p > 0.05$, rechazamos la H1 y aceptamos H0
Hipótesis alterna	H1= sí existe relación	$p < 0.05$, rechazamos la H0 y aceptamos H1

P=p valor=significación muestral; α =nivel de significación=5% o 0.05

Fuente: (Navarro, 2018)

2.5. Aspectos Éticos

Las informaciones que se utilizaron son de instituciones representativas, por ello se respeta los derechos de autor, como es el caso de la institución internacional Science for a Changing World (USGS - Earth Explorer), el cual brinda las imágenes satelitales de manera libre; y la institución del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) el cual brinda el ráster grillado de precipitación anual y mensual, este último ya cumple con el control de calidad de datos realizados y verificados por la misma institución. Esta ética se mantuvo, para el uso de artículos científicos y tesis que complementaron al desarrollo de la investigación.

Tabla 10.
Matriz de Consistencia

TITULO: “ EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA VEGETACIÓN EN LA CUENCA DEL RIMAC MEDIANTE EL NDVI Y SU RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO (1984-2016)”					
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cómo ha evolucionado en el tiempo la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac y su relación con la precipitación en el periodo 1984-2016?	Existe una relación significativa entre la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac y la precipitación atmosférica, en el periodo 1984-2016	<p>Objetivos:</p> <p>Analizar la evolución temporal de la cobertura vegetativa en la cuenca del Rímac mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo 1984 - 2016</p> <hr/> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Analizar la evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac en el periodo 1984-2016 Analizar la dinámica temporal de la precipitación acumulada anual de la cuenca Rímac en el periodo 1984-2016 Determinar la relación a nivel global entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca Rímac en el periodo 1984-2016. Determinar la relación a nivel de zonas entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac por zonas en el periodo 1984-2016. 	<p>Variable 1: Precipitación Climática</p> <hr/> <p>Variable 2: Cobertura vegetal</p>	<p>Tipo de investigación: Descriptivo – Correlacional – No experimental</p> <p>Técnica: Percepción Remota y la Observación</p> <p>Instrumento: Matriz de Selección de imágenes y matriz para adquisición de datos.</p> <p>Método de análisis de datos: • Uso del programa SPSS versión 25 para el análisis de correlación entre las dos variables. • Uso del software ArcGIS 10.5 para el procesamiento y determinación de la cobertura vegetal.</p>	Cuenca Hidrográfica del Rímac

Tabla 11.

Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE: Cobertura Vegetal	Las coberturas vegetales son aquellas que consideran el desarrollo de las plantas o cultivos, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos (MINAGRI, 2014)	La variable cobertura vegetal será medida a partir del Índice de vegetación normalizada (NDVI), además se utilizará como instrumentos de recolección de datos, el Software ArcGis y el programa Excel	Desarrollo Vegetativo superficial	Variación multitemporal	Km ²
				Variación	Km ²
VARIABLE INDEPENDIENTE: Precipitación Atmosférica	Se define a las gotas de agua que se condensan de la atmosfera (Landa, Magaña, & Neri, 2008). También es denominado como la cantidad de vapor de agua acumulado en una columna vertical (IPCC, 2018)	La variable precipitación será mediada a través de una suma acumulativa anual, además se utilizará como instrumentos de recolección de datos, el software R y RStudio y el programa Excel.	Cantidad	Acumulativa	mm / año

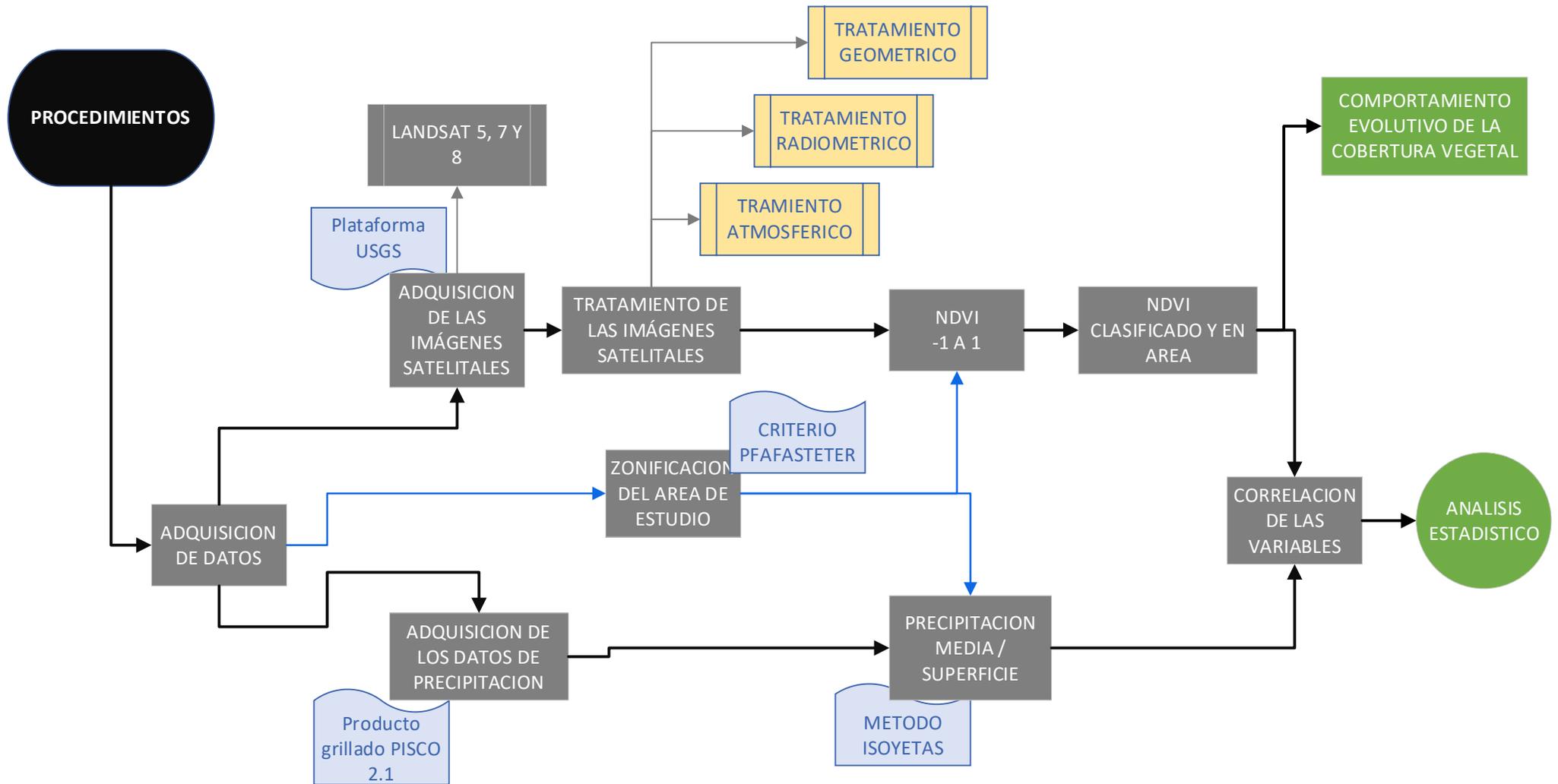


Figura 12. Flujograma de las etapas de procedimiento de la investigación

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En este capítulo se da a conocer los cambios superficiales de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac, que se determinó mediante el índice NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) y el proceso de digitalización, dicho cambio superficial se proyectó mediante graficas lineales, y para el reconocimiento de los cambios espaciales se utilizó la cartografía. Además, se mostró mediante gráfico lineal la variabilidad de la precipitación. Finalmente, se da a conocer el grado de relación de la precipitación y los cambios superficiales de la cobertura vegetal, todo ello mediante un análisis estadístico conocido como la prueba correlacional de Pearson.

3.1. Análisis multitemporal de la variabilidad de la precipitación

En la figura 13, se proyecta la variabilidad temporal de la precipitación media anual de la cuenca del Rímac, de ello se observa una variación multivariada con una tendencia ascendente, esto indica un incremento de la precipitación con un tasa media de $0.92\text{mm}/\text{km}^2\text{x}\text{año}$. Asimismo se evidencia picos fueran del rango normal de precipitación, en los años 1989, 1998 y 1999 se observa magnitudes de precipitación que superan los 395 mm (valor máximo normal) y en los años 1990, 1991 y 1992 valores de precipitación por debajo de los 325mm (valor mínimo normal).

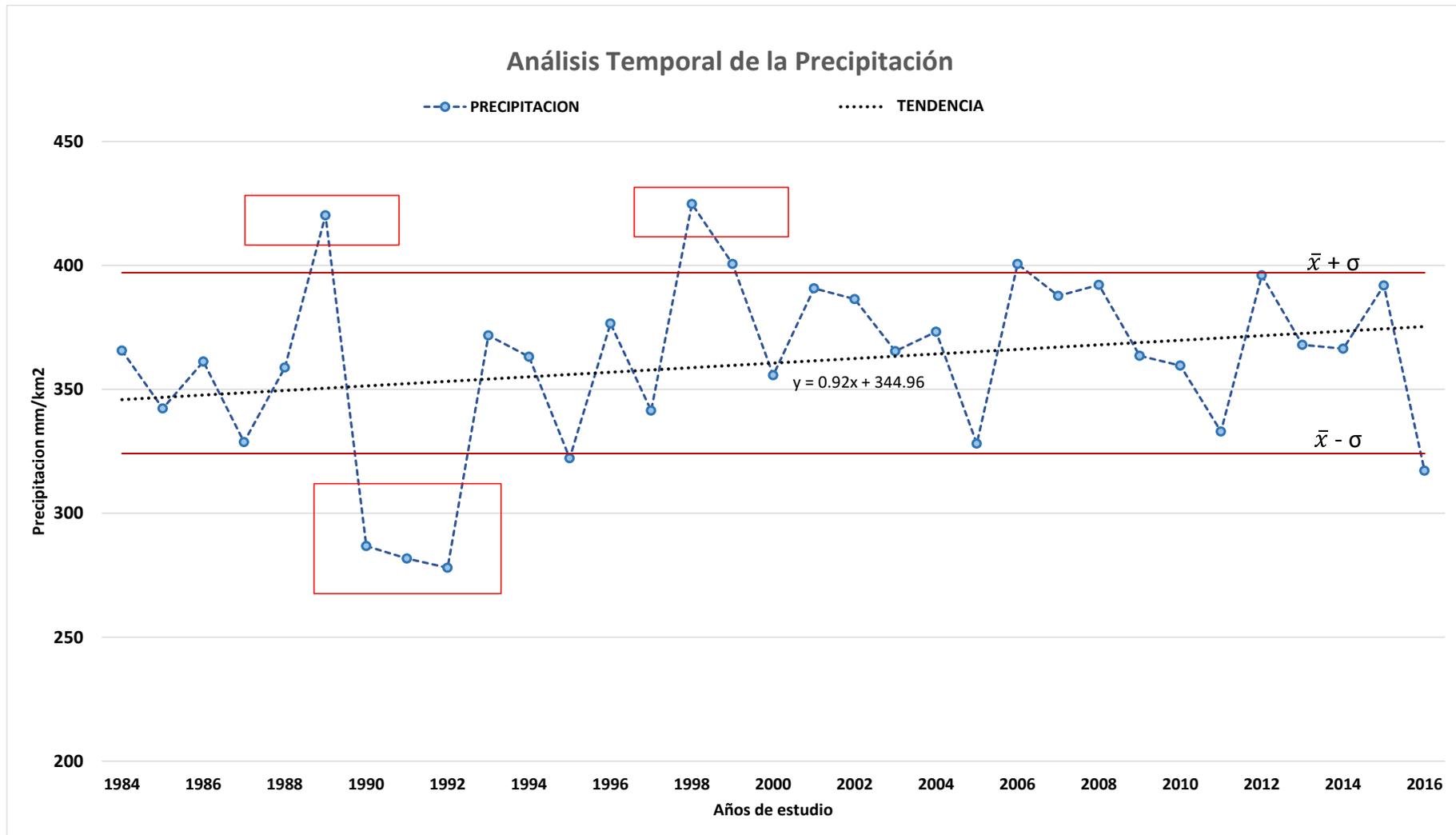


Figura 13. Evolución temporal de la variabilidad de la precipitación

3.2. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac

En esta fase se evidencia el comportamiento multitemporal de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac a nivel general y a nivel de zonas. Estos comportamientos temporales y espaciales, están proyectados en gráficos lineales y mapas cartográficos temporales.

En la figura 14, se proyecta el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac, se evidencia en ello una dinámica con ciclos irregulares con una tendencia lineal leve positiva, esto indica un incremento promedio de 0.82 km² de cobertura por año (incremento acumulado de 24 km² durante todo el periodo de análisis).

En la figura 15, se evidencia el comportamiento temporal de la cobertura vegetal en conjunto a la dinámica de la precipitación acumulada anual, de ello se observa comportamientos homogéneos, quiere decir dinámicas paralelas entre ambas variables. Sin embargo, existen años donde se evidencia incrementos de la cobertura vegetal a pesar de mostrar un descenso de la precipitación, como por ejemplo los años: **1991** un incremento de 10.9 % en la cobertura vegetal en relación al año precedente y un ligero descenso de 1.76% en la precipitación; **2002** un incremento de 3.9% en la cobertura vegetal en relación al año precedente y un ligero descenso de 1.1% en la precipitación y **2003** un incremento de 7.4 % en la cobertura vegetal en relación al año precedente y un descenso de 5.4% en la precipitación.

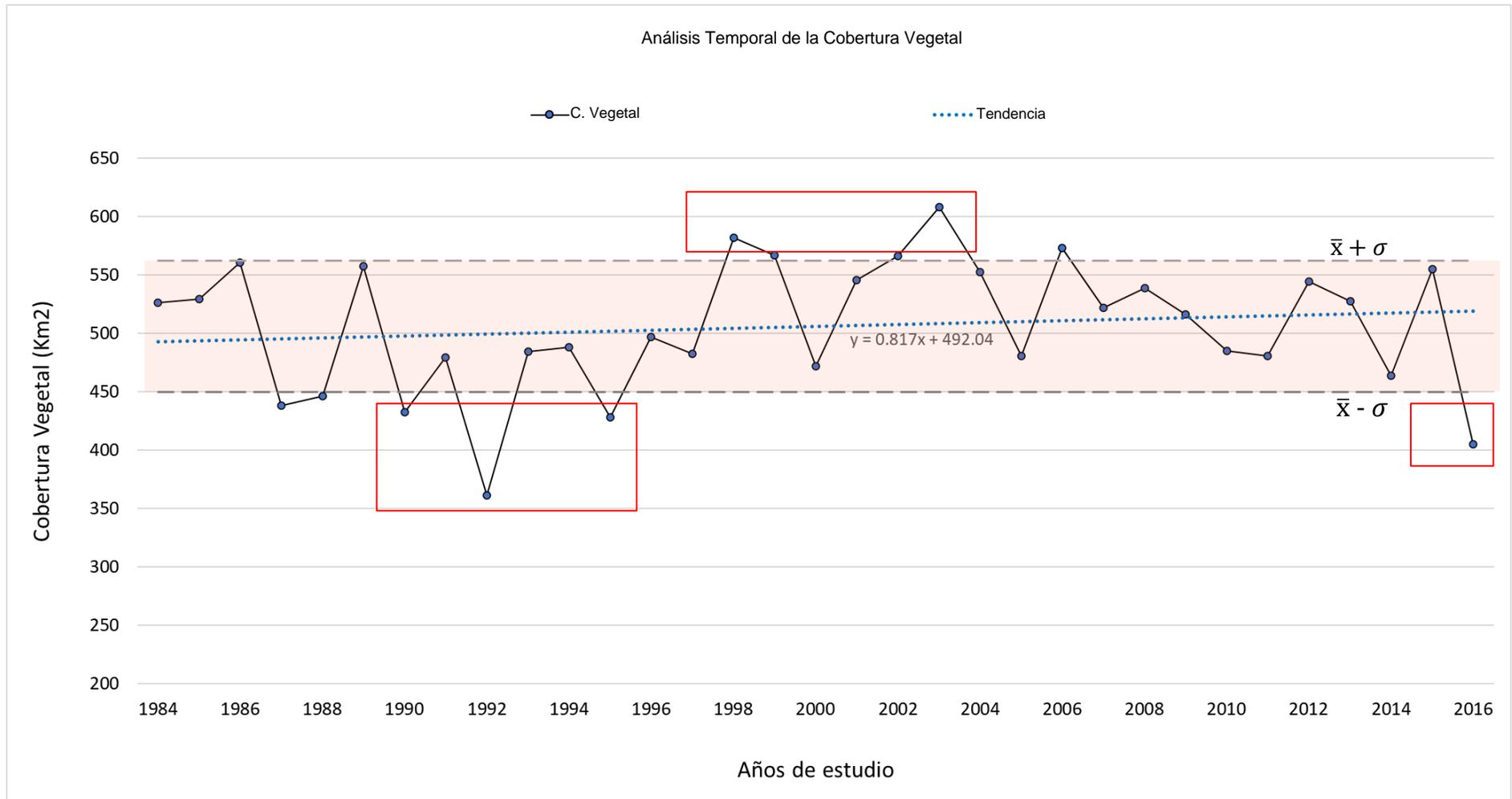


Figura 14. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac

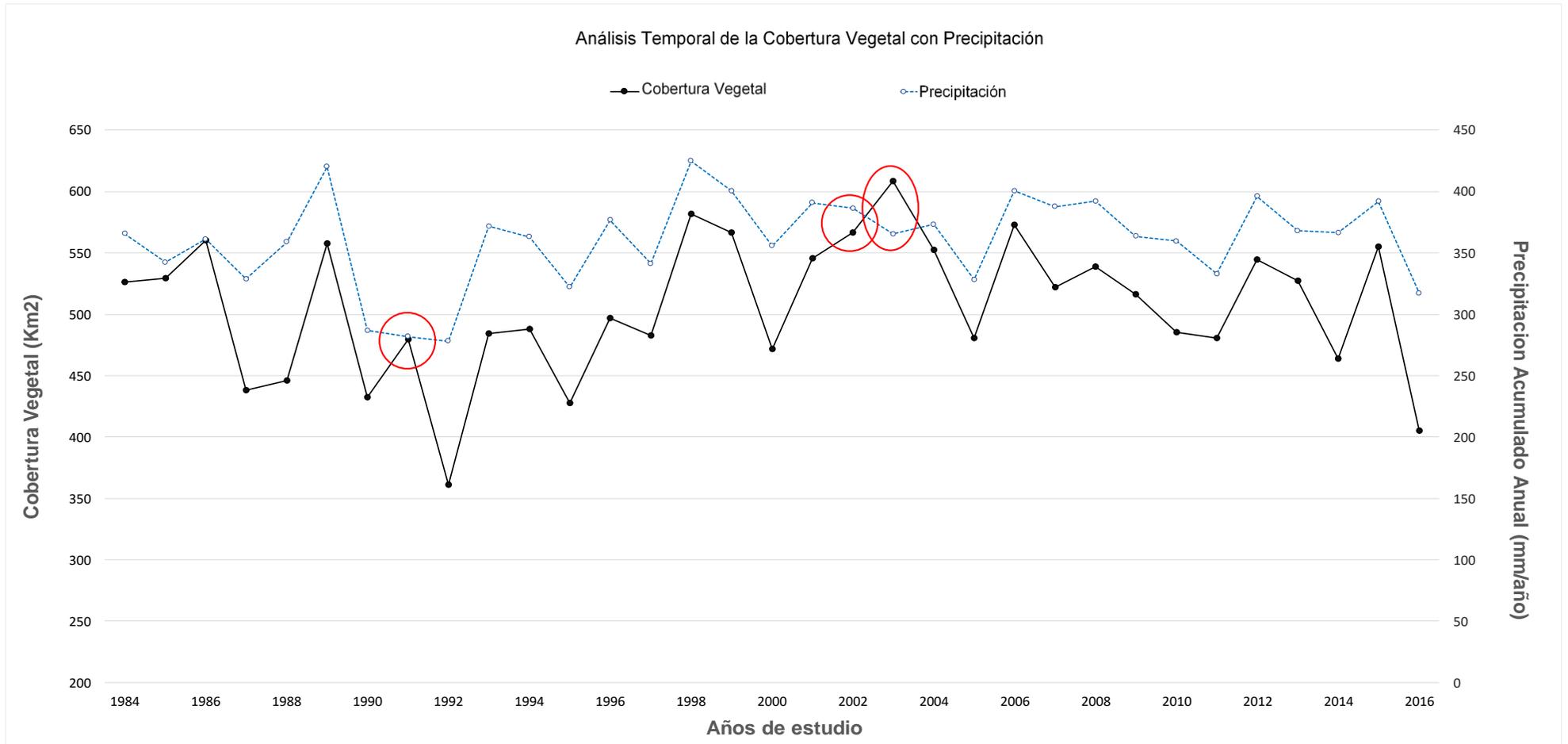


Figura 15. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac, con la distribución de la precipitación Acumulada

En las siguiente líneas se refleja el análisis multitemporal de la cobertura vegetal a nivel de zonas (9 unidades) y de la precipitación anual.

En la figura 16, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 1, esta zona se ubica en la parte baja de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal positiva ligera, esto indica un incremento promedio de $0.15 \text{ km}^2 / \text{año}$ (incremento acumulado de 4.7 km^2 durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 1 también muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de $0.2 \text{ mm/km}^2 \times \text{año}$ (incremento acumulado de 6.5 mm/km^2 durante el periodo de análisis).

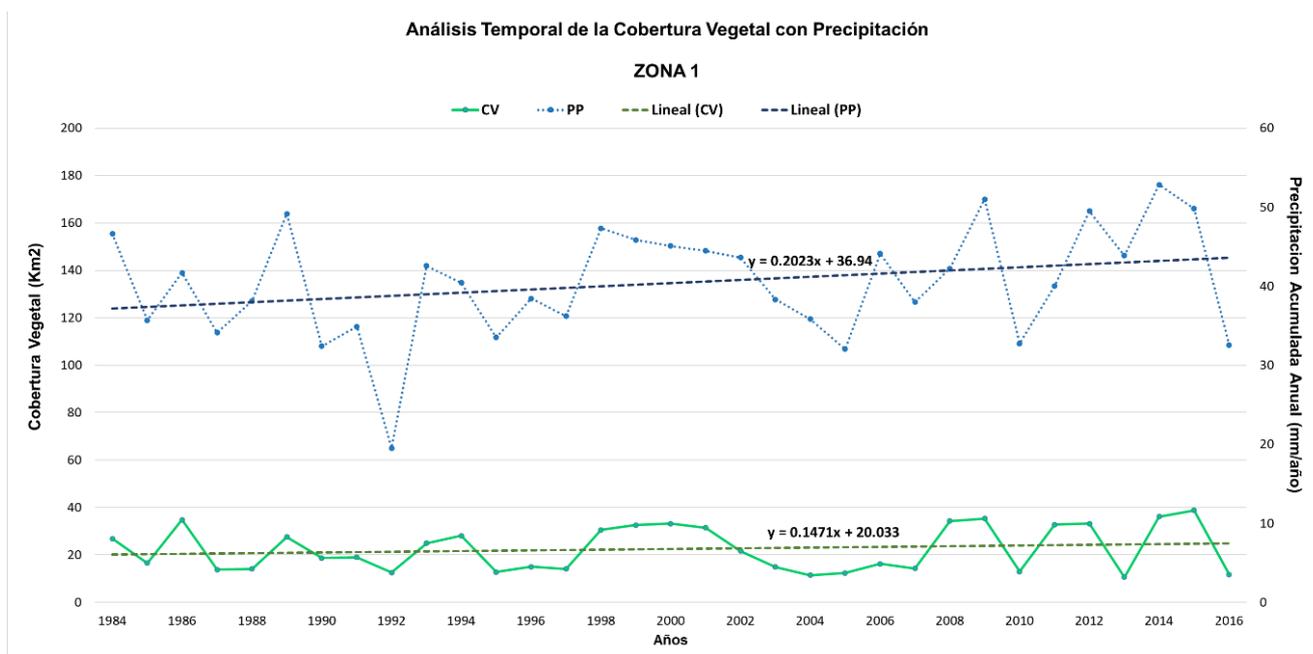


Figura 16. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 1, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 17, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 2, esta zona se ubica en la parte baja de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal positiva, esto indica un incremento promedio de $0.44\text{km}^2/\text{año}$ (incremento acumulado de 13.9 km^2 durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 2 también muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de $1.05\text{ mm}/\text{km}^2 \times \text{año}$ (incremento acumulado de $33.4\text{ mm}/\text{km}^2$ durante el periodo de análisis).

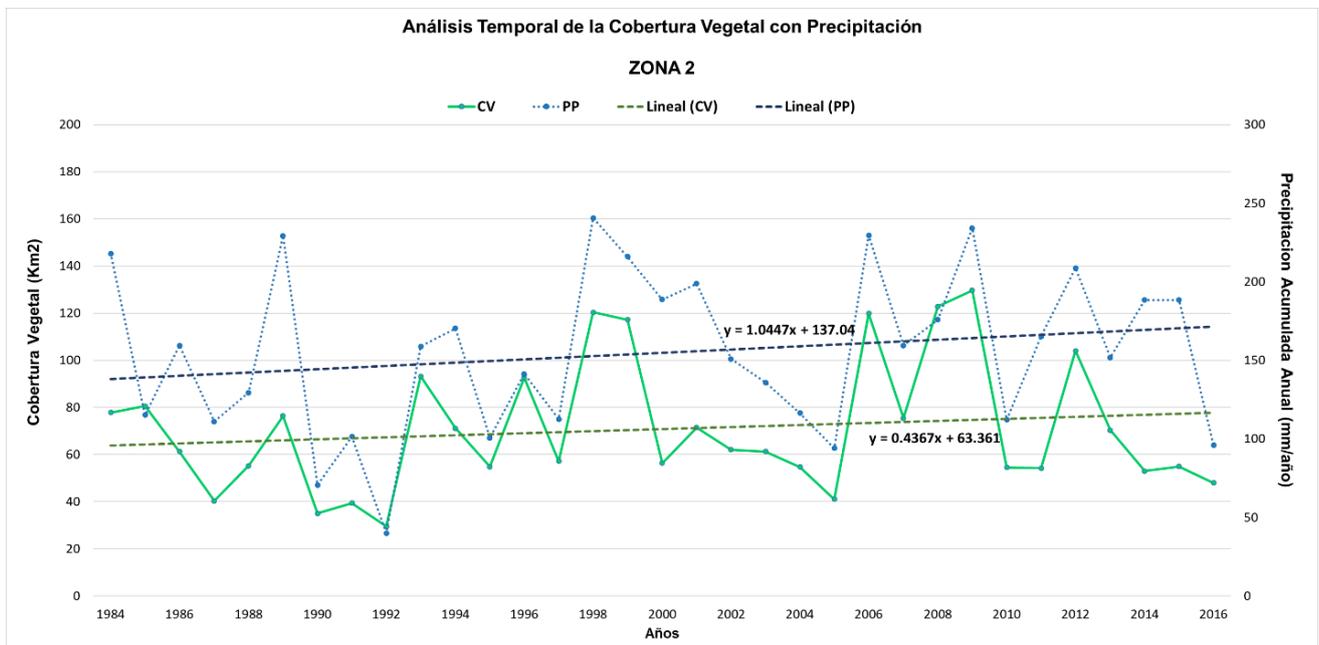


Figura 17. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 2, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 18, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 3, esta zona se ubica en la parte intermedia de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal ligera negativa, esto indica un descenso promedio de 0.11 km²/año (descenso acumulado de 3.5 km² durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 3 muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de 3.79 mm/km² x año (incremento acumulado de 121.6 mm/km² durante el periodo de análisis).

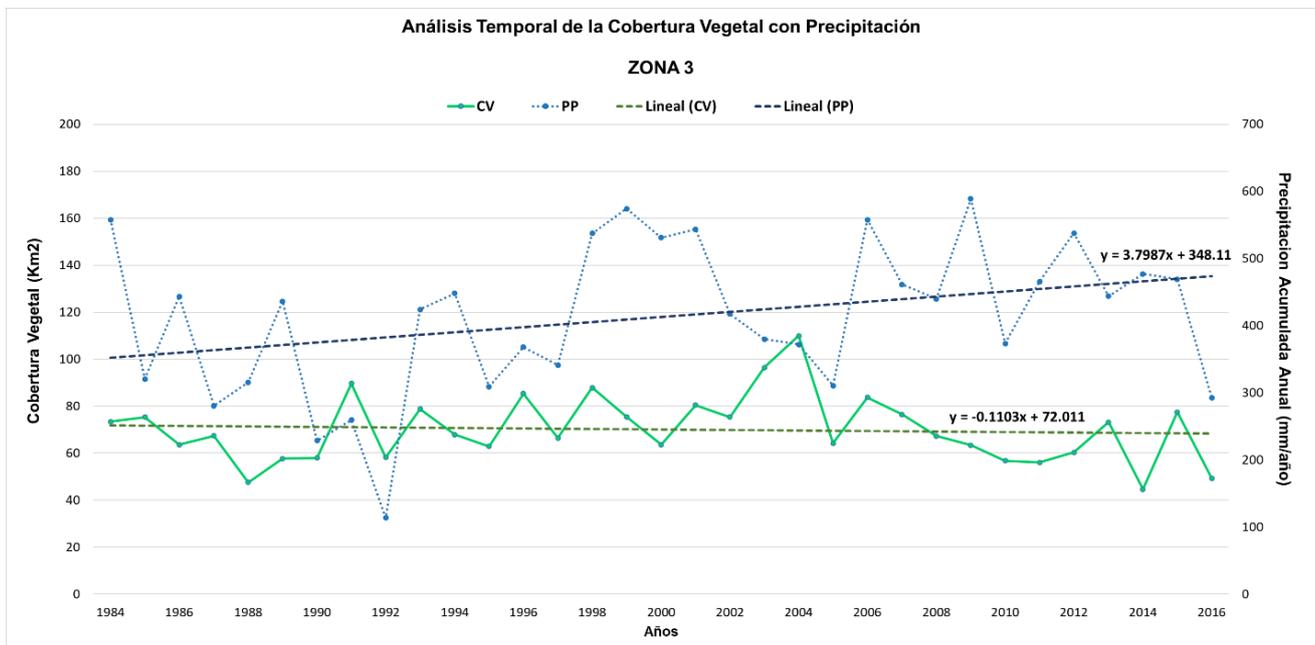


Figura 18. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 3, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 19, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 4, esta zona se ubica en la parte intermedia de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal positiva, esto indica un incremento promedio de $2.17 \text{ km}^2/\text{año}$ (incremento acumulado de 69.6 km^2 durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 4 muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de $1.04 \text{ mm}/\text{km}^2 \times \text{año}$ (incremento acumulado de $33.2 \text{ mm}/\text{km}^2$ durante el periodo de análisis).

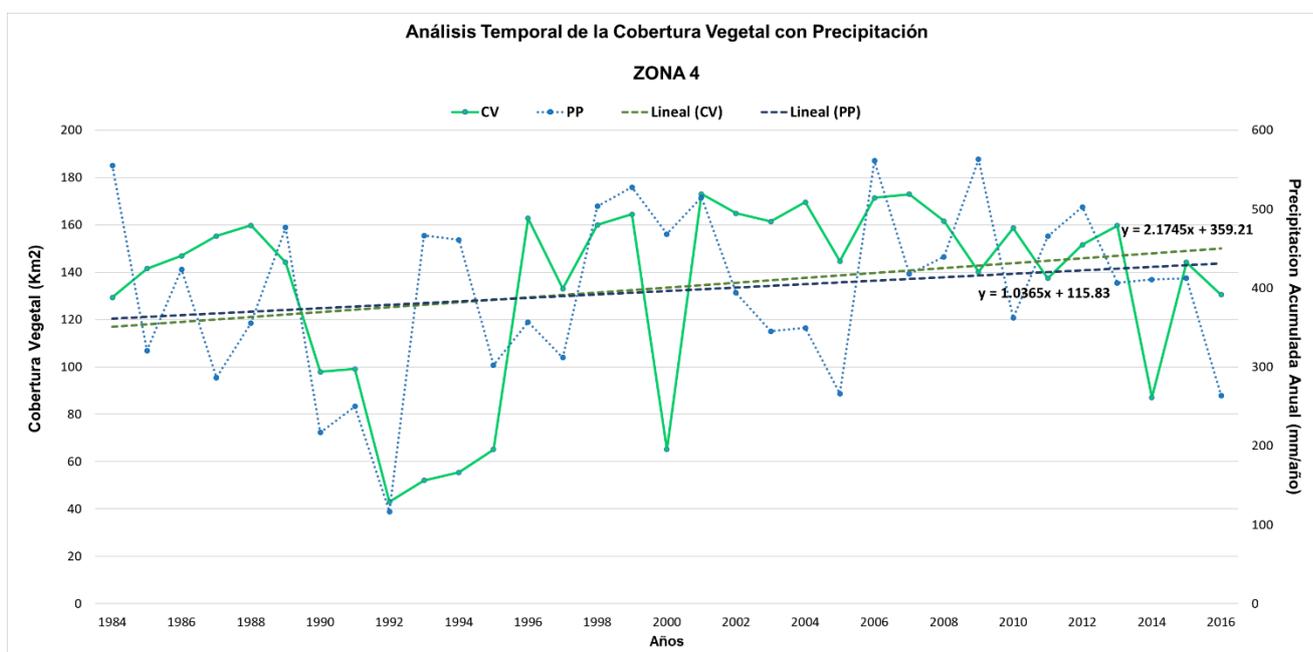


Figura 19. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 4, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 20, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 5, esta zona se ubica en la parte intermedia de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal ligera negativa, esto indica un descenso promedio de $0.002 \text{ km}^2/\text{año}$ (descenso acumulado de 0.07 km^2 durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 5 muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de $2.6 \text{ mm}/\text{km}^2 \times \text{año}$ (incremento acumulado de $83.4 \text{ mm}/\text{km}^2$ durante el periodo de análisis).

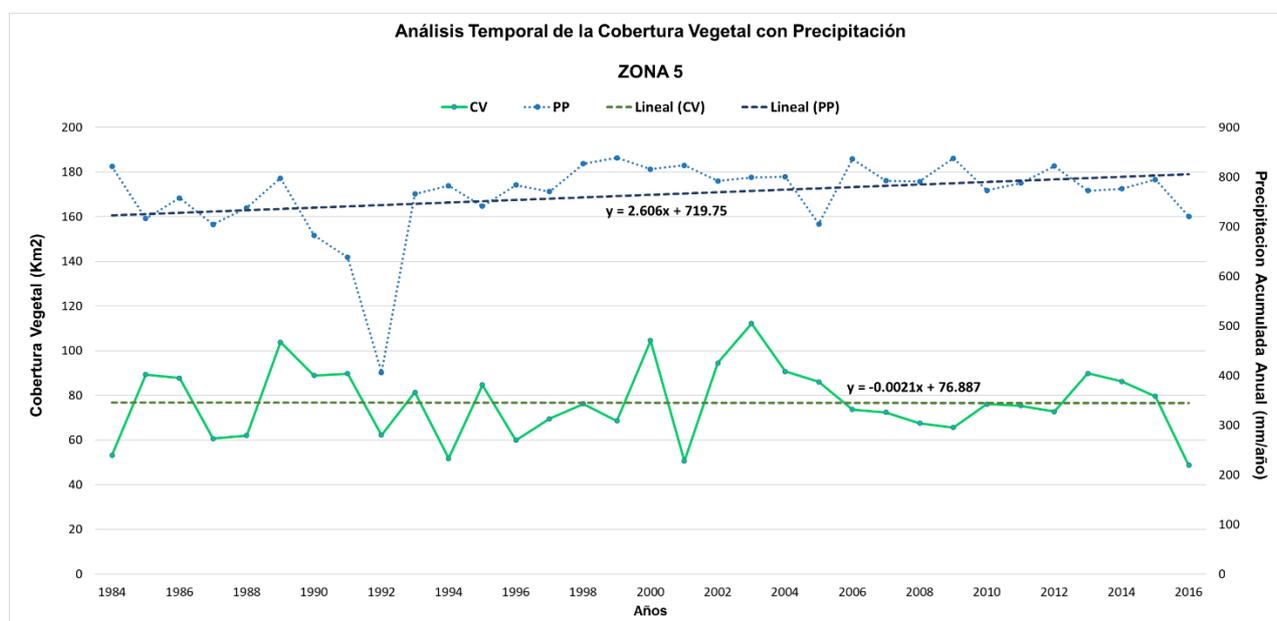


Figura 20. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 5, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 21, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 6, esta zona se ubica en la parte intermedia alta de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal ligera negativa, esto indica un descenso promedio de 0.09 km²/año (descenso acumulado de 2.96 km² durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 6 muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de 4.9 mm/km² x año (incremento acumulado de 157.9 mm/km² durante el periodo de análisis).

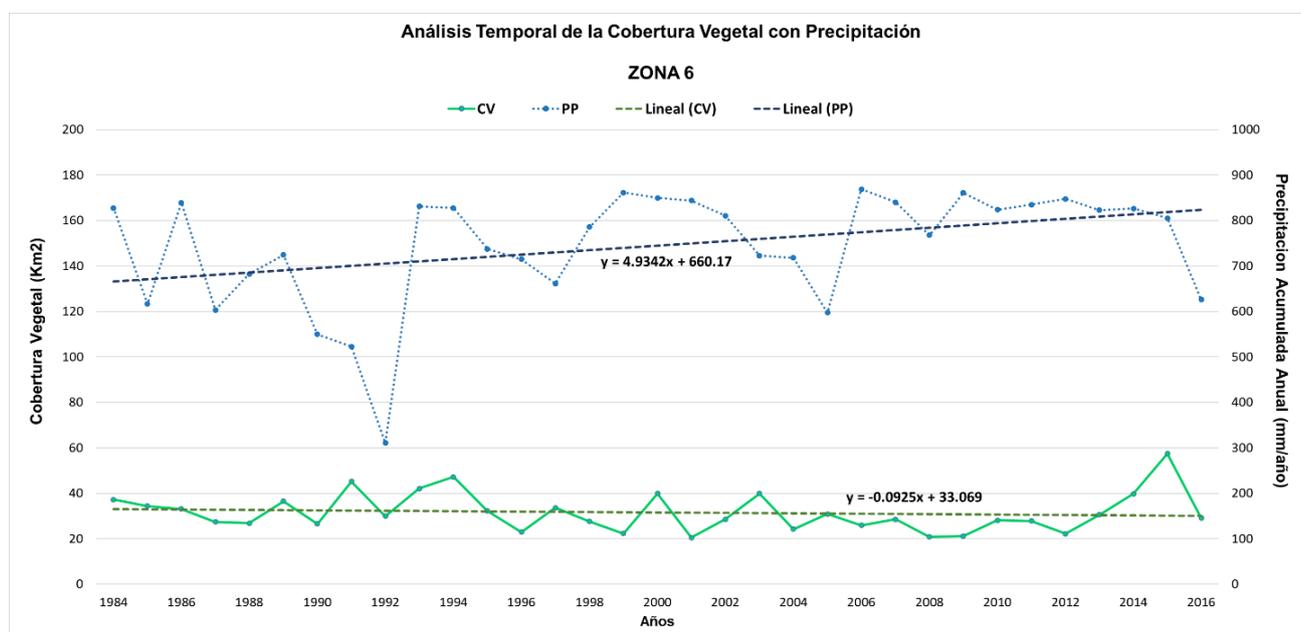


Figura 21. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 6, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 22, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 7, esta zona se ubica en la parte alta de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal ligera negativa, esto indica un descenso promedio de 0.22 km²/año (descenso acumulado de 7.15 km² durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 7 muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de 2.07 mm/km² x año (incremento acumulado de 66.4 mm/km² durante el periodo de análisis).

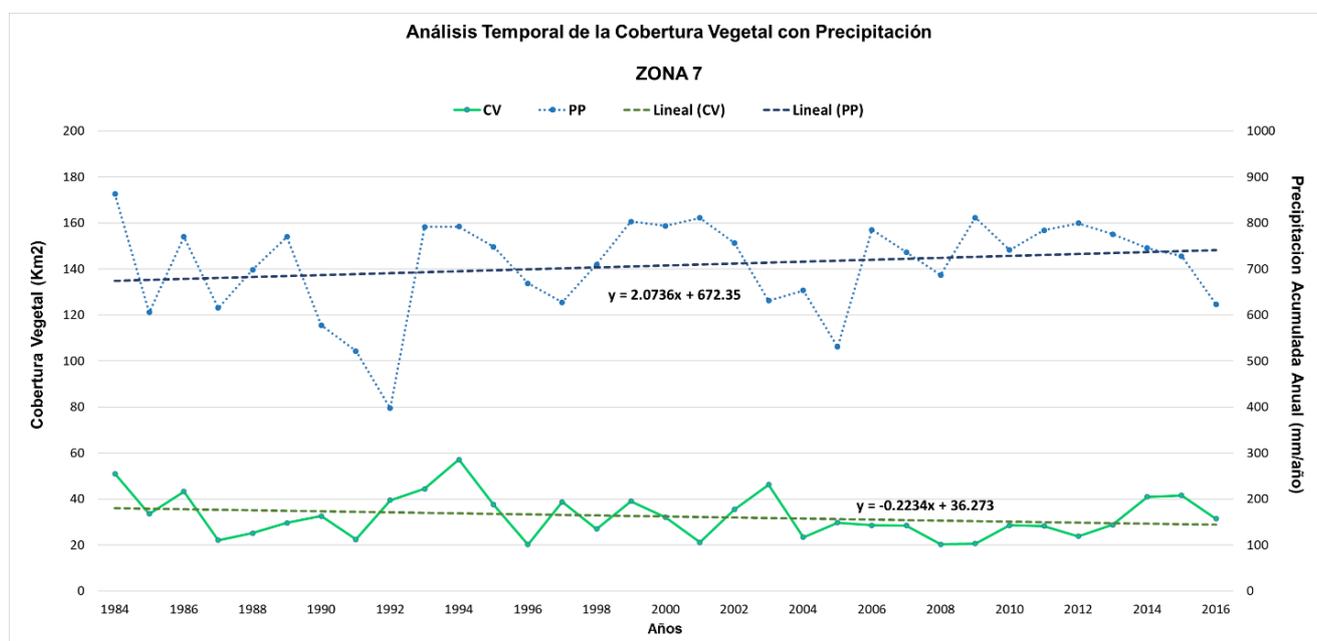


Figura 22. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 7, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 23, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 8, esta zona se ubica en la parte alta de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal ligera negativa, esto indica un descenso promedio de 0.01 km²/año (descenso acumulado de 0.4 km² durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 8 muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de 3.4 mm/km² x año (incremento acumulado de 107.5 mm/km² durante el periodo de análisis).

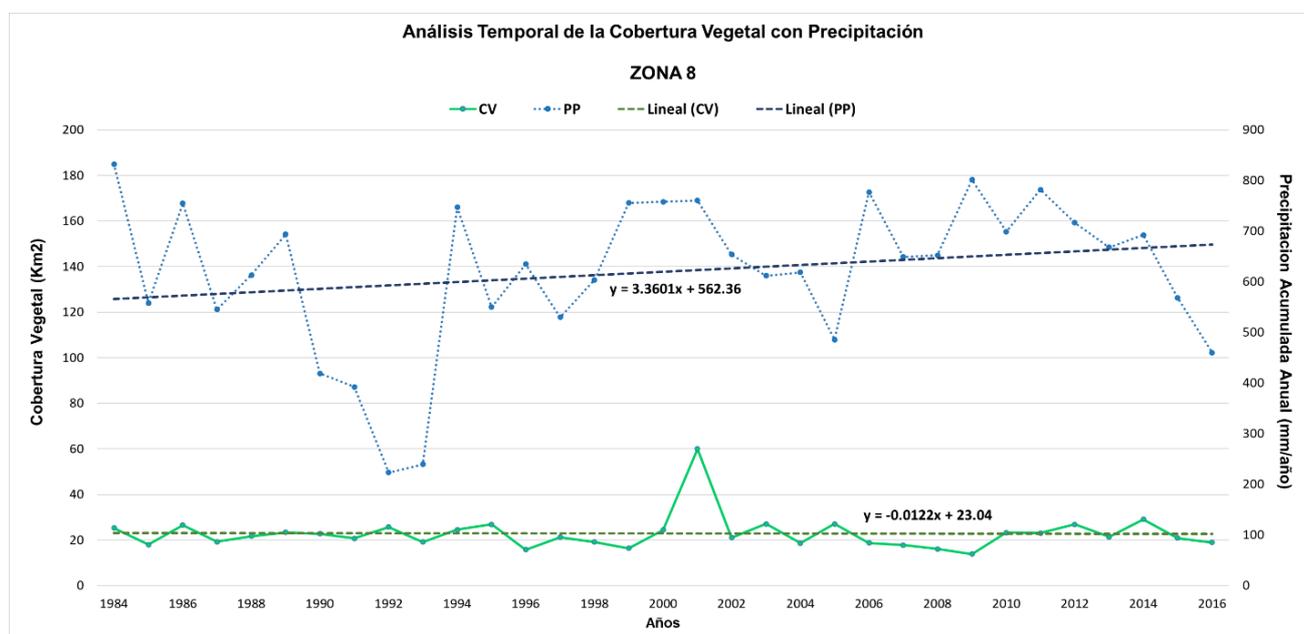


Figura 23. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 8, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 24, se observa el comportamiento temporal de la cobertura vegetal de la Zona 9, esta zona se ubica en la parte alta de la cuenca del Rímac. La dinámica de la cobertura vegetal muestra una tendencia lineal ligera negativa, esto indica un descenso promedio de 0.4 km²/año (descenso acumulado de 11.6 km² durante el periodo de análisis). La precipitación anual de la Zona 9 muestra una tendencia lineal positiva, ello indica un incremento promedio de 3.3 mm/km² x año (incremento acumulado de 107.1 mm/km² durante el periodo de análisis).

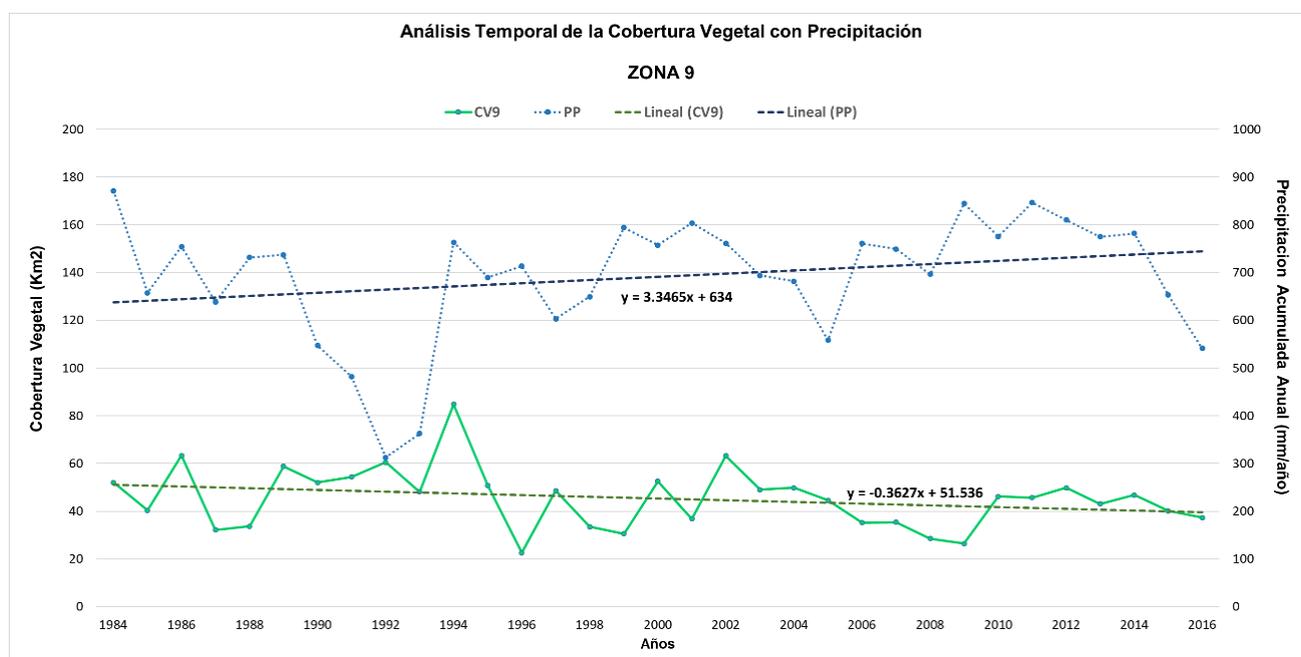


Figura 24. Evolución temporal de la cobertura vegetal de la Zona 9, con la distribución de la precipitación Acumulada

En la figura 25, se proyecta los cambios superficiales de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac, el análisis se realizó de manera intermitente cada 8 años, a partir del año 1984 hasta 2016. En los siguientes puntos se detallan los cambios espaciales identificados.

- Análisis entre los años 1992 y 1984: se evidencia en general una reducción de la cobertura vegetal con una magnitud de 165 km², reducción que se ve reflejado en el valle de la zona 1, reducción en las cumbres y laderas de las zonas 2, 3, 4, 7, 8 y 9. Sin embargo se evidencio incremento de cobertura para las cumbres de la zona 5 y 6.
- Análisis entre los años 2000 y 1992: se evidencia en general un incremento de la cobertura vegetal con una magnitud de 111 km², este aumento se concentró en las laderas y cumbres de la zona 4 y 2. Sin embargo, se percibe una reducción de cobertura en el valle de la zona 1.
- Análisis entre los años 2008 y 2000: se evidencia en general un incremento de la cobertura vegetal con una magnitud de 67 km², este aumento se concentró en las laderas y cumbres de la zona 2, 3 y 4. Sin embargo, se percibe una reducción de cobertura en el valle de la zona 1 y cumbres de la zona 7 y 9.
- Análisis entre los años 2016 y 2008: se evidencia en general una reducción de la cobertura vegetal con una magnitud de 134 km², reducción que se ve reflejado en el valle de la zona 1, reducción en las cumbres y laderas de las zonas 2, 3,5 y 8.

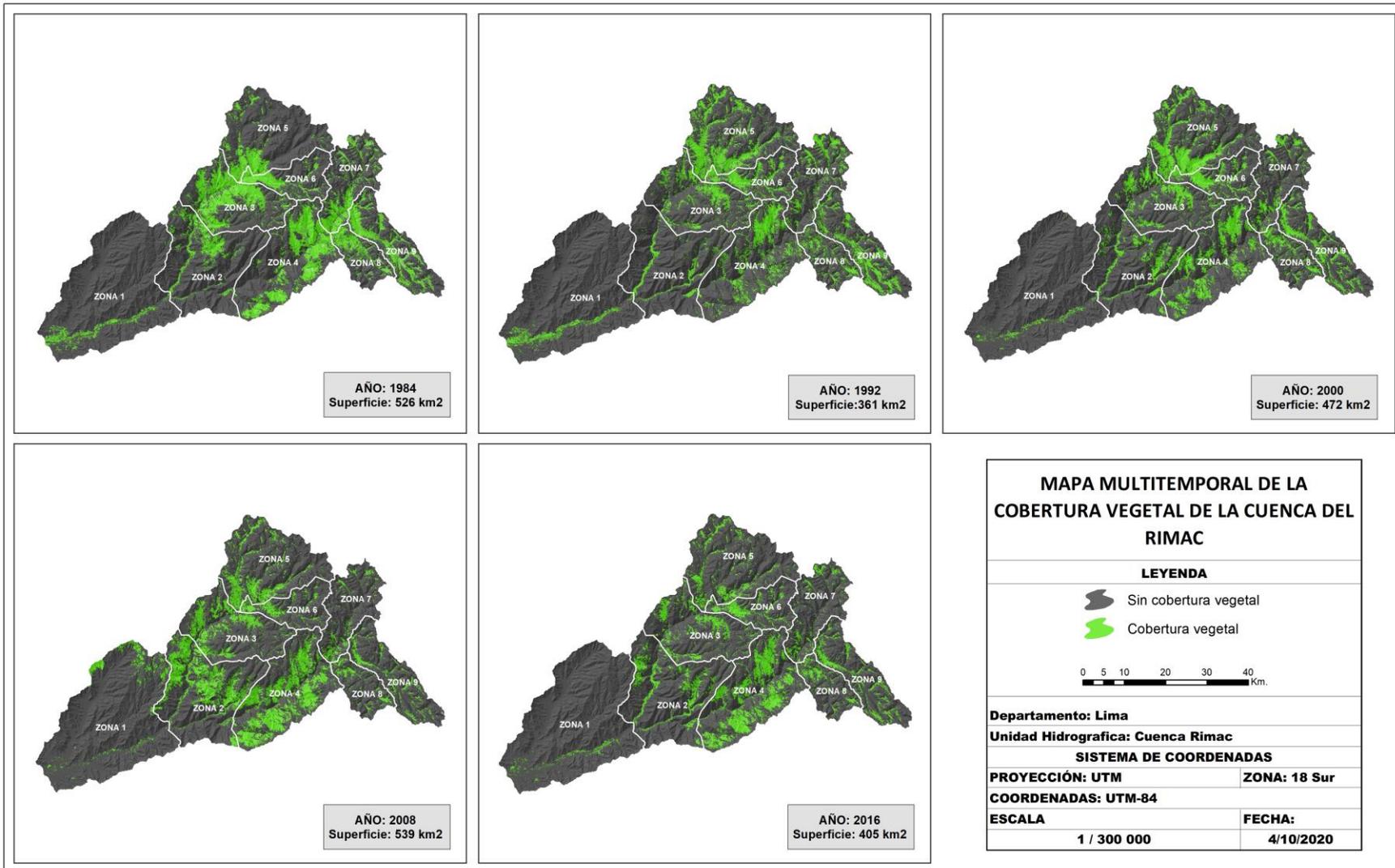


Figura 25. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma interanual desde 1984 hasta 2016

3.3. Relación entre la precipitación y la cobertura vegetal

3.3.1.1. Relación entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac

Mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilk se demostró que los datos de las variables precipitación y cobertura vegetal, presentan una distribución normal, ya que, los valores de probabilidad (p-valor) de cada variable son mayores al nivel de significancia (0.05). Todo ello indica que las variables forman una distribución simétrica en relación a la media. En relación a esta característica es conveniente usar estadística inferencial paramétricas, como la prueba correlación de Pearson.

Tabla 12.

Prueba de normalidad de datos, mediante el método Shapiro-Wilk

Variable	Pruebas de normalidad - Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Nºdatos	p-valor
Precipitación acumulada Anual	0.952	33	0.151
Cobertura Vegetal (Km2)	0.970	33	0.481

Fuente: Propia

Como se hizo mención, la prueba estadística de normalidad Shapiro-Wilk, determino el uso del estadístico paramétrico de correlación de Pearson, este último permitió medir el grado de relación entre las variables en estudio. La prueba correlacional demostró una asociación de tipo muy alta entre la cobertura vegetal y la precipitación, debido a un magnitud de 0.79 (ver tabla 13). Además, la relación es de comportamiento lineal positivo, esto indica una asociación de carácter directa proporcional (ver figura 26). En resumen, la precipitación anual acumulada explica en un 79% el comportamiento de la cobertura vegetal de la cuenca del Rímac durante los años de estudio. Todo ello a un nivel de confianza del 95%.

Por otra parte, la significancia bilateral es menor al nivel de significancia " $0 < 0.05$ " (ver tabla 13), esto demuestra que la hipótesis aceptada es la siguiente: existe una relación estrecha significativa entre la cobertura vegetal y la precipitación, para la cuenca del Rímac.

Tabla 13.
Prueba de correlación de Pearson

		Cobertura Vegetal (Km ²)
Precipitación Acumulada Anual	Correlación de Pearson	0.787
	Significancia bilateral	0
	N	33

Fuente: Propia

Esta tabla se observa los resultados del coeficiente de correlación de Pearson y la significancia bilateral, este último valor es útil para la decisión en la prueba de hipótesis. Estos resultados, están en relación a toda la cuenca del Rímac.

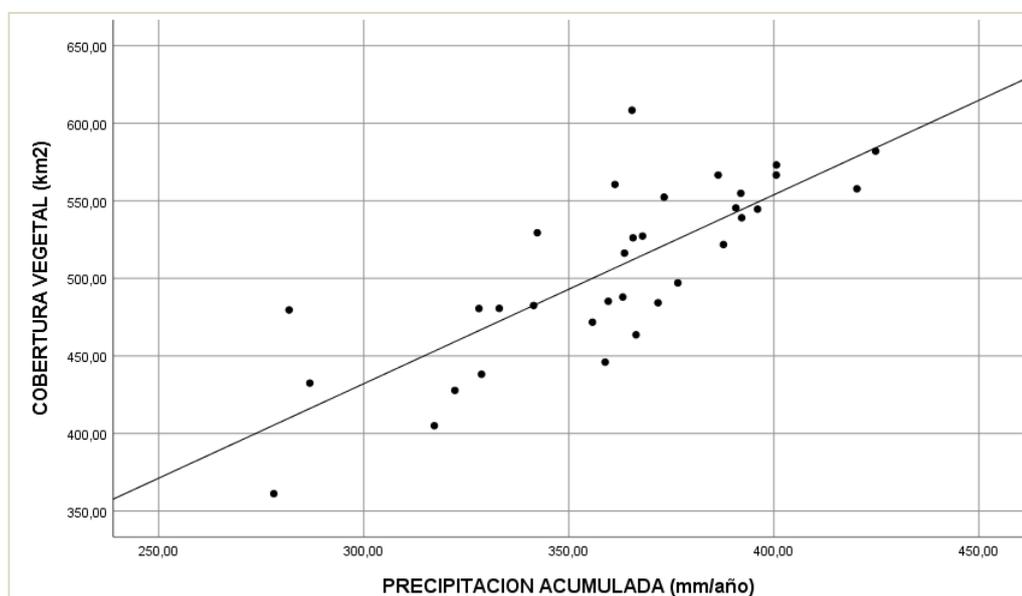


Figura 26. Diagrama de relación de las variables
Fuente: Propia

3.3.2. Relación entre la precipitación acumulada anual y la cobertura vegetal a nivel de zonas

La prueba estadística de normalidad Shapiro-Wilk demostró de las variables precipitación y cobertura vegetal a nivel de zonas, presentan tanto distribución normal como distribución no normal, la determinación estuvo marcada por la siguiente expresión: $p\text{-valor} > 0.05$ condición para distribución normal y $p\text{-valor} < 0.05$ condición para distribución no normal. Las variables con distribución normal indican que los datos temporales presentan una dispersión simétrica en relación a la media, y que esta característica permite usar una estadística inferencial paramétrica, por lo contrario, una distribución no normal, indica una dispersión asimétrica en relación a la media, por tanto, se utiliza la estadística inferencial no paramétrica.

Tabla

14. Prueba de normalidad de datos, mediante Shapiro-Wilk

	Precipitación Acumulada Anual (mm)		Cobertura Vegetal (Km2)		Análisis
	p-valor		p-valor		
Zona 1	0.293	Distribución Normal	0.001	Distribución No Normal	Estadística inferencial no paramétrica
Zona 2	0.537	Distribución Normal	0.009	Distribución No Normal	Estadística inferencial no paramétrica
Zona 3	0.328	Distribución Normal	0.542	Distribución Normal	Estadística inferencial paramétrica
Zona 4	0.531	Distribución Normal	0	Distribución No Normal	Estadística inferencial no paramétrica
Zona 5	0	Distribución No Normal	0.705	Distribución Normal	Estadística inferencial no paramétrica
Zona 6	0	Distribución No Normal	0.020	Distribución No Normal	Estadística inferencial no paramétrica
Zona 7	0.001	Distribución No Normal	0.081	Distribución Normal	Estadística inferencial no paramétrica
Zona 8	0.018	Distribución No Normal	0	Distribución No Normal	Estadística inferencial no paramétrica
Zona 9	0.003	Distribución No Normal	0.226	Distribución Normal	Estadística inferencial no paramétrica

En consideración a los resultados previos de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, se utilizó los estadísticos correlacionales de Pearson y Spearman, para las estadísticas inferenciales paramétricas y no paramétricas, respectivamente.

Las pruebas correlaciones demostraron que la relación entre la precipitación y la cobertura vegetal a nivel de zonas, presentan magnitudes variadas, de ellas las zonas 1 y 2, muestran una relación superior a 0.6, esto significa que las magnitudes variadas de las precipitaciones influyen en las variaciones superficiales de la cobertura vegetal, por otra parte, las zonas restantes muestran una relación baja, esto indica que la variable precipitación no presenta una influencia significativa en la cobertura vegetal (ver tabla 15).

Asimismo, estas relaciones, fueron representados mediante un mapa cartográfico, para evidencia las relaciones altas y bajas, en función a intensidad de colores, donde la tonalidad oscura representa una alta relación y las tonalidades claras representan bajas relaciones (ver figura 27)

Tabla 15.
Prueba de correlación de Pearson para las variable de análisis

Zonas	Variables	Tipo de correlación	Valor	Sig. (bilateral)
Zona 1	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	0.757	0
	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 2	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	0.749	0
	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 3	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Pearson	0.154	0.393
	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 4	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	0.253	0.155
	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 5	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	-0.043	0.812
	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 6	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	-0.181	0.314

	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 7	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	0.099	0.585
	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 8	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	0.086	0.635
	Cobertura Vegetal (Km2)			
Zona 9	Precipitación Acumulada Anual (mm)	Spearman	-0.072	0.692
	Cobertura Vegetal (Km2)			

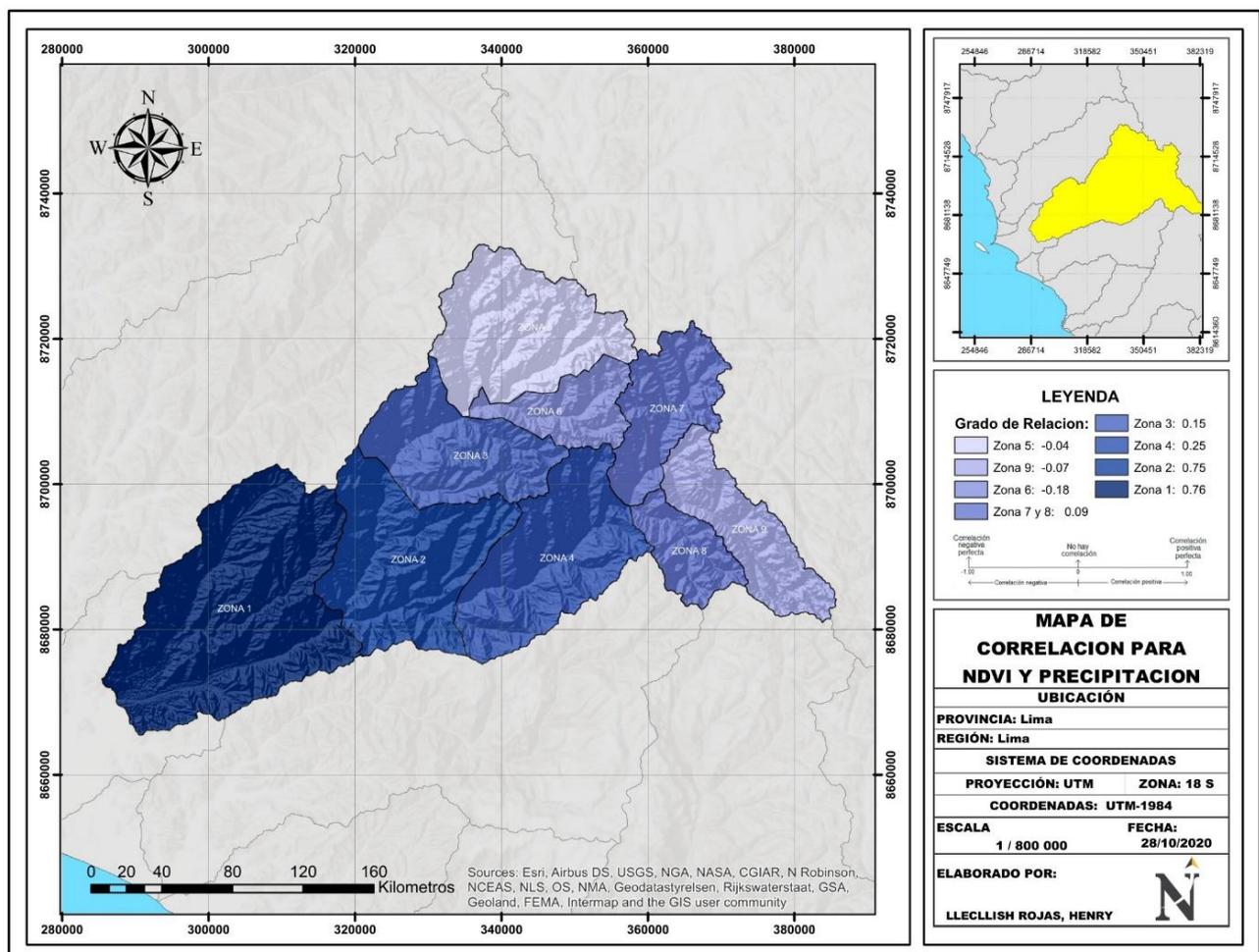


Figura 27. Mapa del grado de correlación de las variables precipitación y cobertura vegetal a nivel de zonas

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES

La evolución de las cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac presenta un incremento de 0.82 km^2 de cobertura por año (equivale a un total de 24 km^2) con ciclos irregulares dentro del periodo de análisis (figura 14), así mismo la precipitación anual ha presentado un incremento de $0.92 \text{ mm/km}^2 \times \text{año}$ (equivale a un total de 395 mm), también con ciclos irregulares (figura 13). Estos resultados fueron inferiores a lo identificado por Manchego (2017), donde evidencio dinámicas irregulares para la precipitación y para la cobertura vegetal de la cuenca Quilca - Arequipa, en un periodo de análisis de 10 años, la precipitación tuvo un incremento anual promedio de 7.8 mm , y la cobertura vegetal presento una tendencia de incremento de 59 km^2 por año, estas tendencias fueron superiores a lo previsto en la cuenca del Rímac, esto indica que la cuenca en estudio presenta cambios en cobertura vegetal y precipitación casi constantes.

Por otra parte, los ciclos irregulares que se evidenciaron en el análisis temporal de la cobertura vegetal, es a causa de las distintas tipologías de cobertura vegetales de la cuenca del Rímac como por ejemplo los pastizales, herbáceas, agriculturas, bosques densos, bofedales, matorrales, entre otros; la existencias de estas biodiversidades son a causa de los distintos pisos altitudinales que alanzan la cuenca, desde piso Chala hasta piso Janca (5500 msnm) (ANA, 2010; ANA, 2017; Aquafondo, 2015). El incremento de la cobertura vegetal, es generado por la intensificación de las actividades agrícolas (Dardel, Kergoat, & Hiernaux, 2013; Martin & Buill, 2015; Moncada, Masias, & Pereda, 2015) y el incremento de proyectos de intervencion en ecosistemas degradados para el incremento de la cosecha de agua, financiados por SEDAPAL y AgroRural, que estan bajo el enfoque del MRSE hidrico (mecanismos de redistribucion por servicios ecosistemicos) (Sedapal, 2019)

Por otro lado en la dinamica de la preicpitacion y la cobertura vegetal de la cuenca del Rimac (ver figura 15) se evidencian aumentos de la cobertura vegetal (a un tasa entre 4% a 11%) en los años 1991, 2002 y 2003 a pesar de presentar descensos ligeros en la precipitacion (tasa de descenso de 1% a 5 %). En el analisis cartografico, estos aumentos se reflaron en las laderas y valles de la zona 1 y 2 (ver anexo 5). Estos incrementos fueron a causa del Fenomeno del Niño, que según registro del Centro Nacional de Estimacion y reduccion del riesgo de Desastres, en elos años 1991, 2002 y 2003, se presencio magnitudes de clase media con duracion 5 a 9 meses (CENEPRED, 2012), a estas condiciones se desarrolla con intensidad un ambiente calido, esto provoca un incremento en el periodo de la precipitacion, activando las quebradas, mayor magnitud en la humedad relativa (entre 90 a 98%) (UNMSM, 2001), teniendo como consecuencias: erosiones en las zonas empinadas y aumento de la vegetacion temporales, debido al incremento de la humedad ambiental, por lo general son vegetaciones de tipo herbazal (MINAM, 2014), (SENAMHI, 2016), (ANA, 2010) y (Briseño, 2016).

A nivel local, se observó que las zonas 1 y 2 presentaron un ligero incremento de cobertura vegetal durante el periodo de estudio con una tasa promedio de 0.15 km²/año y 0.44 km²/año respectivamente (ver figura 16 y 17), esto es debido, a que en las zonas predominan las coberturas de tipo pastizal y vegetación temporal (ANA, 2010; ANA, 2017; Aquafondo, 2015), coberturas que se desarrollan en periodos cortos y con facilidad (Manchego, 2017), incrementos de matorrales y especies invasoras (Alatorre, Miramonte, & Garcia, 2014) y coberturas agrícolas, este último aumento con gran impulso desde el año 1969, debido a que se emitió la Ley de reforma agraria, donde se intensifico los fundos y que aún prevalecen en la actualidad, esto permitió la intensificación de la actividad agrícola (Eguren, 2018; Gonzales, Alvarez & Aguirre, 2016). Además, el crecimiento rural ha generado una

agricultura intensiva, con mayor intensidad en las zonas bajas de la cuenca, debido a la alta demanda de productos agrícolas que genera el comercio de Lima (Carvajal & Pabon, 2016), además, en estos últimos años se ha realizado la recuperación de andenes (coberturas vegetales de infraestructura ancestral) ubicadas en la zona 2 (Aquafondo, 2017).

Asimismo, la tendencia de las precipitaciones para las zonas 1 y 2 mostraron un ligero incremento $0.2 \text{ mm/km}^2 \times \text{año}$ y de $1.05 \text{ mm/km}^2 \times \text{año}$, esto daría respuesta al incremento de la cobertura vegetal de las zonas 1 y 2 mencionados en líneas anteriores, sobre todo de beneficio para la vegetación estacional y herbazales, pues estas coberturas son sensibles a la humedad o la disponibilidad de agua de un territorio, mientras es la presencia del agua mayor será la intensificación de estas especies vegetales (Paz & Diaz, 2018), asimismo con el desarrollo de proyectos de intervención dirigidos por Sedapal, mayor es la disposición hídrica. Cabe complementar, que el incremento de la precipitación provoca un acenso de los caudales en las quebradas, favoreciendo al suelo y las coberturas. SENAMHI ha reportado un incremento de los caudales en la estación Chosica, alcanzando alrededor de $55.5 \text{ m}^3/\text{s}$ asimismo indican que ya supera el promedio histórico, esta estación se encuentra ubicada en la Zona 1 (SENAMHI, 2018).

Cabe mencionar que el estudio demostró una reducción de 12 km^2 la cobertura vegetal en los valles de la zona 1 (ver figura 25), esto es a causa del crecimiento urbano en los valles, así lo demostraron Raymundo et al. (2007), donde encontraron una reducción de 35 km^2 en vegetación agrícola de los valles del Rimac, a causa de los asentamientos urbanos, que incremento en un 90% para el año 2002 en referencia al año 1975, estos asentamientos incrementaron debido a la presencia de inmobiliarias informales, afectando la rentabilidad agrícolas.

Las coberturas más representativas de las zonas 3, 5, 6, 7, 8 y 9 son los bofedales, lagunas altoandinas, nevados y bosques de relictos, ubicadas a mayor altitud; las herbáceas, pastizales altoandinos y la agricultura, se encuentran ubicadas en los valles, mesetas y laderas (ANA, 2010; ANA, 2017; Aquafondo, 2015). Asimismo, las zonas mencionadas se encuentran por encima de los 4800 msnm, por ello es considerada como zonas de alta de montaña (Packard, 2010). El estudio evidenció disminución de las coberturas vegetales en las zonas mencionadas con valores desde 0.1 a 0.4 km²/año, sin embargo, se identificó valores casi nulos de descenso en cobertura vegetal para las zonas 5 y 8, con magnitudes promedio de 0.002 y 0.01 km²/año. Las precipitaciones para estas zonas presentaron una tendencia de ascenso entre 2 y 4 mm/km² x año, valores homogéneos ya que son zonas de alta montaña. Como se evidencia a pesar del incremento de la precipitación, ha descenso en la cobertura vegetal, ello es debido a la erosión fluvial e inundación, pues estos procesos impactan la cobertura vegetal debido a que son desarraigados con la capa de suelo arable, según el mapa de susceptibilidad a inundación y erosión fluvial estas zonas altas presentan un grado medio y alto que se concentran en superficies empinadas, laderas y cumbres (INGEMMET, 2019); afectan con facilidad las coberturas, ya que predominan la vegetación pajonal andino y cardonales, coberturas sensibles a la erosión (ANA, 2019). Como se mencionó las zonas 5 y 8 presentaron baja pérdida de cobertura vegetal, esto se debe en principio a que la zona 5, predominan los bofedales con superficie alrededor de 6 km² (ANA, 2019), según Calvo (2016) y Leon (2016), estas vegetaciones son resistentes a la erosión hídrica y la compactación, pues su desarrollo se realiza en suelos inundables, por tanto, los procesos de inundación fluvial son de beneficio para estas coberturas, asimismo, se ubican en suelos llanos sin presencia de deslizamiento de masas. En la relación a la zona 8, la baja pérdida de cobertura a pesar de la inundación y erosión, generada por el incremento de las precipitaciones (3.4 mm/km² x año) la zona es de categoría baja a media en susceptibilidad

a movimiento de masas, esto indica que la erosión por escorrentía que afecta a las coberturas vegetales es de bajo impacto (Packard, 2010).

Por otro lado, existe un factor adicional que afecta las coberturas vegetales de las zonas altas, esta es la temperatura, esta variable climática provoca reduce la humedad del suelo sobre todo en coberturas con mayor prolongación de horas de energía solar (SERFOR, 2017), afectando los procesos fisiológicos como las fases de germinación y/o floración (Manchego, 2017) justamente se ha presenciado incremento de la temperatura en las zonas altas de la cuenca del Rímac con valores de incremento de 0.6 a 0.8°C (ANA, 2010).

La cobertura vegetal y la precipitación acumulada anual muestran una relación de 78.7% (tabla 13), esta buena relación es debido a que la cuenca hidrográfica en estudio presenta una variedad de coberturas vegetales, desde pastizales hasta bosques altoandinos (ANA, 2017; Aquafondo, 2015) dentro de ellas, las coberturas con altitud de 20-60 cm guardan dependencia con la estacionalidad atmosférica (SERFOR, 2017). No obstante, la relación no es perfecta, lo que significa que existen otros factores ajenos al régimen de precipitación que afectan al desarrollo de la vegetación, estos factores podrían ser la humedad del suelo, periodo en que se produce la precipitación e incluso eventos extraordinarios como los incendios y deforestaciones antrópicas (Belenguer-Plomer, 2016).

A nivel local se evidencia que la relación entre las variables precipitación y cobertura vegetal para las zonas 1 y 2, son de 75% (tabla 15), esto es debido a que coberturas predominantes son las agrícolas, pastizales y herbáceas (ANA, 2017) estas unidades son poco densas (mayor superficie de suelo desnudo), por lo que se denominan territorios secos o semiáridos (Dario, 2012; Anaya & Valencia, 2013) y con baja producción de biomasa (Lozano-Parra, Lozano, & Pulido, 2018) estas características en la cobertura vegetal permiten climáticas como la

precipitación, sean factores predominantes en los cambios y la evolución de la cobertura vegetal (Martin & Buill, 2015); Asimismo, Ovando et al. (2014) y Linares et al. (2012), indican que la humedad relativa de estos territorios son bajos, situación que aumenta la dependencia ante las precipitaciones.

Otras experiencias como la de Manchego (2017), quien estudio la cuenca Quilca-Chili que se encuentra ubicada en la región quechua (espacio que coincide con la zona 1 y 2 de la cuenca del Rímac) encontró que la precipitación y la cobertura vegetal muestran una correlación de 83% dentro del periodo “2005 a 2015”, análisis que fue realizado en periodo similar al presente estudio “1984 a 2016” (Manchego, 2017). De igual modo Ferelli et al. (2011), obtuvieron una relación de 90% entre las coberturas pastizales y la precipitación en una cuenca hidrográfica de Argentina ; asimismo, indican que las coberturas densas como los arbustales son mas estables frente a las variabilidades de las precipitaciones, fenómeno contrario para los pastizales y cultivos en secano. Por otro lado, Martínez et al. (2012), indican que las coberturas en dependencia de la precipitación generan mayor vulnerabilidad, más aún si el cambio climático está modificando la variabilidad de las precipitaciones.

En las zonas altas (3 a 9) o también llamadas zonas de cabecera de cuenca se evidencio relaciones muy bajas y no significativas desde 4 % hasta 15% . Esto es debido a los distintos factores como la presencia de bofedales, unidades vegetales que soportan la variabilidad de las precipitaciones, ya que habitan en suelos inundables (Aponte, Espina, & Posada, 2017; Polk et al., 2017), estos suelos inundables son a causa del derretimiento glaciario, suelos arcillosos, flujos de agua subterránea, etc. (Garcia & Otto, 2015; Moncada, Masias, & Pereda, 2015; Tapia, 2013). Otro factor involucrado en la baja relación no significativa es gracias a la alta humedad terrestre y atmosférica (60 – 70%) (Manchego, 2017; Moncada, Masias, & Pereda, 2015), asimismo la vigorosidad de las vegetaciones en las zonas altas

están bajo la función de la siembra y cosecha de agua, proceso donde las coberturas densas y materiales rocosos retienen el agua en el suelo y subsuelo para luego florecer de forma natural y ser de beneficio ecosistémico (Pabon & Cavajal, 2014; Huerta-Olague, Oropeza, & Guevara, 2018; Andrade, 2014). Asimismo, la presencia de lagunas, ayuda a retener agua para luego ser dispuesta de manera natural en las coberturas aledañas (Aguafondo, 2015), la cuenca en estudio presenta 191 lagunas en la cabecera (zonas altas), gran parte de ellas se concentra en las zona 5, 6, 7 y 9 (Bernex, 2014; ANA, 2019).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

La evolución temporal de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac evaluada mediante el NDVI en el periodo 1984-2016, demostró un comportamiento cíclico irregular con un ligero incremento de cobertura vegetal de 24 km^2 (a razón promedio de $0.82 \text{ km}^2/\text{año}$), del mismo modo, la precipitación mostro una tendencia de incremento a una razón de $0.92 \text{ mm}/\text{km}^2 \times \text{año}$, este incremento de la precipitación favoreció a las zonas bajas, ya que predominan vegetación como pastizales y agricultura, en zonas altas se desarrollo mayor fuerza erosiva del suelo.

En los años 1991, 2002 y 2003 se evidencio incremento de la cobertura vegetal en las laderas y valles de las zonas 1 y 2, durante estas fechas se presento descenso en la precipitación en razón de 1 a 5%, por tanto, el incremento de la vegetación se debió al Fenómeno del Niño de categoría media, el cual permitió incremento de la humedad relativa.

A escala local, la evolución temporal de la cobertura vegetal en las zonas bajas 1 y 2 mostraron incremento de la cobertura vegetal a una razón promedio de $0.15 \text{ km}^2/\text{año}$ y $0.44 \text{ km}^2/\text{año}$; e incremento ligero de la precipitación con valores de $0.2 \text{ mm}/\text{km}^2 \times \text{año}$ y de $1.05 \text{ mm}/\text{km}^2 \times \text{año}$, pues la coberturas de estas son de tipo pastizal, herbazal, agrícola y vegetación estacional.

Las zonas altas de la cuenca (3, 5, 6, 7, 8 y 9) presentaron una perdida de cobertura vegetal a una razón anual de 0.1 a 0.4 km^2 , donde la precipitación a igual que las zonas bajas, mostraron un incremento a una razón anual de 2 a $4 \text{ mm}/\text{km}^2$. El descenso de estas coberturas está ocasionado por el proceso erosivo generado por las precipitaciones, asimismo, las zonas 5 y 8 presentaron baja perdida de cobertura vegetal, debido al amortiguamiento erosivo, que brindan las lagunas.

La variable precipitación explica en un 78.7% los cambios temporal de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Rímac a nivel general. Asimismo, en las zonas 1 y 2 se encontró una relación de 75% durante el periodo de estudio (1984-2016). Sin embargo, en las zonas altas (5, 6, 7, 8 y 9) se encontró una correlación muy baja y no significativa, esto demuestra la alta influencia de otros factores en la cobertura vegetal en las zonas altas.

Este estudio contribuye a la toma de decisiones relacionados con la conservación o planificación de ecosistemas. Además, el grado de relación de las coberturas vegetales frente a las precipitación ayudara a identificar zonas vulnerables, ya que el cambio climático sigue en continua modificación de las variables climáticas.

Asimismo, se recomienda clasificar las coberturas vegetales de la cuenca del Rímac, para tener mayores detalles de las coberturas cambiantes. De igual forma se recomienda el uso de otras imágenes satelitales que permitan comparar con los resultados del presente estudio.

Recomendaciones

REFERENCIAS

- Miranda, J., & Pugnaire, F. (2016). Efecto del cambio de los patrones de precipitación sobre las comunidades vegetales semiáridas. *Impactos y Vulnerabilidad*, 235-242. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/cap17-efectodelcambiodelospatronesdeprecipitacionsobrelascomunidadesvegetalessemiáridas_tcm30-70219.pdf
- Rodríguez, M. (2015). *Para donde va el Río Magdalena: Riesgos sociales, ambientales y económicos del proyecto de navegabilidad*. Bogotá: Foro Nacional Ambiental. Obtenido de <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/12042.pdf#page=143>
- Abulizi, N., Kawamura, A., Tomiyama, K., & Fujita, S. (2016). Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS. *ScienceDirect*, 398-411. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.004>
- Adalto, B., Garcia, M., Helena, P., Andre, L., Chavez, S., & Ivanilton, E. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69-85. doi:10.15446/rcdg.v29n1.76232.
- Agresta, A. (2015). *Protocolo Metodológico para análisis de imágenes satelitales*. Costa Rica. Obtenido de http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/agresta_et_al._2015.a_-_protocolo_metodol_gico_para_el_an_lisis_de_im_genes_de_sat_lite.pdf
- Aguafondo. (2015). *Las cuencas de Lurín, Rímac y Chillón, fuentes de agua para Lima y Callao*. Lima: Aguafondo. Obtenido de https://aguafondo.org.pe/wp-content/uploads/2015/11/2._Las_Cuencas_de_Lima_-_Chillon_Rimac_y_Lurin.pdf
- Aguilar. (2016). *Distribución de incendios y recuperación de matorrales en el noroeste de Baja California*. Mexico: Maestría en Ciencias de la Tierra con orientación Geociencias Ambientales.
- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2015). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot2 y landsat8 con el módulo flash del software ENVI. *Revista Geográfica de América Centra*, 39-59. doi:10.15359/rgac.2-53.2
- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2015). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot2 y landsat 8 con el módulo flash del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 39-59. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/277343027>
- Alata, A. (2018). *Análisis Multitemporal de la explotación minera con aplicación de percepción remota y SIG en los distritos de Ananea 1975-2017*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Alatorre, L., Miramonte, S., & Garcia, A. (2014). *Evolución de la dinámica vegetal mediante una serie de imágenes landsat TM 1896-2011*. Rioja: Cuadernos de Investigación Geográfica.
- Allred, B., Jones, M., Moreno, A., Kimball, J., Naugle, D., & Tyler, E. (2017). A Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States. *Remote Sensing*, 1-14.
- Ambrosio, G., Gonzales, J., & Arevalo, V. (2016). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *Universidad de Málaga*, 1-9. Obtenido de <http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/ambrosio2002crg.pdf>
- ANA. (2010). *Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac*. Lima: Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos Área de Aguas Superficiales. Obtenido de http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio_hidrologico_Cuenca_Rimac_volumen_I_texto_final_2010.pdf
- ANA. (2010). *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac*. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de

- http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio_hidrologico_Cuenc a_Rimac_volumen_I_texto_final_2010.pdf
- ANA. (2013). *Elaboración de mapas de Isoyetas para ámbitos políticos, administrativos y unidades hidrográficas*. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de <https://es.calameo.com/books/001271945f0850843975e>
- ANA. (2013). *Evaluación de Bofedales en la cabecera de cuenca del río Santa*. Lima: Autoridad nacional del Agua.
- ANA. (2017). *Caracterización de cuencas*. Obtenido de Ocupación del suelo: <http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/caracterizacion-de-cuencas/ocupacion-del-suelo>
- ANA. (06 de Agosto de 2018). *Geoportal: infraestructura de datos espaciales*. Obtenido de Cuencas Hidrográficas del Perú: <http://geo.ana.gob.pe:8080/geoportal/index.php/8-geoportal>
- ANA. (05 de Febrero de 2019). *Caracterización de cuencas*. Obtenido de Sistema Hidráulico: <http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/caracterizaci%C3%B3n-de-cuencas/sistema-hidraulico>
- Anaya, J., & Valencia, G. (2013). *Fenología de ambientes tropicales en el marco de la teledetección*. Medellín: Revista internacional de ciencia y tecnología.
- Andrade, L. (2014). Variabilidad Climática y Caudales Mínimos en los Andes Ecuatorianos. *Politecnica*.
- Aponte, J., Espina, J., & Posada, E. (2017). *Caracterización y modelamiento espacial de patrones en humedales alto andinos, Perú, mediante algoritmos, periodo 1985-2016*. Lima: Revista Geográfica.
- Aquafondo. (2015). *Planificación estratégica para la conservación en el esquema del fondo de agua para Lima y Callao*. Lima: Nanuk E.I.R.L. Obtenido de <https://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2015/11/Lanzamiento-del-libro-ConservaciA%cc%83%c2%b3n-en-el-esquema-del-Fondo-de-Agua-para-Lima-y-Callao.pdf>
- Aquafondo. (2017). *Áreas Potenciales para el Desarrollo de Proyectos de Infraestructura Verde en las Cuencas del CHIRILU*. Lima: AQUAFONDO. Obtenido de <https://aquafondo.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/%c3%81reas-Potenciales-para-el-Desarrollo-de-Proyectos-de-Infraestructura-Verde-en-las-Cuencas-del-CHIRILU-AQUAFONDO.compressed.pdf>
- Arabameri, A., & Reza, H. (2019). 13 - Spatial Modeling of Gully Erosion Using Linear and Quadratic Discriminant Analyses in GIS and R. *ScienceDirect*, 299-321. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00013-2>
- Arboit, M., & Maglione, D. (2018). Análisis multitemporal y multiespacial del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI y del índice de vegetación ajustada al suelo SAVI en centros urbanos forestados y oasis irrigados con climas secos. *Boletín de Estudios Geográficos*, 13-60.
- ArcGis. (06 de Agosto de 2016). *Cómo funciona Pendiente*. Obtenido de El algoritmo de la pendiente: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>
- Arevalo, V., Gonzalez, J., & Ambrosio, G. (2004). Corrección Geométrica de Imágenes de Satélite de Distinta Resolución. *Research Gate*. Obtenido de researchgate.net/publication/266478543_Correccion_Geometrica_de_Imagenes_de_Satelite_de_Distinta_Resolucion_in_spanish
- Ariza, A. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8*. Bogotá: Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Obtenido de <http://www.unspider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Aybar, C., Lavado, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., Sabino, E., & Felipe, O. (2017). *Uso del Producto Grillado PISCO de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico*. Lima-Perú: Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-8.pdf>
- Baghdadi, N., Mallet, C., & Zribi, M. (2020). *Qgis y las herramientas genericas*. London: Science Publishing.

- Baiamonte, G., Domina, G., Raimondo, F., & Bazan, G. (2015). Agricultural landscapes and biodiversity conservation: a case study in Sicily (Italy). *Springer Link*, 24, 3201-3216. doi:<https://doi.org/10.1007/s10531-015-0950-4>
- Belenguer-Plomer, M. (2016). *Análisis de series temporales de precipitación y vegetación para la detección de anomalías en la producción de alimentos en el Cuerno de África. El caso de Lower Shabelle (Somalia)*. Valencia: Teledeteccion.
- Belenguer-Plomer, M. (2016). análisis de series temporales de precipitación y vegetación para la detección de anomalías en la producción de alimentos en el Cuerno de África. El caso de Lower Shabelle (Somalia). *Revista de Teledeteccion*, 41-51. Obtenido de <https://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/6690/7138>
- Bernex, N. (2014). *Cuenca sostenible para una ciudad sostenible: la sub-cuenca de Santa Eulalia y Lima Metropolitana*. Lima: CIGA-INTE-PUCP.
- Birtwistle, A., Laituri, M., Bledsoe, B., & Friedman, J. (2016). Usando NDVI para medir la precipitación en paisajes semiáridos. *Science Direct*, 131, 15-24. Obtenido de doi:[10.1016/j.jaridenv.2016.04.004](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.04.004)
- Brendel, A., Bohn, V., & Piccolo, M. (2017). Efecto de la Variabilidad Climática Sobre el Estado de la Vegetación y la Cobertura de Agua en una Cuenca de Clima Templado. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(2), 1-12. doi:[dx.doi.org/10.11137/2017_2_05_16](https://doi.org/10.11137/2017_2_05_16)
- Broecker, W. (2013). *Hay Futuro visiones para un mundo mejor*. Nueva York. Obtenido de https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2013/01/BBVA-OpenMind-Libro-Hay-futuro_visiones-para-un-mundo-mejor.pdf
- Brown, O., Gallardo, Y., Correa, A., & Barrios, S. (2015). El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Scielo*, 88-101. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000100007
- Burgos, M. (2015). *Efectos de fuego en la cobertura vegetal y procesos ecohidrológicos de un pastizal semiárido en el centro de México*. Mexico: Maestría. Obtenido de <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/4945>
- Campos, A., Figueroa, E., & Garcia, A. (2013). *Evaluación de la información satelital para el estudio de la dinámica hidrológica de la Llanura Pampeana*. Argentina: Conyct.
- Campos, A., & Guerreo, E. (2017). *Evaluación de la evolución de la cobertura vegetal a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el Parque Nacional Cerros de Amotape y la Reserva Nacional de Tumbes en el periodo 2000 – 2015*. Tumbes: Universidad Nacional de Tumbes. Obtenido de <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/353>
- Carmona, A. (2019). *Tendencia, validación y generación de caudales usando la data grillada Pisco para las cuencas del Río Biabo*. Lima: UNALM.
- Carvacho, L., & Sanchez, M. (2010). *Comparación de índices de vegetación a partir de imágenes MODIS en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile, en el periodo 2001-2005*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Carvajal, A., & Pabon, J. (2016). *Transformación de la superficie terrestre por la actividad humana y su relación con el cambio climático*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- CEPAL. (2013). *Guía: Análisis y Zonificación de Cuencas Hidrográficas para el Ordenamiento Territorial*. Chile: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36817/S2014205_es.pdf
- Cerron, J., Castillo, J., Bonesoeur, V., Peralvo, M., & Mathes, S. (2019). *Relación entre árboles, cobertura y uso de tierra y servicios hidrológicos en los Andes Tropicales: Una síntesis del conocimiento*. Lima. doi:[http://dx.doi.org/10.5716/OP19056.PDF](https://doi.org/10.5716/OP19056.PDF)
- Choubin, B., Soleimani, F., Pirnia, A., Sajedi, F., Alilou, H., Melesse, A., . . . Shahabi, H. (2019). Chapter 17 - Effects of drought on vegetative cover changes: Investigating spatiotemporal patterns. *ScienceDirect*, 213-222. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00017-8>
- Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de teledetección*, 10, 1-9.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid-España: Editorial Rialp.

- Chuvieco, E. (2008). *Teledeteccion ambiental: la observacion de la tierra desde el espacio*. España: Ariel S.A. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=aKsNXCVtcQC&printsec=frontcover&dq=teledeteccion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewiX6KCBndbrAhXjH7kGHfgAD3AQ6AEwCHoEAcQAQ#v=onepage&q=teledeteccion&f=false>
- Cuya, O. (2016). *Variación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en relación con la gradiente altitudinal en las lomas de Atocongo (Lima – Perú)*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Dardel, C., Kergoat, L., & Hiernaux, P. (2013). Reverdecimiento del Sahel: 30 años de datos de teledetección y observaciones de campo (Malí, Níger). *Science Direct*, 350-364.
- Dario, M. (2012). *Impacto del uso del suelo sobre el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) en el noroeste argentino*. Argentina: Instituto de Economía y Sociología.
- Delgado, E. (2018). *Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el area de conservacion privada Hierva Buena*. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas.
- Dellepiane, J. (2017). *Uso de imágenes satelitales para el*. Buenos Aires: INAPL. Obtenido de <https://cutt.ly/Vfs0dBC>
- 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>
- Eguren, F. (2018). *Reforma agraria y desarrollo rural en el Peru*. Peru: CEPES.
- Escobar, R. (2016). *Estimacion de la biomasa forestal de la sierra San Miguelito por medio de imagenes de satélite*. Mexico: Maestra en Geociencias Aplicadas.
- ESRI. (2002). *¿Que es ArcGIS?* New York: ESRI.
- ESRI. (24 de Mayo de 2016). *Conjunto de Herramientas de Reclasificar*. Obtenido de Reclasificar: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/reclassify.htm>
- ESRI. (11 de Mayo de 2016). *ModelBuilder*. Obtenido de ¿Qué es ModelBuilder?: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>
- ESRI. (27 de Mayo de 2016). *Proyectar ráster*. Obtenido de Conjunto de herramientas raster: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/data-management-toolbox/project-raster.htm>
- Esteban, A., & Ponienman, K. (2017). Cambios de la cobertura vegetal, precipitaciones y degradacion de las tierras. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/321226166_CAMBIOS_DE_LA_COBERTURA_VEGETAL_PRECIPITACIONES_Y_DEGRADACION_DE_LAS_TIERRAS
- Evans, M., & Rosenthal, J. (2004). *Probabilidad y estadística: la ciencia de la incertidumbre*. España: Reverte S.A.
- FAO. (25 de Junio de 2016). *Agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/es/CMVALC/lima.html>
- Fellisimo, A., Muñoz, J., & Mateo, R. (2012). *Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático*. España: Ecosistemas.
- Ferelli, F., Bohn, V., & Piccolo, M. (2011). *Aplicacion de geotecnologias al estudio de las precipitaciones y su relacion con las coberturas del suelos*. Argentina: Revista internacional de ciencia y tecnologia de la informacion geografica.
- Fernandez, I., & Herrero, E. (2007). *El satélite Landsat: Analisis visual de imagenes obtenidas del sensor ETM*. Estados Unidos: Universidad de Valladolid. Obtenido de <http://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf>
- Figuroa, F., Illoldi, P., Sanchez, V., & Linaje, M. (2011). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 951–963.
- Flores, P., Muñoz, L., & Sánchez, T. (2019). Estudio de potencia de pruebas de normalidad usando distribuciones desconocidas con distintos niveles de no normalidad. *Perfiles*, 3-11. Obtenido de <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles21Art1.pdf>

- Flórez, G., Rincon, A., Santiago, P., & Alzate, A. (2016). Multitemporal analysis of the vegetation cover in the area of influence of the mines located in the high part of Maltería in Manizales. *Dyna*, 95-101. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49650911012.pdf>
- Franco, A., & Pascual, D. (2019). Interceptación y escorrentía del bosque andino en la Reserva Forestal Protectora El Malmo. *Scielo*. doi:dx.doi.org/10.15446/abc.v24n1.67039
- Fuenzalida, M., Buzai, G., Moreno, A., & García, A. (2015). *Geografía Geotecnológica y Análisis Espacial*. Santiago de Chile: TRIANGULO. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/292843472/Fuenzalida-Et-Al-2015-Geografia-Geotecnologica-y-Analisis-Espacial>
- Galeana, M., Corona, N., & Ordóñez, J. (2009). Análisis dimensional de la cobertura vegetal–uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena. *Scielo*, 77-91. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000100007
- García, E., & Otto, M. (2015). *Caracterización ecohidrológica de humedales alto andinos usando imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del río Santa*. Ancash: Ecología Aplicada.
- Gerardo, B., Priego-Santander, A., Mendoza, M., & Burgos, A. (2009). La cartografía de sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial. Una revisión de la bibliografía. *Research Gate*, 1-73. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/281320384>
- Gomez, L. (2017). La relación entre el índice normalizado de vegetación y la variabilidad del clima en Oaxaca: una herramienta para el manejo de ecosistemas. *Centro de Ciencias de la Atmósfera*, 1-5. Obtenido de <http://observatoriometeorologico.filos.unam.mx/files/2016/10/LA-RELACION-ENTRE-EL-INDICE-NORMALIZADO-DE-VEGETACION-Y-LA-VARIABILIDAD-DEL-CLIMA-EN-OAXACA.pdf>
- Gomez, L. (2017). La relación entre el índice normalizado de vegetación y la variabilidad del clima en Oaxaca: una herramienta para el manejo de ecosistemas. *Centro de Ciencias de la Atmósfera*, 1-5. Obtenido de <http://observatoriometeorologico.filos.unam.mx/files/2016/10/LA-RELACION-ENTRE-EL-INDICE-NORMALIZADO-DE-VEGETACION-Y-LA-VARIABILIDAD-DEL-CLIMA-EN-OAXACA.pdf>
- Gonzalez, F. (2015). *Manual introductorio ArcGis 10.2*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/50837/>
- Gonzaga, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ*, 30-41. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/43/41>
- Gonzales, A., Alvarez, P., & Aguirre, Z. (2016). *Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentía de la cuenca del río Catamayo*. Loja: Cedamaz.
- Gonzales, J. (2009). *Manual Básico SPSS: Manual de introducción a SPSS*. Chile: Universidad de Talca Centro de Inserción Laboral Programa Jóvenes Profesionales. Obtenido de https://www.fibao.es/media/uploads/manual_basico_spss_universidad_de_talca.pdf
- Hagolle, O., Huc, M., Villa, D., & Dedieu, G. (2015). Un método multitemporal y multiespectral para estimar el espesor óptico de aerosoles sobre tierra, para la corrección atmosférica de imágenes de FormoSat-2, LandSat, VENUS y Sentinel-2. *MDPI*, 2668-2691. doi:<https://doi.org/10.3390/rs70302668>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGrawHill. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Horton, N., & Kleinman, K. (2015). *Using R and RStudio for Data Management, Statistical Analysis, and Graphics*. Boston: Taylor Francis. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=W1G3BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=R+y+Rstudio&ots=X2hqr9FoM2&sig=nXTJCKkp1cWAEX0WlpzOBfXxWAM#v=onepage&q=R%20y%20Rstudio&f=false>
- Hou, W., Gao, J., Wu, S., & Dai, E. (2015). Interannual Variations in Growing-Season NDVI and Its Correlation with Climate Variables in the Southwestern Karst Region of China. *Remote Sens*, 11105-11124. doi:10.3390/rs70911105

- Huartman, B., & Chadwick, B. (2016). *The effects of check dams and other erosion control structures on the restoration of Andean bofedal ecosystems*. Restoration Ecology.
- Huerta-Olague, J., Oropeza, J., & Guevara, R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *IDESIA (Chile)*, 153-162.
- Ibáñez, A. (2019). *Análisis de los beneficios ambientales y sociales generados en la cuenca del Río Salitre con el programa de reforestación en el periodo 2016-2019*. Colombia: Universidad católica de Manizales. Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2693/Johan%20Manuel%20Cardona%20Moreno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IDEAM. (2011). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM.
- INEI. (2017). *REDATAM*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática: <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- INGEMMET. (24 de Octubre de 2015). *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*. Obtenido de https://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/tecnicas_tl
- INGEMMET. (2018). *Taller Internacional Fortalecimiento de capacidades para mitigar los impactos de huacos en Perú, Lima y Arequipa, Perú, 15-19 octubre 2018 : Libro de Resúmenes*. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Obtenido de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico: <http://51.79.70.226/handle/20.500.12544/1937>
- IPCC. (2018). *Glosario: Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Estados Unidos: Cambridge University. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- Ismael, C., Gregorio, M., Mamani, F., & Solíz, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014. *Scielo*.
- Jumbo, F. (2015). Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA. *Scielo*, 81-97. doi:https://issuu.com/unigis_latina/docs/jumbo
- Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., & Ryu, Y. (2015). Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *ScienceDirect*, 298-313. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.004>
- Komperda, R. (2017). Análisis de datos de encuestas tipo Likert con R y RStudio. *ACS Publications*, 91-116. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-2017-1260.ch007>
- Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*. Mexico: Semarnat. Obtenido de <https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2017/12/agua-y-clima.pdf>
- Lao, B., & Pelaez, D. (2018). La teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para el manejo de las tierras. *Scielo*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542018000100006
- Leal, J. (2015). *Incidencia del cambio climático de las coberturas vegetales en la distribución de los deslizamientos en la cuenca del río Combeima*. Colombia: Universidad de Tolima. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63601140/Leal_201520200611-47686-wnmh8c.pdf?1591908112=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIncidencia_del_cambio_de_las_coberturas.pdf&Expires=1599439094&Signature=CWRct9PSP58zUThqqIRE6FGxU2M6xzxhlf3cgg
- Legarda, L., & Viveros, M. (1996). La importancia de la hidrología en el manejo de cuencas hidrográficas. *Ciencias Agrícolas*, 33-51. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6191602#:~:text=La%20hidrolog%C3%A1fica%20aporta%20los%20elementos,ordenamiento%20de%20las%20cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.>
- Linares, J., Sarria, R., & Camarero, J. (2012). *Efectos de las tendencias climáticas y la degradación del hábitat sobre el decaimiento de los cedrales (Cedrus atlantica) del norte de Marruecos*. España: Ecosistemas.

- Lira, J. (2011). La percepción remota. *Research Gate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/268512981>
- Lizama, P., & Boccardo, G. (2014). *Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS)*. Chile: Universidad de Chile Facultad de Ciencias Sociales (FACSO) Departamento de Sociología.
- Lopez, A., Fuentes, C., & Gonzales, E. (2017). Pérdidas por intercepción de la vegetación y su efecto en la relación intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la lluvia en una cuenca semiárida. *SciELO*, 37-56. doi: 10.24850/j-tyca-2017-04-03
- Loro, M. (2012). *Calculo de una cuenca vertiente apartir de un DTM*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/19455/1/C%C3%A1lculo_de_cuenca_vertiente_con_ArcGIS._Por_Manuel_Loro_%282012%29._License_Creative_Commons.pdf
- Loveland, T., & Irons, J. (2016). Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. *ScienceDirect*, 1-6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.033>
- Lozano-Parra, J., Lozano, C., & Pulido, M. (2018). *El papel del agua sobre la biomasa vegetal en la zona semiárida con clima*. Chile: Revista de Geografía Norte Grande.
- Maggi, A., & Di Ferdinando, M. (2016). Efecto del fenómeno ENOS en la respuesta del NDVI de la estepa arbustiva de *Parastrephia* sp. de la laguna de Pozuelos usando imágenes Modis. *Universidad de Buenos Aires-Facultad de Agronomía*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43462217/Efecto_del_fenmeno_ENOS_en_la_respuesta_20160307-23171-1uf33pb.pdf?1457363580=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEfecto_del_fenomeno_ENOS_en_la_respuesta.pdf&Expires=1599405536&Signature=aEts4
- Maggi, A., & Ponienman, K. (2017). *Cambio de la cobertura vegetal, precipitaciones y degradación de las tierras*. Facultad de Agronomía.
- Maldonado, J., Alatorre, L., & Torres, M. (2015). Análisis de las tendencias del NDVI con imágenes satelitales en Cuauhtémoc, Chihuahua (2000-2014). *ResearchGate*, 1-7. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/302510079_Analisis_de_las_tendencias_del_NDVI_con_imagenes_satelitales_en_Cuauhtemoc_Chihuahua_2000-2014
- Manchego, M. (2017). *Variabilidad espacio temporal de la vegetación en la cuenca Quilca-Chili durante el periodo 2005-2015*. Arequipa: Tesis.
- Manzano, F., & Velazquez, G. (2015). La Evolución de las Ciudades Intermedias en la Argentina. *GEUERJ*. doi: 10.12957/geouerj.2015.18859
- Martin, J., & Buill, F. (2015). Evolución temporal de la vegetación en el Sahel mediante el NDVI y su relación con la precipitación en el periodo 1983-2012. *Tesis doctoral*, 1-174.
- Martinez. (2014). *Técnicas e instrumentos de recogida y análisis de datos*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia. Obtenido de <https://acortar.link/Fe6Fj>
- Martinez, E. (2015). *Análisis multitemporal de la cubierta forestal del Parque Natural*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=buuFDwAAQBAJ&pg=PA71&dq=análisis+multitemporal&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjmyfXMv9brAhXbInIEHWiSC5MQ6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=análisis%20multitemporal&f=false>
- Martínez, J., Aguade, D., Banque, M., & Barba, J. (2012). *Las poblaciones ibéricas de pino albar ante el cambio climático: con la muerte en los talones*. España: Ecosistemas.
- Maza, C. (2009). *Clasificación y Análisis de la Cobertura Vegetal sobre la Subcuenca Zamora Huayco - Cantón Loja*. San Cayetano Alto. Obtenido de https://www.academia.edu/27275604/UTPL_Maza_Chamba_Cristian_Vicente_1009103_MODELO_DE_TESIS
- Meera, G., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *ScienceDirect*, 1199-1210. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>

- Mendoza , M., Salas , R., & Barboza, E. (2017). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 67-76. doi:10.25127/indes.201502.008
- Mieza, S., Kovac, F., & Martínez, D. (2012). Imágenes satelitales y aéreas en aplicaciones sitio específicas. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318710942_Imagenes_satelitales_y_aereas_en_aplicaciones_sitio_especificas
- MINAGRI. (2009). *Aprueban regalmento de clasificacion de tierras por su capacidad de uso mayor: Decreto Supremo N°017-2009-AG*. Lima: El Peruano. doi:http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Tacna/Memoria_Descriptiva_Suelos.pdf
- MINAGRI. (2012). *Delimitacion y codificacion de unidades hidrograficas del Peru*. Lima: Direccion de conservacion y planeacion de los recursos hidricos.
- MINAGRI. (2014). *El Suelo y la cobertura vegetal*. Lima: Ministerio de agricultura y riego. Obtenido de http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/suelo_cobertura.pdf
- MINAGRI. (2018). *Manual tecnico: metodologia para clasificacion de coberturas a partir del procesamiento de imagenes satelitales*. Peru: Biblioteca nacional del Peru. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Manual-de-procesamiento-de-imagenes-satelite-ENVI.pdf>
- MINAM. (2010). *El Peru y el cambio climatico*. Lima: Ministerio del Ambiente. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc2s.pdf>
- MINAM. (2014). *Protocolo: Ortorectificación de Imágenes Satelitales Landsat*. Lima-Peru: Ministerio del Ambiente.
- MINAM. (2015). Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. *Ministerio del Ambiente*, 10-31. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: Memoria descriptiva*. Lima: Ministerio del Ambiente. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>
- MINAM. (16 de Noviembre de 2017). *GDEM Aster*. Obtenido de Mapa de cobertura de imagen Aster para el Peru: http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx
- MINAM. (2018). *Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC)*. Lima: Ministerio del Ambiente. Obtenido de http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/127/2018/12/Informe-final-GTM-NDC_v17dic18.pdf
- MINAM. (2020). *Dialoguemos sobre las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC)*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/dialoguemosndc/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al cambio climático. *Ministerio de Obras Públicas*, 10-15. Obtenido de <http://www.dgop.cl/Documents/PlanAccionMop.pdf>
- Moncada, W., Masias, M., & Pereda, A. (2015). Cuantificación hidrográfica de la cuenca del río Cachi-Ayacucho, mediante imágenes satelitales. *Kuntur*, 80-90.
- Morales, F. (2019). Actividad humana e impacto ambiental. *International Journal of Good Conscience*, 1-14. Obtenido de [http://www.spentamexico.org/v14-n2/A8.14\(2\)131-144.pdf](http://www.spentamexico.org/v14-n2/A8.14(2)131-144.pdf)
- Muños, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*. Chile: Centro de Información de Recursos Naturales.
- MVCS. (28 de Agosto de 2020). *Observatorio Urbano*. Obtenido de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: <http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/curbano.php>
- Navarro, S. (2018). *Apuntes de estadísticas con SPSS*. Nicaragua. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2018/05/estadc3adstica-para-no-estadc3adsticos.pdf>

- Nina, J. (2015). *Cambios de la cobertura del suelo en la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca en relación a la temperatura y precipitación*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/517/M-21645.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nina, J. (2015). *Cambios de la cobertura del suelo en la reserva nacional salinas y aguada blanca Arequipa, Moquegua - Perú, en relación a la variación de la temperatura y precipitación durante el periodo 1986-2010*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/517>
- Olivares, B. (2010). Características de interés agrícola de la precipitación en la agricultura de secano. *Research Gate*, 24-27. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/316437106_Caracteristicas_de_interes_agricola_de_la_precipitacion_en_la_agricultura_de_secano
- Olivo, A. (2017). *Clasificación de la vegetación del karst de Sierra de las Nieves utilizando imágenes Landsat*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Fondo de Población de las Naciones Unidas*. Obtenido de Fondo de Población de las Naciones Unidas: <https://www.unfpa.org/es/data/world-population/PE>
- Ovando, G., Bocco, M., & Sayago, S. (2014). *Evaluación del contenido hídrico del suelo en la región central de Córdoba a partir de imágenes Landsat*. Argentina: Congreso Argentino de AgroInformática.
- Pabon, J., & Cavajal, A. (2014). Temperatura de la superficie terrestre en diferentes tipos de cobertura de la region andina colombiana. *Universidad Nacional de Colombia*, 95-113.
- Palacios. (2018). *Relación entre la urbanización e islas de calor urbano por análisis espectral-temporal del Distrito de San Juan de Lurigancho*. Lima.
- Palacios. (2018). *Relación entre la urbanización e islas de calor urbano por análisis espectral-temporal del Distrito de San Juan de Lurigancho, 2018*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Palacios, J., Zárate, R., Minaya, R., Martín, M., & Benavides, J. (2019). Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumentode áreas urbanas en Iquitos, Perú. *ResearchGate*, 7(1), 37-50. doi:<http://dx.doi.org/10.22386/ca.v7i1.263>
- Palacios, J., Zárate, R., Minaya, R., Martín, M., & Benavides, J. (2020). Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumentode áreas urbanas en Iquitos, Perú. *ResearchGate*, 7(1), 37-50. doi:<http://dx.doi.org/10.22386/ca.v7i1.263>
- Palacios, L., Paz, F., Oropeza, J., Figueroa, B., Martínez, M., Ortiz, C., & Exebio, A. (2018). Corrector atmosférico en imágenes Landsat. *SciELO*. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.232>
- Pauca, A., Ramos, C., Luque, C., Talavera, C., Villasante, J., Quispe, J., & Villegas L. (2020). Análisis espacio temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el periodo 1986-2016. *Teledeteccion*, 105-118. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/147174/Pauca-Tanco?sequence=1>
- Perez, C., & Muñoz, A. (2006). *Teledeteccion: Nociones y aplicaciones*. España: Universidad de Salamanca. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=SfrGxbO1DT0C&printsec=frontcover&dq=teledeteccion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiX6KCBndbrAhXjH7kGHfgAD3AQ6AEwAXoECAUQAg#v=onepage&q=teledeteccion&f=false>
- Perez, R. (2015). Analisis de la dinamica temporal de la cobertura vegetal y su relacion con la variabilidad en la precipitacion en el municipio de Juarez. *Memorias de resúmenes en extenso SELPER-XXI*, 1-6. Obtenido de <http://selper.org.mx/images/Memorias2015/assets/m018.pdf>
- Pizarro, R., Ramirez, C., & Flores, J. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en periodos extremos. *SciELO*. doi:10.4067/S0717-92002003000300003
- PNUD. (2018). *Retos y oportunidades en la conservación de las lomas de Lima Metropolitana*. Lima: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- polk, M., Young, K., & Baraer M. (2017). *Explorando las conexiones hidrológicas entre los humedales de las montañas tropicales y la recesión de los glaciares en la Cordillera Blanca de Perú*. Peru.
- Pucha, F. (2019). Correlación entre el NDVI y el crecimiento anual de especies forestales al Sur del Ecuador. *Research Gate*, 1-76. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/337089939>
- Pucha, F., Fries, A., Cánovas, F., Oñate, F., & Pucha, D. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Kindle. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=XOIsDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=arcgis&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwju3Jn1j9jrAhUoGLkGHUPfA2sQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=arcgis&f=false>
- Qgis y sus aplicaciones en agua y en gestion del riesgo*. (2020). Mexico: s.
- Quispe, M. (2019). *Deforestacion en el distrito de Luyando periodo 2001-2011 y 2011-2018*. Tingo Maria: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Obtenido de <https://portal.unas.edu.pe/sites/default/files/epirnr/DEFORESTACION%20EN%20EL%20DISTRITO%20DE%20LUYANDO%20C%20PERIODO%202001-2011%20Y%202011-2018.pdf>
- Ramírez, M., & Pértile, V. (2017). Crecimiento poblacional, expansión urbana y cambio de usos de suelo en ciudades intermedias de la provincia del Chaco, Argentina. El caso de Juan José Castelli. *Geografía*. Obtenido de <http://ojs2.fch.unicen.edu.ar:8080/ojs-3.1.0/index.php/estudios-socioterritoriales/article/view/289>
- Rebollar, A., & Campos, W. (2015). Correlación entre Actividades de Interacción Social Registradas con Nuevas Tecnologías y el grado de Aislamiento Social en los Adultos Mayores. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*. doi:<https://doi.org/10.17488/RMIB.36.3.4>
- Redondo, N., Brenes, G., Agudelo, M., Guidotti, C., Romero, D., & Sandoval, M. (2018). *Notas de Población N° 106*. Santiago: CEPAL. Obtenido de <https://cutt.ly/efs0kgw>
- Restrepo, L., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. *revista colombiana de ciencias pecuarias*, 1-11. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023034010.pdf>
- Rezende, A., Carneiro, R., Campos, L., & Mauad, F. (2018). Definición de niveles de conservación ambiental considerando la actividad antrópica en el área protegida de la cuenca del río Uberaba. *Scielo*. doi:<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2279>
- Riaño, D., Salas, J., & Chuvieco, M. (2000). Corrección Atmosférica y Topográfica, Información Multitemporal y Auxiliar Aplicadas a la Cartografía de Modelos de Combustibles con Imágenes Landsat-TM. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*, 222-239. Obtenido de http://tig.age-geografia.es/docs/IX_2/Riano_David.PDF
- Rivas-Tovar, L. (2016). *Capítulo 8. Tipos de hipótesis o preguntas de investigación*. Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/299820295_Capitulo_8_Tipos_de_hipotesis_o_preguntas_de_investigacion
- Rodriguez, E. (2019). *Manual de prácticas de laboratorio para el procesamiento de imágenes de satélite*. Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16682/MateriaI%20Did%C3%A1ctico.pdf?sequence=3>
- Romero-Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 35-45.
- Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTIC*, 13-41. Obtenido de http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf
- Sahagún, F., & Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006
- Salvador, T., Reyes, M., Castañeda, M., & Alberich, E. (2019). Experimentación reducida-controlada in situ del deslizamiento de suelo por efecto de flujo subsuperficial de agua. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 2-12. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v20n3/1405-7743-iit-20-03-e026.pdf>

- Sánchez, L., & Reyes, O. (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf;jsessionid=5FCE4A72AA74E906A9AF68ECC6E28F5C?sequence=1
- SENAMHI. (2013). *Caracterización hidroclimática de la cuenca del río Chicama*. Cajamarca: Dirección General de Cajamarca. Obtenido de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/SENAMHI/Caracterizacion%20hidroclimatica,%20Cuenca%20Rio%20Chicama.pdf>
- SENAMHI. (2017). *Eventos hidrogeológicos extremos en la Amazonia Peruana*. Lima: Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú. Obtenido de http://snirh.ana.gob.pe/vamazonia/Reportes/2017_08_Reporte_Agosto.pdf
- SENAMHI. (2019). *Orientación para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático*. Lima: Nota Técnica N° 001-2019/SENAMHI/DMA. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-12.pdf>
- SERFOR. (2017). *Mapa de vulnerabilidad de ecosistemas y hábitats críticos frente al cambio climático de la amazonia peruana*. Lima: Seinnova.
- Serrato, P. (2018). Conceptos básicos de interpretación de aerofotografías e imágenes satelitales. *ResearchGate*, 1-21. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/329075501>
- Siddiqui, A., Siddiqui, A., Maithani, S., Jha, A., Kumar, P., & Srivastav, S. (2018). Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA Markov and Logistic Regression. *ScienceDirect*, 229-236. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.006>
- Sierra, G., Flores, P., & Pérez, C. (2018). Vulnerabilidad, Resiliencia y Ordenamiento Territorial. *ResearchGate*, 717-750. Obtenido de <https://cutt.ly/9fs0lbS>
- Sobrino, J., Muñoz, J., & Paolin, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.
- Sobrino, J., Raissouni, N., Oliso, A., Lopez, M., Kharraz, M., & Dempere, L. (2000). *Teledetección*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Soledad, V., Benedetti, G., & Campo, A. (2015). Climate-vegetation relationship: adaptations of jarillal community to the semiarid climate. Lihué Calel National Park, province of La Pampa, Argentina. *Science Direct*, 33-44. Obtenido de doi:doi.org/10.14350/rig.48033
- Soledad, V., Benedetti, G., & Campo, A. (2015). *Relación clima-vegetación: adaptaciones de la comunidad del jarillal al clima semiárido, Parque Nacional Lihué Calel*. Argentina: Investigaciones Geográficas.
- Solman, S. (2011). Actividad humana y cambio climático. *Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera*, 14-17.
- Sun, J., & Qin, X. (2016). La precipitación y la temperatura regulan los cambios estacionales del NDVI en la meseta tibetana. *SpringerLink*, 75(291), 3-9. doi:<https://doi.org/10.1007/s12665-015-5177-x>
- Tapia, M. (2013). *Diagnóstico de los ecosistemas de montañas en el Perú*. Arequipa.
- Trujillo, R. (2019). *Respuesta del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) a la actividad antrópica, variabilidad climática y ambiental en bosque de encino*. Mexico: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. Obtenido de <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/5006/TMIPICYTT7R42019.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Trujillo, R. (2019). Respuesta del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) a la actividad antrópica, variabilidad climática y ambiental en bosque de encino. *Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*, 1-103. Obtenido de <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/5006/TMIPICYTT7R42019.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- UNESCO. (2006). *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe*. Uruguay: UNESCO. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000228113&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_b77e8

- f33-e7fe-4cd2-9e1f-0822557c1bd6%3F_%3D228113spa.pdf&locale=es&multi=true&ark=/ark:/48223/p
- UNODC. (2020). *Monitoreo de cultivos de Amapola*. Mexico: Oficina de las Naciones Unidas. Obtenido de <https://acortar.link/wVzdu>
- USGS. (2011). *Landsat 7 Science Data Users Handbook Landsat 7 Science Data Users Handbook*. National Aeronautics and Space Administration.
- USGS. (07 de Febrero de 2019). *Misiones Landsat*. Obtenido de Misiones de satélite Landsat: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con
- Valencia, J., & Tobon, C. (2017). Influencia de la vegetación en el funcionamiento hidrológico de cuencas de humedales de alta montaña tropical. *Ecosistemas*, 26(2), 10-21. doi:<https://www.redalyc.org/pdf/540/54052460002.pdf>
- Vargas, R., Colonia, D., & Loarte, E. (2016). *Diagnostico de la situacion actual en el glaciar Sullcon*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Villalba, R., & Bruzzone, O. (2017). Dinámica espacio-temporal de la relación entre el clima y el funcionamiento de los ecosistemas en Patagonia Norte. *Repositorio Institucional CONICET Digital*, 1-200. Obtenido de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/79967>
- Wang, Z., Zhang, X., Tao, Y., Meng, L., Shi, P., Zu, J., & Niu, B. (2018). Respuestas del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) a los cambios de precipitación en los pastizales de la meseta tibetana de 2000 a 2015. *Europe PCM*, 29(1), 75-83. doi:10.13287/j.1001-9332.201801.014

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Registro de Imágenes Satelitales

DATOS GENERALES	
TÍTULO:	
FECHA:	
IMÁGENES SATELITALES	
DATOS DE LA PROYECCIÓN	1984-2016
Código	
Fecha de toma	
Zona UTM	
Elevación	
Azimut	
Fecha de adquisición	
Tiempo del centro de la escena	

Fuente: (Rodríguez & Rubianes, 2019)

Anexo 2. Registro de precipitación

DATOS GENERALES		
TÍTULO:		
FECHA:		
DATOS DE PRECIPITACION		
AÑO	PRECIPITACION	UBICACION
1984 - 2016		

Fuente: (Rodríguez & Rubianes, 2019)

Anexo 3. Registro de la cuantificación de variables

"EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA DEL RIMAC MEDIANTE EL NDVI Y SU RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN EN EL PERIODO 1984-2016"		
AÑO	1984neva - 2016	
DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDIDA
Cobertura vegetal	Área	Kilómetros cuadrados
	Variación de cambio	Kilómetros cuadrados
Precipitación	Precipitación mensual	mm/mes x km2

Fuente: (Prado, 2017)

Anexo 4. Código para extraer los datos de precipitación del producto grillado PISCO Versión 2.1

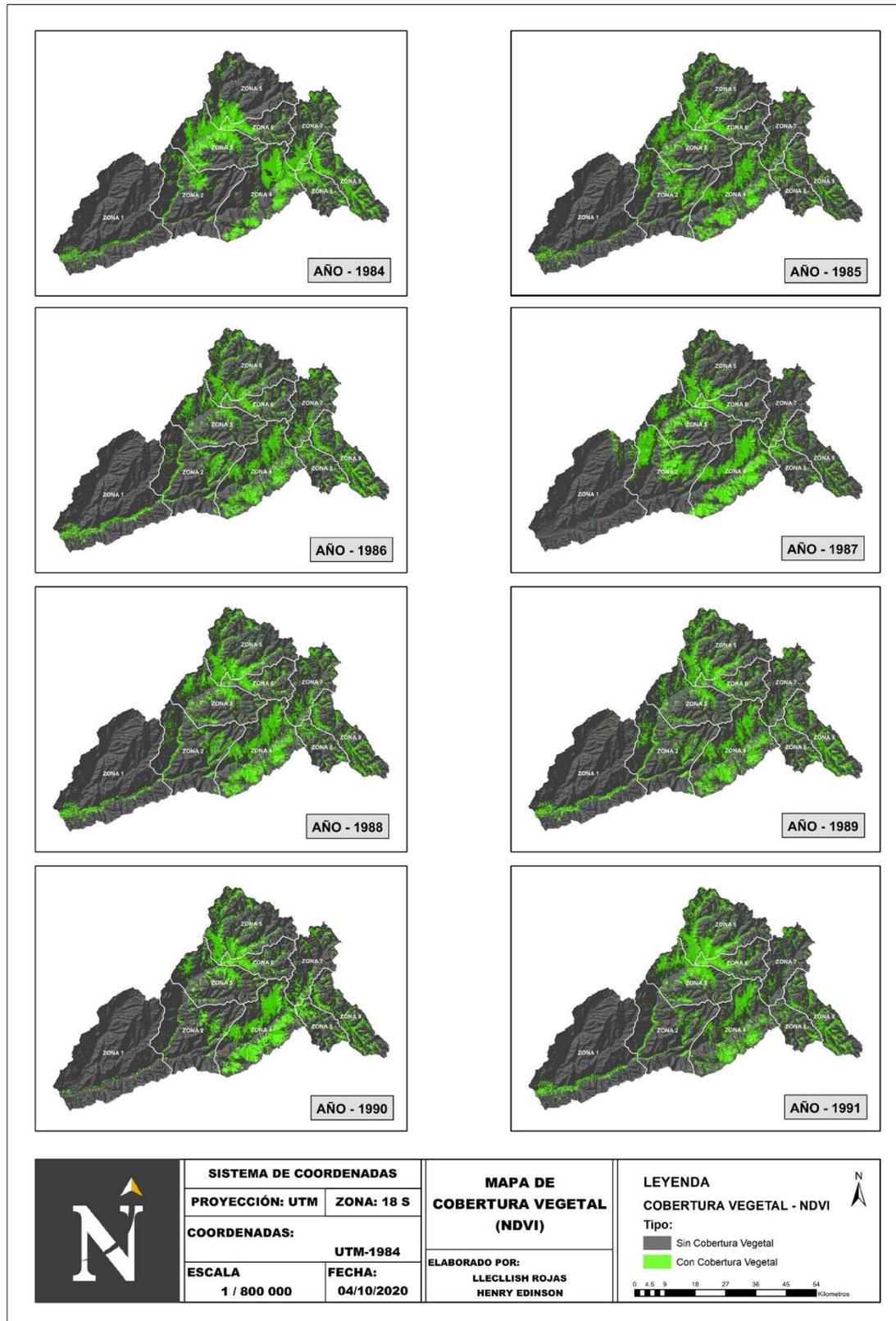
```

## Leer puntos de estaciones de datos PISCO de prec a partir de
# puntos de estaciones que estan almacenados en un archivo *.csv
# Autores: Adrian Huerta & Waldo Lavado
setwd("D:/pisco")# Esta es la ruta de la carpeta donde esta Pisco
# y deben estar el archivo *.csv con los puntos a extraer
# ojo que es / no \
# Descargar datos PISCO de: http://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones
# En la parte inferior ir a la carpeta Datos SONICS (DESCARGAS)
# bajar de preferencia los datos de la carpeta PISCO_v2.0
#ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO_v2.0/ ## PISCO_Pd_v2.0 son diarios y
# PISCO_Pm_v2.0 son mensuales
# Este ejemplo es para los datos mensuales PISCOpm.nc
rm(list = ls())
library(raster)#cargar el paquete
library(ncdf4)#cargar el paquete
## Leer el archivo long_lat.csv (ver el archivo ejemplo)
## para agregar solo disminuya o incremente las coordenadas de las filas
## XX Longitud e YY Latitud
long_lat <- read.csv("long_lat.csv", header = T)
### Ensamblamos los datos *.nc
raster_pp <- raster::brick("PISCOpm.nc")
## Asignamos las coordenadas
sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY
# Igualamos las proyecciones del raster y de los puntos a extraer
raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)
# Extraemos los valores
points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]
data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat])
colnames(data_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)
# Guardamos los datos como "data_long_lat.csv" Ud puede cambiar el nombre
# Las filas son los datos mensuales en este caso y las columnas son los puntos
seleccionados
# Ojo que el orden esta de acuerdo al archivo long_lat.csv, de la columna NN
write.csv(data_long_lat, "datao_rstudio.csv", quote = F)

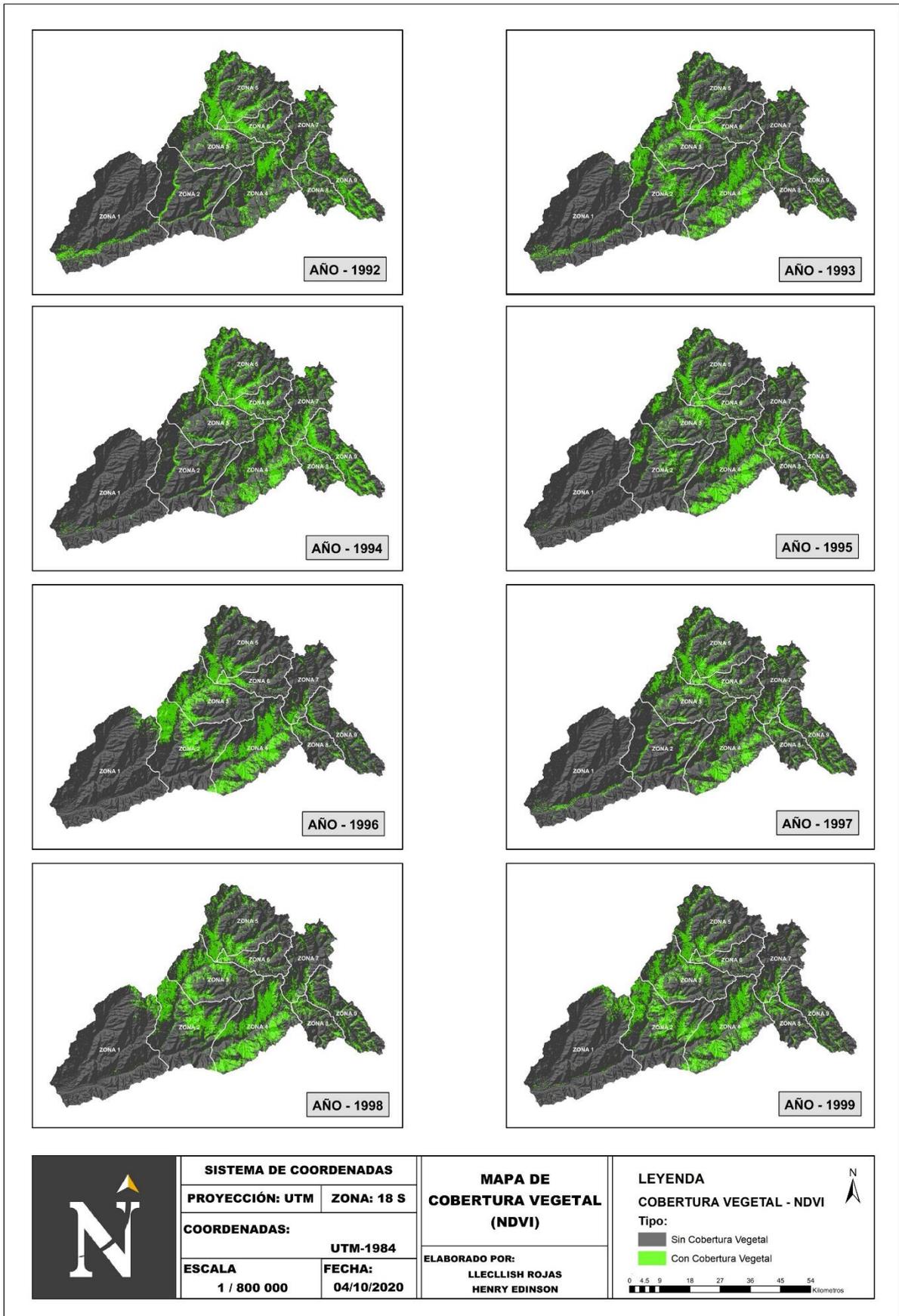
```

Este código es la entrada más importante en el programa R y RStudio, ya que permite extraer la información del producto PISCO, para este estudio fue precipitación mensual para el periodo de análisis (1984-2016), indicar que esta codificación fue suministrada por el SENAMHI.

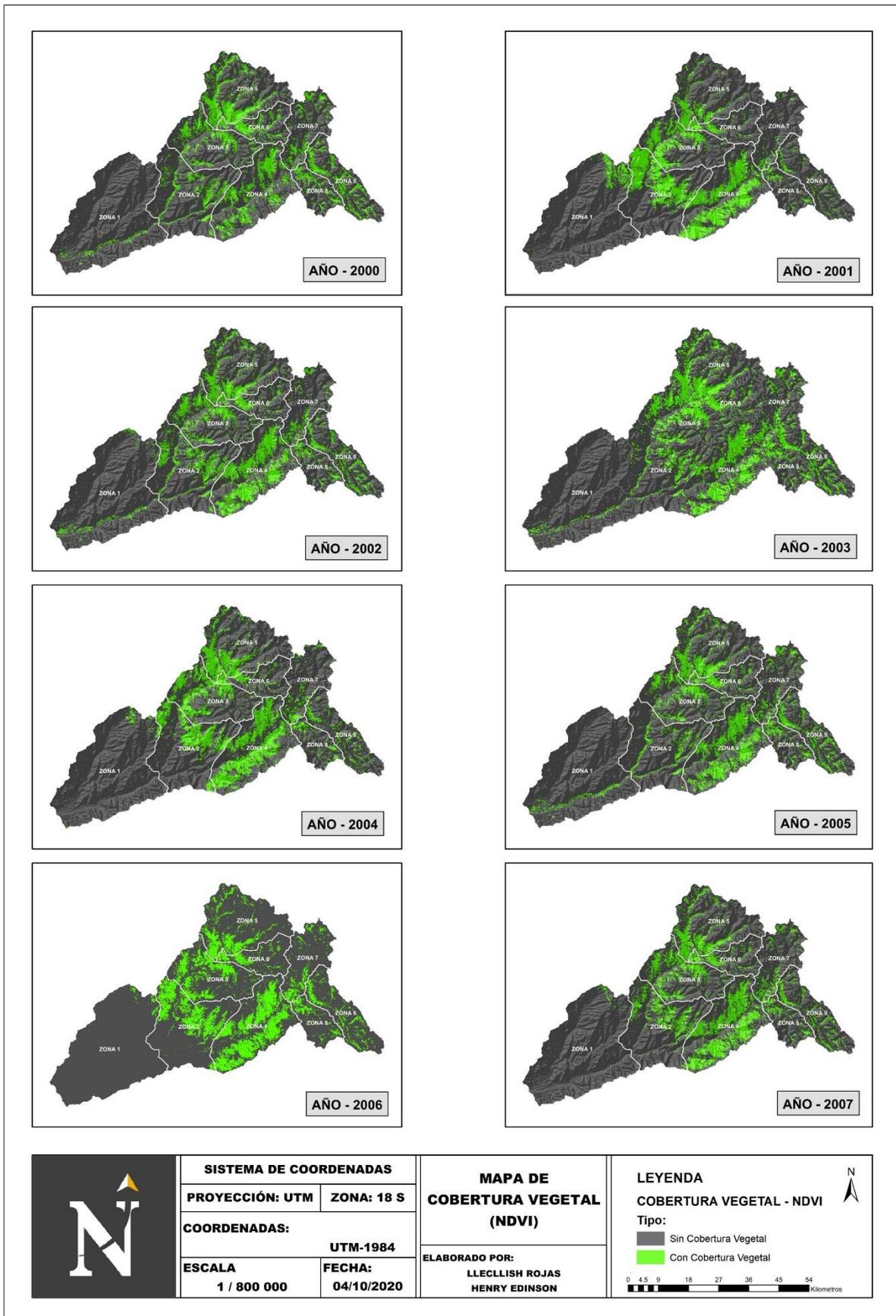
Anexo 5. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 1984 hasta 1991



Anexo 6. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 1992 hasta 1999



Anexo 7. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 2000 hasta 2007



Anexo 8. Cobertura vegetal de la cuenca del Rímac de forma anual desde 2008 hasta 2016

