



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geográfica

**Estimación de la variabilidad espacio temporal de la
cobertura vegetal por la expansión urbana en la Loma
de Carabaylo**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

AUTORES

Diego Andrés GALLARDO ARÉVALO

Raúl Eliseo MONTES CORRALES

ASESOR

Mg. Walter Aparicio ARÉVALO GÓME

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Gallardo, D. & Montes, R. (2021). Estimación de la variabilidad espacio temporal de la cobertura vegetal por la expansión urbana en la Loma de Carabayllo. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geográfica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Raúl Eliseo Montes Corrales.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44919860
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7824-8597
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Diego Andrés Gallardo Arévalo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47221843
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7582-144X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Walter Aparicio Arévalo Gómez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09050786
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5738-7942
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Luis Quispe Vílchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08119070
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Jorge Espinoza Eche

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06184372
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Luis Alberto Huamán Amasifuen
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	43322204
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.3.25. Tecnología de información y aplicaciones de sistemas
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distritos: Carabayllo, Puente Piedra y Ancón Latitud: -11.799909 Longitud: -77.063650
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2017 – noviembre 2021
URL de disciplinas OCDE	Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.00.00 Ingeniería, Tecnología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00 Geografía social, Geografía económica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.00.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO

Usando la plataforma virtual de Google Meet de la Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el día martes 30 de noviembre del año 2021, siendo las 11:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Ing. JOSÉ LUIS QUISPE VÍLCHEZ
Mg. JOSÉ JORGE ESPINOZA ECHE
Ing. LUIS ALBERTO HUAMÁN AMASIFUEN

Presidente
Miembro
Miembro

Reunidos en Acto Académico virtual Público de Sustentación de la Tesis titulada: “**ESTIMACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL POR LA EXPANSIÓN URBANA EN LA LOMA DE CARABAYLLO**” Presentada por los Bachilleres **DIEGO ANDRÉS GALLARDO ARÉVALO y RAÚL ELISEO MONTES CORRALES**, para optar el Título Profesional de Ingenieros Geógrafos.

Expuesta la Tesis; los miembros del Jurado plantearon a los Bachilleres las preguntas pertinentes, que fueron absueltas a:

SATISFACCIÓN

Concluida la sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar la calidad y sustentación en secreto, cuyo calificativo fue:

DIECISÉIS (16), APROBADO CON MENCIÓN HONROSA

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO, a Don **DIEGO ANDRÉS GALLARDO ARÉVALO y RAÚL ELISEO MONTES CORRALES**.

Siendo las **12:45** horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis, firmadas por el Jurado Calificador.

Lima, 30 de noviembre del 2021


Ing. JOSÉ LUIS QUISPE VÍLCHEZ
PRESIDENTE


Mg. JOSÉ JORGE ESPINOZA ECHE
MIEMBRO


Ing. LUIS ALBERTO HUAMÁN AMASIFUEN
MIEMBRO


Dr. WALTER APARICIO ARÉVALO GÓMEZ
ASESOR DE TESIS

*A mi querido padre Ángel, por ser mi principal
maestro y a mi querida madre Sonia por el
respaldo en cada momento.*

A mi querida Lorena, por su apoyo incondicional.

A mi familia por su preocupación constante.

*A mis tíos Jesús y Oscar, por sus buenos
consejos hacia mi vida profesional, cuyos
recuerdos siempre guardaré en mi memoria.*

Diego Gallardo.

A Dios por bendecirme cada día

*A mis padres Florentín Raúl Montes y Emma
Adelinda Corrales por todo el amor y el apoyo
que me brindan.*

A mi familia por su compañía y comprensión.

*A los profesores de la especialización que
compartieron cada uno de sus conocimientos y
experiencias para nuestra formación.*

Raúl Montes.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a nuestro asesor Mg. Walter Arévalo por todo el tiempo y conocimiento brindado para que nuestra investigación cumpla con la calidad que nuestra profesión amerita. Así mismo, agradecerle por los años compartidos dentro de la E.A.P. Ingeniería Geográfica.

A nuestros estimados jurados: Ing. Luis Huamán, Ing. José Espinoza e Ing. José Quispe, gracias a sus aportes y sugerencias pudimos concluir nuestra investigación de la mejor forma posible, sus experiencias compartidas fueron determinantes para la presente investigación.

A la Ing. Merly Chang por su apoyo profesional, cuya información brindada nos permitió realizar la investigación. Agradecerle, también, la exigencia en el transcurso de la investigación.

A nuestro amigo el Ing. Jean Asencios por su apoyo técnico profesional en el campo de la teledetección y el sistema de información geográfica.

Al Geóg. Primo De La Cruz, por compartir con nosotros sus investigaciones valiosas que nos sirvieron de guía y referencia; agradecerle profundamente por los años brindados; cuya amistad y recuerdos siempre llevaremos en nuestros corazones.

Nuestros más profundos agradecimientos a toda la comunidad dedicada al cuidado de las lomas, que su dedicación y divulgación crezca para lograr conservar estos ecosistemas.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE GENERAL	6
LISTA DE CUADROS	11
LISTA DE GRÁFICOS.....	12
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE FOTOS	14
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	15
RESUMEN	16
SUMMARY	17
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Situación Problemática	18
1.2. Formulación del Problema.....	18
1.2.1. Problema General	18
1.2.2. Problemas Específicos.....	18
1.3. Justificación de la Investigación	19
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes de investigación	20
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes Internacionales.....	21
2.2. Bases Teóricas	24
2.2.1. Expansión Urbana.....	24
2.2.2. Cobertura Vegetal	25
2.3. Marco Conceptual	25
2.3.1. Lomas costeras.....	25
2.3.1.1. Características de las lomas costeras	25
2.3.1.2. Factores que influyen en las lomas	27
2.3.1.3. Principales lomas de la costa de Perú y Chile	28
2.3.1.4. El Niño en las lomas costeras y su influencia.....	29

2.3.1.5.	Importancia de las lomas costeras	30
2.3.2.	Cobertura vegetal.....	31
2.3.3.	Expansión urbana	32
2.3.3.1.	La expansión urbana y la periferia	32
2.3.3.2.	La expansión urbana y la migración	32
2.3.3.3.	La expansión urbana y el mercado de tierras	33
2.3.4.	Teledetección	33
2.3.4.1.	Fundamentos Físicos de la Teledetección	34
2.3.4.2.	Radiación electromagnética	35
2.3.4.3.	El espectro electromagnético.....	35
2.3.4.4.	Características de la vegetación en el espectro óptico	36
2.3.4.5.	Características del suelo en el espectro óptico	37
2.3.4.6.	Comportamiento espectral de la vegetación en el infrarrojo término 37	37
2.3.4.7.	Comportamiento del suelo y agua en el dominio térmico	38
2.3.4.8.	El efecto de la atmósfera con la radiación electromagnética.....	38
2.3.4.9.	Imágenes satelitales.....	39
2.3.4.10.	Análisis multitemporal	39
2.3.4.11.	Preprocesamiento de imágenes satelitales.....	40
2.3.4.12.	Correcciones geométricas – georreferenciación	41
2.3.4.13.	Correcciones radiométricas	41
2.3.4.14.	Cálculo de reflectividades	41
2.3.4.15.	Correcciones topográficas	41
2.3.4.16.	Índices de vegetación	42
2.3.4.17.	Definición del intervalo de tiempo entre imágenes.....	44
2.3.5.	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	44
2.3.6.	Loma de Carabayllo	45
2.3.7.	Variabilidad Espaciotemporal	46
2.3.8.	Tecnologías de Información geográficas	46
2.3.9.	Estimación de la fase de la tasa anual de cambio	46
CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES		48
3.1.	Hipótesis General	48
3.2.	Hipótesis Específicas.....	48
3.3.	Identificación y Operacionalización de las Variables	48
3.4.	Matriz de Consistencia.....	49

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	50
4.1. Tipo de Investigación	50
4.2. Nivel de Investigación y Enfoque	50
4.3. Diseño de Investigación.....	50
4.4. Unidad de Análisis.....	50
4.5. Técnica	51
4.6. Instrumentos.....	51
4.7. Población de Estudio	51
CAPÍTULO 5: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	52
5.1. Ubicación geográfica y caracterización del área de estudio.....	52
5.2. Medio físico.....	54
5.2.1. Clima	54
5.2.2. Meteorología.....	54
5.2.2.1. Temperatura.....	54
5.2.2.2. Precipitaciones.....	55
5.2.2.3. Humedad Relativa	56
5.2.2.4. Nubosidad o neblina	57
5.2.2.5. Vientos	58
5.2.3. Geología	60
5.2.4. Geomorfología	61
5.2.5. Topografía	63
5.2.6. Hidrología	64
5.2.7. Zonas de vida	65
5.2.8. Suelos	66
5.3. Aspectos socioeconómicos	67
5.3.1. Demografía	67
5.3.1.1. Población por grupos especiales de edad	67
5.3.1.2. Régimen de tenencia de vivienda.....	68
5.3.1.3. Situación actual	69
CAPITULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
6.1. Clasificación de flora de la cobertura vegetal	71
6.1.1. Técnicas de Recolección de datos para la flora	71
6.1.2. Análisis e interpretación de la información	72
6.1.3. Resultados.....	72

6.1.4. Discusión.....	73
6.2. Determinar la variación multitemporal de la cobertura vegetal y la expansión urbana.	73
6.2.1. Procesamiento digital de imágenes satelitales.....	73
6.2.1.1. Selección imágenes	73
6.2.1.2. Definición del intervalo de tiempo entre imágenes.....	75
6.2.1.3. Esquema de procesamiento de imágenes en el ENVI.....	76
6.2.2. Muestras de campo.....	77
6.2.3. Procedimiento de la clasificación de NDVI	78
6.2.4. Validación de clasificación.....	78
6.2.5. Variación de la superficie de la cobertura vegetal frente la expansión urbana	79
6.2.5.1. Análisis multitemporal	79
6.2.5.2. Matrices de transición.....	82
6.2.6. Resultados.....	84
6.2.7. Discusión.....	87
6.3. Estimación de la variación de la superficie de cobertura vegetal y la expansión urbana para un periodo de 10 años.....	88
6.3.1. Estimación de la fase de la tasa anual de cambio	88
6.3.2. Determinación la tasa de cambio.....	89
6.3.3. Resultados.....	90
6.3.4. Discusión.....	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS.....	100
Anexo 1	100
Puntos de control que muestran la presencia abundante de vegetación y su respectivo valore de NDVI.....	100
Anexo 2.....	102
Fotografías del trabajo de campo para la verificación de la información	102
Anexo 3.....	109
Procedimiento técnico	109

Anexo 4.....	112
Lista de imágenes satelitales descargadas.....	112

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Intensidad y año del fenómeno El Niño.....	30
Cuadro 2. Operacionalización de Variables	48
Cuadro 3. Matriz de Consistencia.....	49
Cuadro 4. Delimitación de coordenadas.....	52
Cuadro 5. Unidades Litoestratigráficas	60
Cuadro 6. Descripción del suelo Puente Piedra.....	66
Cuadro 7. Población por grupo de edad y sexo.....	68
Cuadro 8. Población Económicamente Activa por condición de sexo y ocupación.....	68
Cuadro 9. Relación de ecosistemas frágiles	70
Cuadro 10. Evaluación de la flora.....	71
Cuadro 11. Clasificación de la flora	72
Cuadro 12. Datos de imágenes del sensor TM del satélite Landsat – 5, Path / Row: 008/067	74
Cuadro 13. Características de las imágenes Landsat-5 TM descargadas de la USGS.....	74
Cuadro 14. Matriz de cambio de uso de suelo-1995	83
Cuadro 15. Matriz de cambio de uso de suelo-2004	83
Cuadro 16. Matriz de cambio de uso de suelo-2008	83
Cuadro 17. Matriz de cambio de uso de suelo-2010	83
Cuadro 18. Matriz de cambio de uso de suelo-2017	84
Cuadro 19. Evolución de la cobertura vegetal y expansión urbana.....	85
Cuadro 20. Resumen	85
Cuadro 21. Determinación de la Tasa de Cambio para la Cobertura Vegetal	90
Cuadro 22. Determinación de la Tasa de Cambio para la Expansión Urbana	90
Cuadro 23. Estimación de la Variación de la Superficie de la Cobertura Vegetal	91
Cuadro 24. Estimación de la Variación de la Superficie de la Expansión Urbana	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Promedio anual temperatura máxima y mínima	55
Gráfico 2. Precipitación Media Anual registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez	55
Gráfico 3. Total de días con lluvia anual registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez	56
Gráfico 4. Promedio Anual de Humedad Relativa registrado en la Estación meteorológica Jorge Chávez	57
Gráfico 5. Promedio Mensual de Humedad Relativa registrado en la Estación meteorológica Jorge Chávez	57
Gráfico 6. Total de días con niebla anual registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez	58
Gráfico 7. Promedio anual de velocidad del viento registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez	59
Gráfico 8. Punto de muestreo	78
Gráfico 9. Estimación de la fase de la tasa anual de cambio.....	89
Gráfico 10. Estimación de la Variación de la Superficie de la Cobertura Vegetal	91
Gráfico 11. Estimación de la Variación de la Superficie de la Expansión Urbana	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Patrón climático bipolar de la costa peruana y formación de lomas	26
Figura 2. Techo de inversión térmica.....	28
Figura 3. Principales Lomas de Perú y Chile.....	29
Figura 4. Captación y almacenamiento del agua de neblinas.....	31
Figura 5. Mecanismo de obtención del agua almacenada en el suelo por la vegetación	31
Figura 6. Componentes de un sistema de teledetección	34
Figura 7. División del espectro electromagnético	36
Figura 8. Factores que modifican la signatura espectral	37
Figura 9. Ubicación de la Loma de Carabayllo.....	53
Figura 10. Rosa de vientos CA-01	59
Figura 11. Geología de la Loma de Carabayllo.....	61
Figura 12. Modelo digital de elevación de la Loma de Carabayllo	62
Figura 13. Topografía de la Loma de Carabayllo	63
Figura 14. Vías y acceso a la Loma de Carabayllo.....	64
Figura 15. Hidrografía de la Loma de Carabayllo.....	65
Figura 16. Ubicación de la Loma de Carabayllo.....	73
Figura 17. Puntos de muestreo de campo.....	77
Figura 18. Cobertura vegetal.....	79
Figura 19. Evolución anual de la superficie de lomas	80
Figura 20. Cobertura vegetal.....	81
Figura 21. Mapa de expansión urbana	82
Figura 22. Mapa de cobertura vegetal potencial	86
Figura 23. Mapa de expansión urbana frente a la cobertura vegetal potencial	87

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Asentamientos humanos informales.....	102
Foto 2. Tráfico y venta de terrenos	102
Foto 3. Validación en campo.....	103
Foto 4. Problemas de jurisdicción.....	103
Foto 5. Cementerio de Zapallal	104
Foto 6. Punto de control número 5.....	104
Foto 7. Punto de control número 7.....	105
Foto 8. Punto de control número 15.....	105
Foto 9. Punto de control número 18.....	106
Foto 10. Punto de control número 20.....	106
Foto 11. Punto de control número 31.....	107
Foto 12. Punto de control número 34.....	107
Foto 13. Punto de control número 37.....	108

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ENSO: El Niño-Oscilación del Sur.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura.

MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Riego.

NDVI: Índice de vegetación por diferencia normalizada.

NIR: Infrarrojo cercano

OU: Otros Usos.

PTP: Protección y Tratamiento Paisajista.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Sernanp: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.

SIG: Sistema de información geográfica.

UAV: Vehículo aéreo no tripulado.

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos.

RESUMEN

La Loma de Carabayllo forma parte de las lomas costeras, ecosistemas endémicos que se encuentran únicamente en Perú y Chile y que en nuestro país vienen siendo severamente afectados por la expansión urbana que impacta negativamente en ellas, reduciendo significativamente la superficie de cobertura vegetal de estas y amenazando su existencia misma.

La presente investigación determinó la relación entre el aumento de la expansión urbana y la reducción de la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo. Para esto se hizo uso de las tecnologías de información geográfica realizando un análisis multitemporal de imágenes satelitales provistas por la Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desde el año 1986 hasta el 2017 con un intervalo no mayor a 10 años entre ellas, verificando la reducción progresiva de la cobertura vegetal en el área de estudio mediante el análisis del índice de vegetación por diferencia normalizada (NDVI), así como la aparición de la expansión urbana y cómo esta se superpone con la superficie de cobertura vegetal potencial.

Además del análisis multitemporal se estimó la tasa anual de cambio para la extensión de la cobertura vegetal y la expansión urbana de acuerdo con la ecuación utilizada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO,1996), los resultados muestran una disminución total de la cobertura vegetal potencial total para el año 2017 debido a la expansión urbana. Se realizó también una estimación del impacto 10 años a futuro (2017 – 2027) por medio del cálculo de la variación de la superficie de la cobertura vegetal y la expansión urbana. Los resultados muestran que la cobertura vegetal potencial se reduce al 2027 debido a un incremento de la expansión urbana.

De lo anteriormente expuesto queda claro que la expansión urbana impacta negativamente en la cobertura vegetal, por lo que es necesario tomar medidas adecuadas si se desea preservar el ecosistema de Loma de Carabayllo.

Palabras clave: Loma de Carabayllo, expansión urbana, cobertura vegetal, ecosistema, análisis multitemporal, imágenes satelitales.

SUMMARY

Loma de Carabayllo is part of the coastal lomas system, endemic ecosystems that are only found in Peru and Chile and that in our country have been severely affected by urban sprawl that negatively impacts them, significantly reducing the surface of vegetation cover of these and threatening its very existence.

The present investigation determined the relationship between the increase in urban sprawl and the reduction of the vegetation cover of Loma de Carabayllo. For this, geographic information technologies were used by performing a multitemporal analysis of satellite imagery provided by the USGS from 1986 to 2017 with an interval of no more than 10 years between them, verifying the progressive reduction of vegetation cover in the study area by calculating the NDVI, as well as the appearance of urban sprawl and how this overlaps the potential vegetation cover area.

In addition to the multitemporal analysis, the annual rate of change for vegetation cover and urban sprawl was estimated according to the equation used by FAO (1996), the results show a total decrease in total potential vegetation cover for the year 2017 due to urban sprawl. An estimate of the impact 10 years into the future (2017 - 2027) was also made by calculating the variation in the surface of the vegetation cover and urban sprawl. The results show that potential vegetation cover is reduced by 2027 due to an increase in urban sprawl.

From the foregoing, urban sprawl has a negative impact on vegetation cover, so it is necessary to take appropriate measures if Loma de Carabayllo ecosystem is to be preserved.

Keywords: Loma de Carabayllo, urban sprawl, vegetation cover, ecosystem, multitemporal analysis, satellite imagery.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

La Loma de Carabayllo forma parte de los ecosistemas de lomas, estacionales y característicos de la costa, y que desarrollan flora endémica en la zona de las laderas orientadas hacia el océano que se abastecen de agua proveniente de nieblas. Las lomas son consideradas ecosistemas frágiles por su alta vulnerabilidad y poca capacidad de recuperación por lo que el impacto antrópico de pequeña y mediana escala en la Loma de Carabayllo conllevaría a la desaparición parcial o total de esta.

Una de las principales causas de origen antrópico que afectarían a la Loma de Carabayllo es la expansión urbana, fenómeno que se encuentra creciendo actualmente dentro de su superficie. Esto afectaría no solo las zonas cubiertas actualmente de vegetación sino también a la superficie potencial de vegetación, afectando su ecosistema y poniendo en peligro su flora y fauna silvestre, siendo las zonas cubiertas por casco urbano irrecuperables.

En este sentido es necesario contar con investigaciones que correlacionen el efecto de la expansión urbana en la cobertura vegetal de lomas para medir y encontrar soluciones al fenómeno de expansión urbana en estos ecosistemas frágiles.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo se ha visto afectada por la expansión urbana?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo determinar la clasificación de la flora en la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo?
- b) ¿Cuál ha sido la variación multitemporal de la superficie de cobertura vegetal y de expansión urbana de la Loma de Carabayllo?

- c) ¿En qué porcentaje variarán las superficies de cobertura vegetal y expansión urbana en la Loma de Carabayllo, para un periodo de 10 años?

1.3. Justificación de la Investigación

La presente investigación se enfoca en estudiar la variabilidad espacio-temporal de la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo; ya que esta se estaría viendo alterada por la expansión urbana local. En la investigación se utilizaron técnicas de tecnología de información geográfica que permitieron un aporte científico en la recopilación, procesamiento y resultados de la información. Las conclusiones de la presente investigación ofrecerán un panorama general acerca de cómo la expansión urbana afectaría el ecosistema de la Loma de Carabayllo, sirviendo como punto de partida a estudios posteriores que podrían ahondar más en el análisis de la problemática y sus posibles soluciones, así como ayudando a la concientización de la población local.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estimar de qué manera la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo se ha visto afectada por la expansión urbana.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Realizar la clasificación de la flora de la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo.
- b) Determinar la variación multitemporal de la cobertura vegetal y la expansión urbana dentro de la Loma de Carabayllo.
- c) Realizar una estimación de la variación de las superficies de cobertura vegetal y expansión urbana en el ecosistema de Loma de Carabayllo, para un periodo de 10 años.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La importancia de la Loma de Carabayllo suele ser ignorada por los pobladores de la zona al mismo tiempo que su problemática dejada de lado por las autoridades, debido a ello, actualmente existen pocos estudios e investigaciones que demuestren la pérdida de cobertura vegetal o que se apoyen en un sistema de información geográfica (SIG) de las lomas que sirva para determinar el impacto sobre la expansión urbana en la Loma de Carabayllo. A continuación, se presentan algunos antecedentes con afinidad a la presente investigación.

2.1.1. Antecedentes Nacionales

(del Castillo Ruiz, 2016), en su tesis “Estudio de la variación espacio - temporal de la comunidad vegetal de Las Lomas de Carabayllo (Lima, Perú) durante el 2013 como contribución a su gestión” realiza una evaluación de la cobertura vegetal mediante transectos, describiendo la variación de la diversidad y de la cobertura de las principales poblaciones y correlacionando estas con variables ambientales. (del Castillo Ruiz, 2016) propone dos herramientas de gestión: un mapa de sensibilidad biológica y un programa de monitoreo. El mapa de sensibilidad biológica determinó la importancia y sensibilidad de las quebradas en estas lomas, mientras que el programa de monitoreo mostró niveles aceptables de confiabilidad.

(Gálvez Paredes, 2019), en su tesis “Impacto de la expansión urbana sobre las lomas costeras del Perú” establece que en las lomas costeras, particularmente las lomas de lúcumo, ocurre este problema hídrico debido al descontrolado crecimiento urbano, demandando en mayor cantidad este recurso, contaminando cada vez más el acuífero de la cuenca del río Lurín por la intrusión marina, de esta manera se reducen los servicios ecosistémicos que las lomas brindan, disminuyendo, a su vez, los beneficios percibidos por las poblaciones residentes. Finalmente se concluye que el impacto de la expansión urbana impide brindar los

servicios básicos de saneamiento a la población, así como ser la causante del deterioro ambiental de las lomas costeras del Perú.

(Miyasiro López & Ortiz Huamaní, 2016), en su tesis “Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014)” estimó la zona potencial para cubrirse con vegetación de lomas, debido a que estas son ecosistemas estacionales cuya extensión no es fija, varía año tras año y dentro de una misma temporada. El análisis de verdor realizado mediante el índice de vegetación por diferencia normalizada de imágenes satelitales ópticas disponibles determinó dos superficies con potencial de cubrirse de vegetación denominadas “normal” y “extraordinaria”. A partir de estas superficies estimadas, mediante la realización de un análisis multitemporal de imágenes satelitales ópticas y fotografías aéreas en el período 1986-2014, utilizando sensores remotos, técnicas de sistemas de información geográfica se calculó su variación ante la invasión de terrenos y ampliación de los componentes mineros, cuyos resultados entre los años 1986 y 2014 demuestran una acelerada disminución para las lomas normal y extraordinaria, respectivamente.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

(Orjuela López, 2016), en su “Estudio multitemporal por pérdida de la cobertura vegetal debido a la expansión urbana en la localidad de Engativá occidente de Bogotá mediante imágenes de satélite 1998-2014” realizó un análisis multitemporal utilizando técnicas de teledetección, con el objetivo de determinar las tendencias de cambio de la cobertura vegetal y el uso del suelo en el periodo comprendido entre 1998 y 2014. Para esta labor fueron utilizadas imágenes satelitales de la ciudad de Bogotá, tomadas en los periodos de tiempo definidos, las cuales fueron interpretadas utilizando las técnicas de procesamiento digital de imágenes. Como resultado final se obtuvieron las respectivas figuras donde se logró identificar las coberturas presentes en cada periodo estudiado.

(García Estarrón, 2008), en su investigación “El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua” realizó un análisis de la sustitución de las áreas naturales por las de uso urbano en Ciudad Juárez y sus zonas aledañas, con el fin de conocer el proceso de crecimiento de este asentamiento urbano y su relación con los cambios de uso de suelo y vegetación. Para esto, tomó como base el proyecto Análisis detallado de la dinámica de los cambios en el municipio de Juárez, Chihuahua, elaborado por José Reyes Díaz-Gallegos; las matrices de Markov y la cartografía de distribución de cambios de uso de suelo y vegetación proporcionadas por el trabajo de Díaz-Gallegos, que permitieron identificar una dinámica de cambios de uso en los límites de la mancha urbana, que ha creado un espacio conflictivo y suburbano que provoca serios conflictos ambientales relativos a la calidad de vida y pérdida de nichos ambientales entremezclados en el paisaje rural y urbano.

(Astudillo Jara, 2020), en su tesis “Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo e identificación de la fragmentación del paisaje mediante técnicas de percepción remota en el peri-urbano de la ciudad Cuenca” realizó el preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI/TIRS, posteriormente efectuó la clasificación supervisada mediante un análisis espectral. Todos los resultados obtenidos fueron validados mediante el índice Kappa y un análisis de campo. Posteriormente realizó el análisis de métricas del paisaje e índices de fragmentación para identificar las categorías dentro de la zona urbana y periurbana que han sido mayormente afectadas. Por último, realizó la proyección espaciotemporal de los cambios en la cobertura, uso de suelo y fragmentación de paisaje para los años 2030 y 2050 identificando que efectivamente la ciudad Cuenca se está propagando hacia las periferias a causa de la gran expansión urbana provocada principalmente por el crecimiento poblacional.

(Bazant S., 2001), hace un análisis demográfico de la expansión urbana de México del siglo pasado, nos demuestra que la incapacidad institucional y las defectuosas leyes contribuyen negativamente al

desarrollo de las urbes, teniendo como resultado un comportamiento anárquico de las mismas. Su estudio realiza un análisis del marco legal, utiliza datos estadísticos y censales, a su vez, hace referencias bibliográficas y planes de desarrollo urbano.

(Bazant S., 2001) hace referencia a que existen factores que influyen en la dinámica social en el suelo urbano como corrientes migratorias por estímulos macroeconómicos. Finalmente, concluye que la urbe es la plataforma donde se desarrollan distintas actividades y si se piensa en regular el suelo urbano, se tendría que incidir directamente en esas actividades.

(Gudynas, 2000), elabora un estudio de los sistemas ambientales periurbanos de la ciudad de Montevideo sobre la costa del Río de la Plata en Uruguay. Para este estudio se necesitaron los siguientes instrumentos de recolección: fotografías aéreas y mapas topográficos multitemporales, informes de viajeros, bibliografía, datos de censos nacionales, entrevistas y trabajo de campo.

(Gudynas, 2000) nos describe la geomorfología de las costas adyacentes a Montevideo, luego hace una reseña histórica de la modificación del terreno gracias a diversos procesos antrópicos en el lugar.

El estudio exhorta que es necesario tener un concepto de naturaleza para lograr una adecuada gestión urbana y planificación territorial, de igual manera, conocer las condiciones que requiere cada ecosistema para ser modificada. Finalmente, la Naturaleza debe ser el sujeto de políticas ambientales y regionales para su adecuada artificialización.

(Moschella Miloslavich, 2012) nos muestra en su investigación un análisis del impacto que genera el crecimiento urbano de Lima y Callao frente a los Humedales de Ventanilla y Humedales de Puerto Viejo.

Para comprender la variación de la extensión de humedales y las zonas urbanas se hizo uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas multitemporales que, sumado al trabajo de campo, generaron

cartografías que fueron integrados en un sistema de información geográfico.

(Moschella Miloslavich, 2012) concluye que los humedales de Ventanilla y Puerto Viejo han sufrido impactos negativos debido a la expansión urbana generando la reducción de su extensión y fragmentación, por ende, afecta negativamente en distintas especies de flora y fauna de dichos ecosistemas.

(Nieuwland & Mamani, 2017) Realizan un estudio de las lomas de Lima, definiéndolas como oasis de neblinas y verdor en medio del desierto. Los autores resaltan la importancia ambiental de las lomas para la ciudad de Lima metropolitana, generando un desafío ambiental y urbanístico; mostrándonos una perspectiva geo-urbanística del ecosistema.

(Sotomayor Melo & Jiménez Milón, 2008) diseñan una metodología con la finalidad de generar un análisis entre las condiciones meteorológicas y dinámica vegetal del ecosistema costero de lomas de Atiquipa. En este estudio elaboran un listado de especies encontradas mediante parcelas en distintos tiempos y luego lo comparan con las condiciones meteorológicas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Expansión Urbana

La expansión urbana es un fenómeno que afecta a las ciudades emergentes de gran crecimiento y poco control territorial; se caracteriza por ocupar espacios destinados a otros tipos de uso, en su mayoría carecen de criterios técnicos para establecerse ocasionando diseños ineficientes de calles y vías; y un bajo valor estético. Por su escasa planificación las expansiones urbanas no están conectadas a un sistema integral de transporte, volviéndose dependientes de transportes personales y/o informales; a su vez, carecen de instalaciones necesarias para el desarrollo óptimo de una ciudad.

2.2.2. Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal es la superficie terrestre recubierta por vegetación de forma natural o por acción humana, agrupa una gran biomasa y diversidad de especies. La cobertura vegetal en las lomas se caracteriza por ser endémicas y estacionales; depende de la humedad proveniente de las nieblas, esta cobertura vegetal sirve de hábitat estacional para diversos animales que se sirven de esta. En ecosistemas de lomas el comportamiento de la cobertura vegetal es escasa y dispersa en la mayor parte del año, a excepción de los meses comprendidos entre mayo y octubre.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Lomas costeras

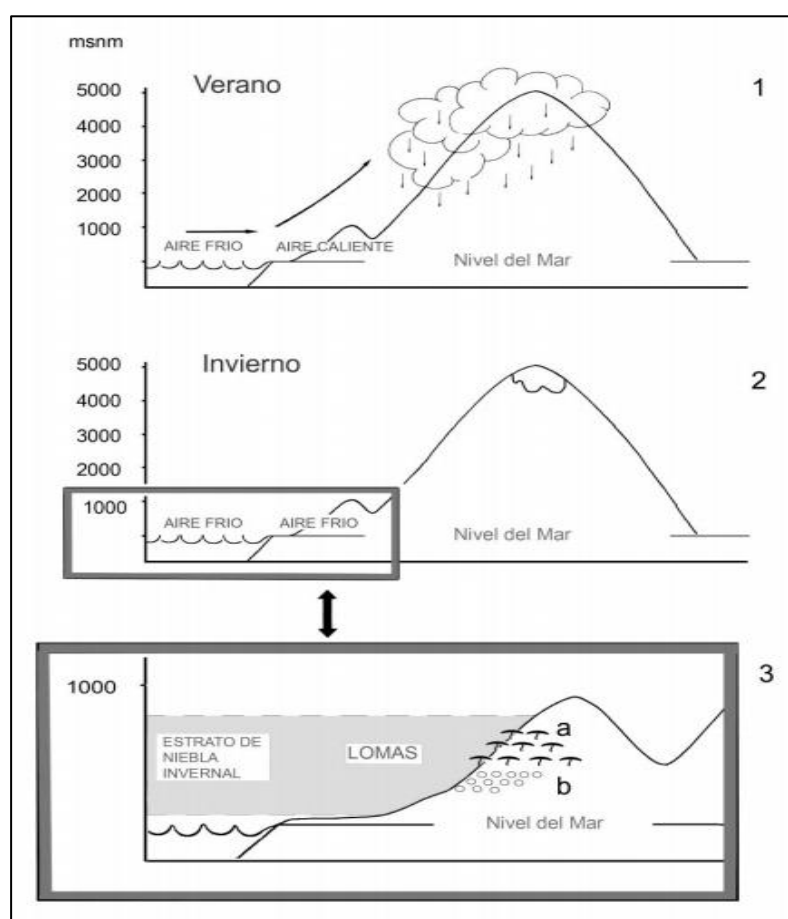
Las lomas costeras son ecosistemas únicos en el mundo y característicos de la costa de Perú y Chile, se extienden desde Illescas (Dpto. de Piura, a 6° L. S.) hasta el norte de Chile (30° L. S.), presentándose en forma más intensa entre los 8° y 18° L. S. (Rundel et al., 1991). Las lomas presentan una combinación de árboles, arbustos y hierbas con características especiales debido a la habilidad de captar el agua a partir de la neblina, lo que les permite crecer en un ambiente que de otro modo es inhóspito (Sotomayor Melo & Milón Jiménez, 2008)

2.3.1.1. Características de las lomas costeras

Las lomas costeras tienen características particulares que determinan su condición de ecosistema. Las presencias de neblinas provenientes del mar hidratan a las lomas proporcionándole agua a la flora y fauna endógena, estas neblinas parten desde los 0 m.s.n.m hasta los 1000 m.s.n.m debido a la inversión térmica, por lo tanto, a una mayor altura no hay presencia de vegetación sobre las laderas de lomas. La flora y fauna tiene un desarrollo temporal y cíclico que va desde mayo a octubre. El relieve topográfico influye en el ecosistema de lomas, gracias a su elevación puede concentrar mayor humedad.

Durante el invierno la humedad relativa está por encima del 80 %, llegando al 100 %, lo que produce la precipitación del agua en forma de fina lluvia, conocida como garúa. Las precipitaciones están entre 40 y 100 mm/año, cantidad significativamente superior a la del desierto que rodea las lomas. En las laderas ubicadas entre los 400 y 600 msnm las neblinas son más frecuentes y la precipitación puede llegar hasta los 400 mm. Cuando existen paredes rocosas y vegetación arbórea, las neblinas se condensan más, por el efecto de intercepción, y al pie de los árboles la precipitación puede llegar a los 500 mm. Esto permite el desarrollo de una vegetación más tupida y la formación de manantiales u ojos de agua (Brack & Mendiola, n.d.)

Figura 1. Patrón climático bipolar de la costa peruana y formación de lomas



Fuente. (Reynel et al., 2013)

2.3.1.2. Factores que influyen en las lomas

Tenemos cuatro factores fundamentales que influyen en la existencia de lomas:

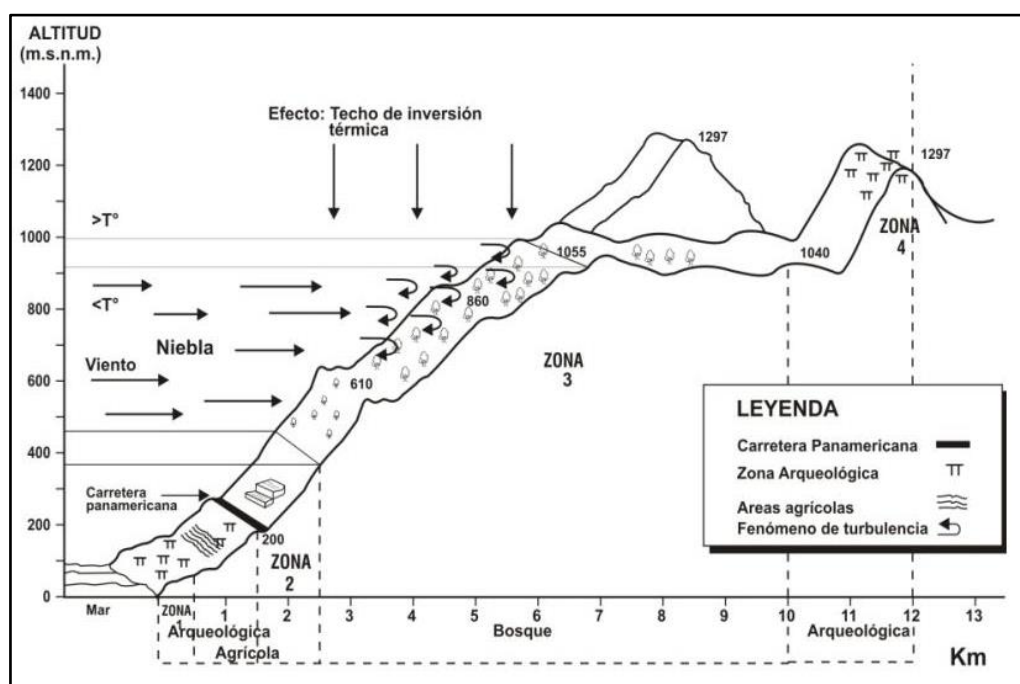
- a) **La Corriente del Niño:** Es una corriente marina de aguas cálidas que viaja en dirección noroeste – sureste por el océano Pacífico, originándose en el Ecuador y desplazándose posteriormente por las costas de Perú. Esta corriente tiene un efecto inverso a la corriente de Humboldt que es de aguas frías. Debido a su naturaleza más calida (temperaturas mayores a 21°) provoca una mayor evaporación marítima lo que se traduce en lluvias más intensas cerca de la costa norte dónde se origina. En relación con esta corriente suele presentarse una anomalía de ciclo errático en el que estas corrientes se prolongan más hacia el sur de lo habitual, ocasionando cambios climáticos significativos en la costa a este fenómeno se le denomina se le denomina “Fenómeno de El Niño”. (Velásquez Espinoza, 2013).

- b) **El Anticiclón del Pacífico Sur:** Los anticiclones son masas de aire de alta presión atmosférica. En el caso del Anticiclón del Pacífico Sur las masas de aire que lo componen circulan en dirección sur – norte recogiendo la humedad producto de la evaporación marítima en las costas de Perú y Chile reteniéndola a nivel de la superficie y luego esparciéndola por todo el litoral. (Velásquez Espinoza, 2013).

- c) **La Cordillera de los Andes:** Es la cadena montañosa que atraviesa el país de manera longitudinal, extendiéndose verticalmente hasta casi los límites de la tropósfera lo cual la convierte en una división natural de las dos masas de aire tropicales principales. Debido a esto la cordillera impide el ingreso de las masas de aire húmedo del Atlántico hacia el Pacífico, ocasionando que el flanco oriental presente lluvias intensas en contraste con el flanco occidental que casi carece de precipitaciones (Velásquez Espinoza, 2013).

- d) **La Corriente de Humboldt:** Es una corriente marina de aguas frías que afora desde las profundidades del mar hasta la superficie de esta y que circula en dirección sur –norte originándose en Chile y desplazándose a lo largo de sus costas y las de Perú. Debido a lo frías de sus aguas limita la precipitación lo cual determina las características propias del clima de la costa peruana (Velásquez Espinoza, 2013).

Figura 2. Techo de inversión térmica

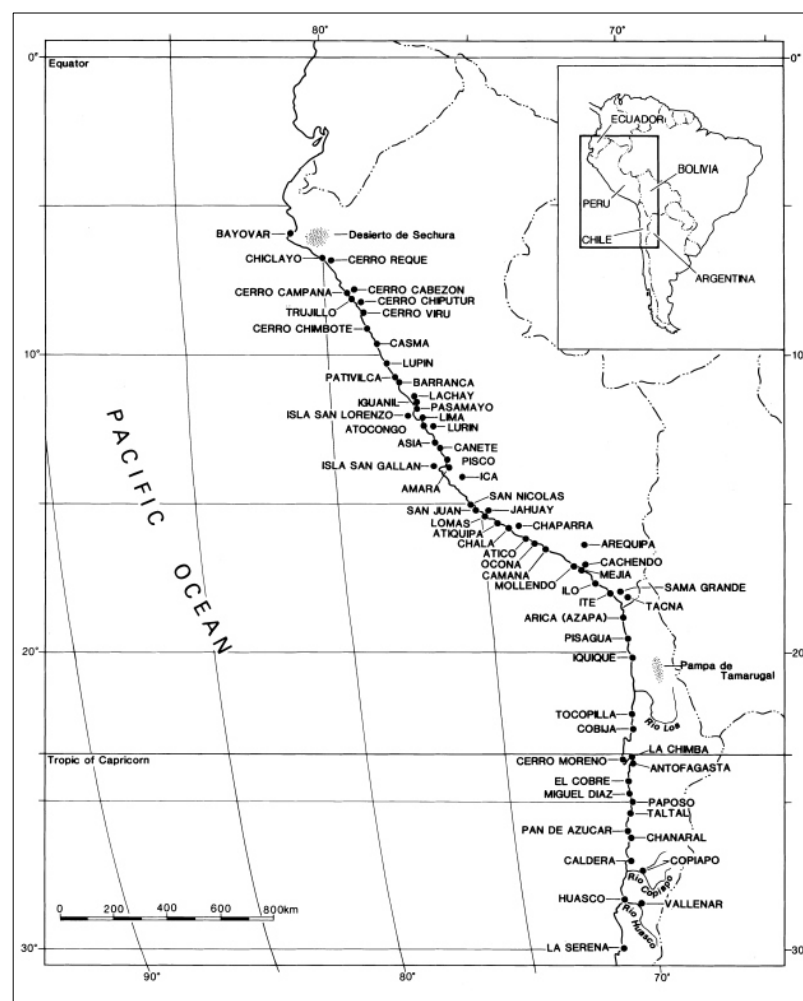


Fuente. (Talavera D., n.d.)

2.3.1.3. Principales lomas de la costa de Perú y Chile

Las principales lomas se encuentran en el desierto de la costa de Perú y Chile, están limitadas por el este con la Cordillera de los Andes y por el oeste con el Océano Pacífico, básicamente comparten características similares en gran parte de su extensión. Se encuentran distribuidos desde Illescas a 6° latitud sur (departamento de Piura) hasta la zona norte de Chile a 30° latitud sur. Las lomas se presentan de manera más intensas entre los 8° y 18° latitud sur (Brack & Mendiola, n.d.).

Figura 3. Principales Lomas de Perú y Chile



Fuente: (Dillon, 2014).

2.3.1.4. El Niño en las lomas costeras y su influencia

El ecosistema de lomas es influenciado por las variaciones climáticas y cíclicas, siendo el fenómeno El Niño (ENSO) uno de ellos. El fenómeno El Niño se desarrolla por el incremento de la temperatura del mar debido a que las aguas cálidas de la Corriente del Niño desplazan a las corrientes frías, generando mayor evaporación, que sumado a los débiles vientos ocasionan mayor precipitación en las zonas áridas, estimulando la germinación de vegetales en los ecosistemas de lomas. Cada evento del Niño se da de distintas intensidades como: extraordinaria, moderada y débil (catalogado por el SENAMHI), históricamente la costa peruana se ha visto afectado por fenómenos extraordinarios como los ocurrido en los años 1925, 1982-1983, 1997-

1998; moderadas ocurridos en los años 2002-2003 y 2009-2010; y débiles en los años 2004-2005 y 2006-2007.

El desarrollo histórico se resume en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Intensidad y año del fenómeno El Niño

AÑO	INTENSIDAD
1925	Extraordinaria
1982-1983	Extraordinaria
1997-1998	Extraordinaria
2002-2003	Moderada
2004-2005	Débil
2006-2007	Débil
2009-2010	Moderada

Fuente. Senamhi (2014).

2.3.1.5. Importancia de las lomas costeras

Las Lomas costeras debido a que son “islas de vegetación” en el desierto, han tenido gran importancia económica y ambiental, ya que proporcionaban leña, forraje y madera, atenuando las condiciones de extrema aridez del desierto costero (Sotomayor Melo & Milón Jiménez, 2008)

Las lomas costeras son una fuente de diversos recursos naturales. La cobertura vegetal endémica sirve de fuente de alimentación y refugio para la fauna silvestres, a su vez, la población puede servirse de estos recursos, pero de forma limitada debido a la fragilidad del ecosistema.

La importancia también radica en los servicios propios de la cobertura vegetal como la emisión de oxígeno, comportándose como un filtro ante la contaminación atmosférica.

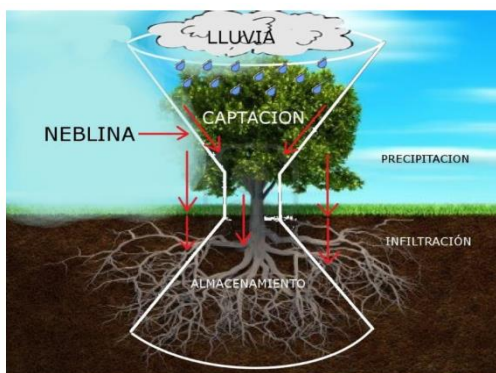
Las lomas costeras atraen la atención científica por la interacción de los factores bióticos y abióticos. Por su estética y peculiaridad también atraen turistas para desarrollar actividades como caminatas, ciclismo, camping, entre otros.

2.3.2. Cobertura vegetal

Es la superficie terrestre recubierta por vegetación de forma natural o por acción humana; agrupa una gran biomasa y diversidad de especies. Se entiende como cobertura vegetal, a toda vegetación que ocupa un área determinada cumpliendo un rol importante dentro de un ecosistema; sirve de fuente de alimentos, energía y refugio para la fauna silvestre.

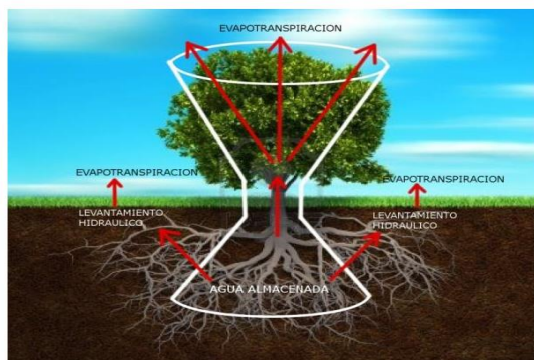
En los periodos secos la vegetación en las lomas se vuelve poco desarrollada y escasa. La poca vegetación que logra desarrollarse no suele pasar de los 10 centímetros, los árboles y arbustos cuentan con escasas ramificaciones y hojas pequeñas y se reduce la presencia de epífitas (Ferreyra, 1993).

Figura 4. Captación y almacenamiento del agua de neblinas



Fuente. (Talavera D., n.d.)

Figura 5. Mecanismo de obtención del agua almacenada en el suelo por la vegetación



Fuente. (Talavera D., n.d.)

2.3.3. Expansión urbana

La expansión urbana ha sido analizada a lo largo del tiempo, en distintas partes del planeta. La dinámica social, económica y tecnológica, debido a la revolución industrial, fueron determinantes para la formación de espacios urbanos en una ciudad.

Existen diversos enfoques que explican la expansión urbana, algunos resaltan que se debe al crecimiento demográfico de las urbes, otros piensan que se debe al mercado de terrenos, otros creen que la industrialización y el aspecto económico atrajo población foránea. Incluso, existen enfoques que analizan el desplazamiento del campo a la ciudad por temas políticos y sociales. Muchos de estos estudios concluyen que el crecimiento modifica el suelo agrícola y de otros usos a suelo urbano, y este cambio ocurre de forma desordenada.

2.3.3.1. La expansión urbana y la periferia

La expansión urbana se desplaza en la periferia de un núcleo urbano, estos asentamientos humanos han sido utilizado inicialmente como zonas de dormitorio para las clases trabajadoras de la ciudad o para migraciones rurales.

Existe un modelo de ciudad como el monocéntrico o centralizado que predominó a lo largo de la historia, cuya concentración de viviendas, servicios e instituciones se establecieron en un determinado espacio geográfico, generando un solo núcleo urbano central y la expansión urbana en sus periferias.

2.3.3.2. La expansión urbana y la migración

El fenómeno de la migración ha sido determinante para el paisaje urbano. La migración es el desplazamiento de una población de su lugar de origen a otro receptor, esto se origina por distintas causas como: causas sociales, políticas, económicas, desastres naturales, etc. Históricamente, la mayor migración ha sido del campo a la ciudad; esta población migrante, en su mayoría, habitó las periferias de las grandes ciudades.

2.3.3.3. La expansión urbana y el mercado de tierras

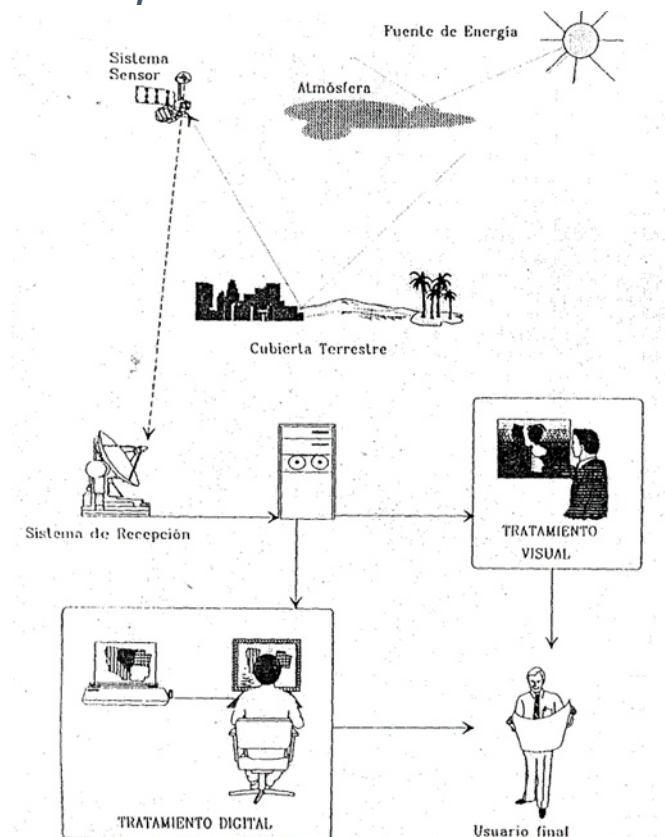
Como nos relata (Bazant S., 2001)) en América Latina desde los años 80 se empezaron a desconcentrar las grandes urbes, generando la aparición de ciudades intermedias e interconectadas que, a su vez, iban creciendo y tomando importancia. Existen diversos factores que interactúan entre sí y generan el crecimiento de las ciudades, dichos factores son: el aspecto económico y social, lineamientos políticos y disponibilidad de terrenos.

Para la disponibilidad de tierras urbanas se ha tenido que modificar suelos agrícolas y de otros usos a suelo urbano, ya que esto les era más rentable a los propietarios. El estado y los gobiernos municipales son los encargados de normar y regular la ocupación del terreno, sin embargo, estos no se dieron abasto para gestionar su territorio generando un mercado de tierras especulativo e informal, cuyos resultados fueron el establecimiento desordenado de urbanizaciones, carencias técnicas de diseño y planificación, la ocupación de zonas de riesgo, entre otros.

2.3.4. Teledetección

La teledetección es la técnica que permite adquirir imágenes a distancia de la superficie terrestre mediante sensores remotos sin tener contacto directo entre el observador (satélite) y el observado (superficie terrestre). El sensor remoto capta y almacena la información detectada que posteriormente podrá ser procesada mediante técnicas de fotointerpretación. Las imágenes resultantes nos brindan información útil para la caracterización de un determinado territorio. (Chuvieco, 1995).

Figura 3. Componentes de un sistema de teledetección



Fuente: (Chuvieco, 1995). Fundamentos de teledetección espacial.

2.3.4.1. Fundamentos Físicos de la Teledetección

La teledetección se centra en la interacción de los flujos de energía con los distintos tipos de superficie terrestre. Este flujo pasa a denominarse radiación electromagnética. Sus principales elementos son: el sensor, el objeto observado y el flujo de energía que hace posible poner a ambos en relación. (Chuvieco, 1995).

Ecuación de la Radiación

La radiación electromagnética se considera como un haz ondulatorio según la fórmula de Huygens, Maxwell:

$$c = \lambda \times f$$

Donde

c = Velocidad de propagación 3×10^8 m/s

λ = Longitud de onda

f = Frecuencia

2.3.4.2. Radiación electromagnética

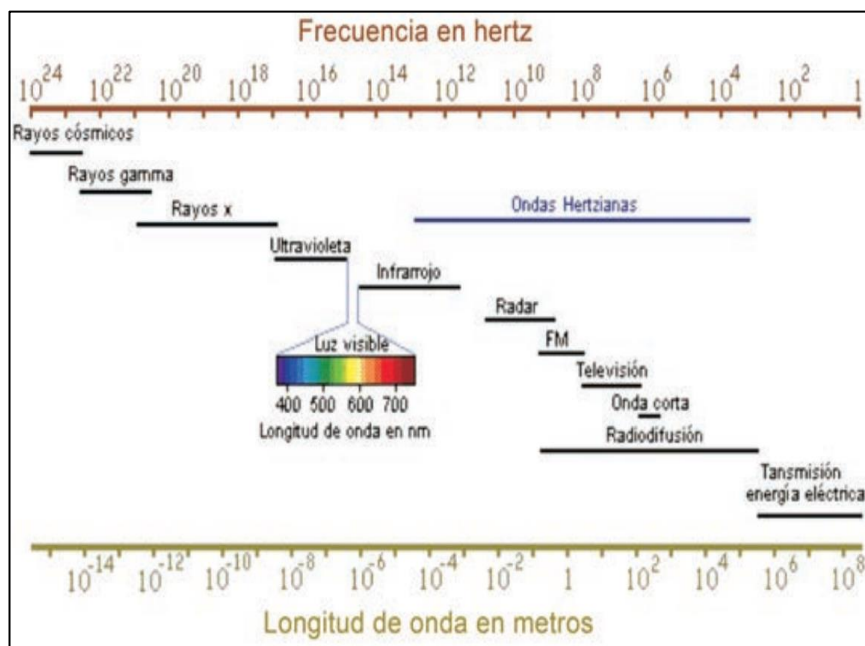
La radiación electromagnética es una forma de transmisión de energía a través del vacío. Específicamente se refiere a la transmisión de energía dada por medio de las ondas electromagnéticas las cuales se hallan compuestas por partículas energizadas denominadas cuantos. Cuando los cuantos coinciden con la porción del espectro electromagnético que resulta visible al ojo humano, este recibe el nombre de fotón y el grado energético y la frecuencia de este son determinados por el color de la radiación, así como por su longitud de onda. La radiación electromagnética sería así la transmisión de paquetes de energía que se mueven de manera tanto ondulatoria como corpuscular a través del campo y que son percibidos por el sensor. Estos paquetes de energía viajan a la velocidad de la luz de manera ondulatoria sinusoidal transmitiendo la información desde el objeto de estudio hacia el sensor (Paruelo, 2008).

2.3.4.3. El espectro electromagnético

La organización de la radiación electromagnética en bandas de longitud de onda que la componen recibe el nombre de espectro electromagnético. Este espectro está distribuido desde las longitudes de onda más cortas que se corresponden con los rayos gamma y rayos X hasta las longitudes de onda más largas que pueden abarcar kilómetros como es el caso de las telecomunicaciones (Chuvieco, 1995).

Para obtener el NDVI se trabaja con el infrarrojo cercano para determinar y resaltar la cobertura vegetal de esta forma distinguirlo de su entorno.

Figura 4. División del espectro electromagnético

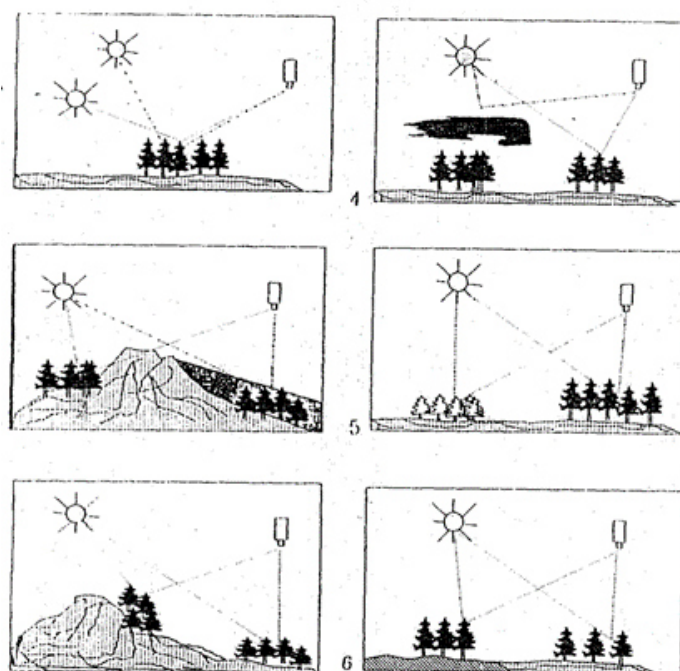


Fuente: (Luque Ordóñez, 2012).

2.3.4.4. Características de la vegetación en el espectro óptico

La vegetación dentro del espectro óptico tiene características muy particulares que lo hacen interesantes de ser estudiado. A pesar de ellos representa no pocas dificultades a la hora de su análisis debido a la gran variedad y complejidad de factores que se ven involucrados en el cálculo de su radiancia final. Para un análisis profundo de la vegetación hay que tener en cuenta en primer lugar la reflectividad de la propia hoja. Esta puede variar según una serie de factores como su fenología, su forma y tamaño o su contenido de humedad. En segundo lugar, también influyen otros muchos factores como la altura de la planta respecto del suelo, que porcentaje del suelo cubre, su perfil, etc que también modifican la reflectividad de la vegetación. En tercer lugar, también habría que considerarse factores como la pendiente del suelo, orientación, geometría de la plantación, entre (Chuvieco, 1995).

Figura 5. Factores que modifican la signatura espectral



Fuente: (Chuvieco, 1995). Fundamentos de teledetección espacial.

2.3.4.5. Características del suelo en el espectro óptico

Debido a que la cubierta vegetal cubre el suelo generando un efecto de pantalla, no resulta fácil obtener información del suelo a partir de imágenes satelitales o sensores espaciales. No obstante, pueden obtenerse algunos datos de manera indirecta acerca de las características del suelo – litología gracias a las anomalías que es posible detectar en la cubierta vegetal. Algunos ejemplos de este tipo de anomalías serían: distribución anormal de ciertas especies, densidad o crecimiento irregular de la cobertura o alteraciones de la pigmentación y del ciclo fenológico. Si bien estos fenómenos no pueden ser imputados en su totalidad al sustrato geológico, algunos estudios han probado que existe la posibilidad de inferir valiosa información de éste a partir de la vegetación (Lulla, 1985).

2.3.4.6. Comportamiento espectral de la vegetación en el infrarrojo térmico

Las propiedades térmicas de la vegetación son dinámicas. Por el día absorbe energía solar para realizar su proceso de fotosíntesis

haciéndola más fría que el aire circundante, por la noche reemite la energía debido al balance energético ocasionando que su temperatura sea más alta que el aire circundante.

La inercia térmica de la vegetación es alta, gracias a su importante contenido de humedad. Desde el punto de vista térmico uno de los procesos más destacados en la señal ofrecida por la vegetación, es, precisamente, el que regula su ciclo hídrico. La evapo-transpiración supone una liberación de calor para realizar el tránsito del agua almacenada en las hojas al estado gaseoso. La pérdida de calor supone una reducción de la temperatura, por lo que las plantas tienden a estar más frías durante el día que su entorno. Por el contrario, en la noche se re-emite la energía acumulada de día, lo cual hace que ahora presenten una mayor temperatura que su entorno. Esta energía es percibida claramente en la longitud de onda térmica (Chuvienco, 1995).

2.3.4.7. Comportamiento del suelo y agua en el dominio térmico

Uno de los factores más destacados respecto del suelo es su contenido de humedad. Conforme mayor sea la humedad del suelo este presentará una mayor inercia térmica, esto es, que aumenta su conductividad térmica y su calor específico. Esto hace que los suelos húmedos sean, en contraposición con los suelos secos, más fríos durante el día y que por el contrario sean más cálidos durante la noche (Chuvienco, 1995).

2.3.4.8. El efecto de la atmósfera con la radiación electromagnética

La composición atmosférica es una mezcla de diversos gases y aerosoles -entre partículas líquidas y sólidas en suspensión- que altera la energía electromagnética de tres maneras:

- a) Absorción atmosférica: Según el tipo de longitud de onda la atmosfera puede comportarse como una especie de filtro que puede dificultar o incluso imposibilitar por completo las capacidades de observación de los sensores. Los causantes de esta absorción son principalmente: el ozono, el oxígeno atómico, vapor de agua, anhídrido carbónico (Chuvienco, 1995).

- b) **Dispersión atmosférica:** La dispersión de la radiación electromagnética es causada por la interacción entre ésta y los gases y partículas atmosféricas en suspensión. La reflexión consiguiente a ese choque supone un aporte adicional a la radiancia proveniente de la superficie terrestre (luz atmosférica). En definitiva, se reduce la radiancia directa, aumentándose la difusa. Puesto que las partículas atmosféricas son muy variables en el tiempo y en el espacio, resulta muy complejo cuantificar su influencia final en la imagen adquirida por el sensor (Chuvieco, 1995).
- c) **Emisión atmosférica:** El efecto de emisión atmosférica resulta fundamental en el trabajo dentro del infrarrojo térmico, si se pretenden obtener mediciones de temperatura a partir de las imágenes espaciales. Al igual que cualquier cuerpo por encima del cero absoluto; la propia atmósfera emite su propia energía calorífica, por lo que ese parámetro debe considerarse para estimar la emitancia espectral originalmente proveniente del suelo (Chuvieco, 1995).

2.3.4.9. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son la captura de la radiación electromagnética de la superficie terrestre mediante un sensor remoto instalado en un satélite. Existen diversos sensores remotos puestos en órbita, por lo tanto, tenemos imágenes satelitales de distintas características y distintas finalidades.

2.3.4.10. Análisis multitemporal

El primer aspecto supone utilizar la dimensión temporal para mejorar la interpretación de la imagen, al aportar un valioso informe sobre el desarrollo fenológico de las especies vegetales (Chuvieco, 1995).

El análisis multitemporal permite tener un registro histórico de un determinado espacio, mostrando la dinámica en el área de intereses. De esa forma se puede entender el comportamiento de la cobertura vegetal,

expansión urbana, clima, entre otros. Teniendo un registro histórico que permite estimar y crear escenarios hacia el futuro.

2.3.4.11. Preprocesamiento de imágenes satelitales

El preprocesamiento de imágenes satelitales se centra en realizar todas las correcciones de las anomalías propias de la imagen.

Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas debidas a muy variados factores; aún cuando cada elemento de la imagen tenga teóricamente un valor espectral único, existen diversos factores que modifican el comportamiento esperado de los valores espectrales. (Mas Monsonis, 2017). Según Mas Monsonis los 5 factores más relevantes que modifican este comportamiento son los siguientes:

- a) Ángulos de iluminación y observación: Dependen de la latitud, así como de las sombras generadas por la fecha y hora de toma de la imagen.
- b) Elevaciones o depresiones en el relieve: Se refiere a la diferencia de radiación recibida en la superficie del terreno debido a los accidentes geográficos de la misma.
- c) Variaciones atmosféricas: Se refiere a fenómenos atmosféricos como la nubosidad.
- d) Variación medioambiental de cubierta: Factores como la diferencia entre especies vegetales; o incluso en la misma especie, la madurez del ejemplar, ocasionarán una firma espectral distinta pudiendo causar errores de clasificación.
- e) Sustrato litológico: Este factor es especialmente importante cuando se cuenta con una escasa cubierta vegetal teniendo que ser corregidos sus efectos para un cálculo adecuado de la cubierta vegetal.

2.3.4.12. Correcciones geométricas – georreferenciación

La corrección geométrica, al ser un cambio de posición de los píxeles, generan nuevas coordenadas geográficas para cada píxel, llevando a una nueva georreferenciación.

(Chuvieco, 1995) describe el concepto como cualquier tipo de cambio que ocurre en los píxeles de la imagen, los niveles digitales de los píxeles no pretenden ser modificados, de lo contrario, sólo se pretende modificar la posición mediante las coordenadas.

2.3.4.13. Correcciones radiométricas

(Chuvieco, 1995) considera a las técnicas que modifican los niveles digitales originales con la finalidad de obtener una recepción ideal. La atmósfera provoca distorsiones, que sumados a los problemas radiométricos ocasionados por el sensor generan una alteración a las imágenes.

Se ha incluido, por último, un epígrafe que aborda la conversión entre ND de la imagen y parámetros físicos (radiancia y reflectividad), en cuanto que también supone una transformación de los ND originales

2.3.4.14. Cálculo de reflectividades

Chuvieco también resalta la gran utilidad que resulta la conversión de los ND en una imagen cruda a variables físicas, permite trabajar con variables físicas de significado estándar y esto pueden ser comparables en un mismo sensor para realizar un análisis multitemporal, estas variables pretenden resolver satisfactoriamente la acción de varios factores.

2.3.4.15. Correcciones topográficas

La topografía del terreno influye considerablemente en el proceso de teledetección, mientras más accidentado es el terreno se generan sombras que altera la percepción remota por lo tanto se necesita las correcciones topográficas para contrarrestar dichas alteraciones.

El sensor recepciona información en las imágenes satelitales, muchas de esa información están en función a la iluminación oblicua y de acuerdo con la topografía irregular del terreno hacen que se generen sombras que de alguna manera alteran la iluminación del terreno. La respuesta radiométrica varía debido al efecto topográfico. Las sombras pueden ocultar información topográfica, efecto que ocurre en mayor medida en lugares accidentados.

2.3.4.16. Índices de vegetación

Los índices de vegetación son las combinaciones que se obtienen de combinar las bandas espectrales que fueron registrados por el sensor satelital mediante la técnica de la teledetección. La observación remota de los sensores satelitales puede distinguir la cubierta vegetal de una vegetación escasa de otra vigorosa, se observa el comportamiento de las bandas de espectro, si tenemos una alta absorción y baja reflectividad podría ser singularmente visible, mientras que un NIR presenta baja absorción y alta reflectividad. Se considera como principio genérico que el contraste va a ser más marcado cuando la cobertura vegetal sea vigorosa y podrá ser discriminado con mayor facilidad con el resto de cobertura. Para obtener un índice de vegetación es necesario contar con una imagen multispectral y generar un contraste entre las bandas R y NIR sobre el espectro. (Gonzaga Aguilar, 2014).

Los índices de vegetación pueden ser útiles para analizar el comportamiento de la biomasa, de esta manera se puede, sumado a otra información, se pueden deducir fenómenos como plagas, sequías, deficiencias nutricionales, etc. (Gonzaga Aguilar, 2014).

a) Limitaciones de los índices de vegetación

El NDVI es el índice de vegetación que más se utiliza para los análisis multitemporales para la vegetación, sin embargo, existe algunas condiciones para su óptimo trabajo, es necesario que exista una cubierta vegetal media o alta para que pueda ser detectada, siendo insensible al verde de la cubierta vegetal baja; y puede saturarse cuando la cubierta vegetal es superior al 50%. De esta manera existe

un margen de error que nos puede conllevar a subestimar o sobre estimar la cubierta vegetal real.

b) Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI

El NDVI es el índice de vegetación más utilizado para todo tipo de aplicaciones. La razón fundamental es su sencillez de cálculo, y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y $+1$), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes, etc. Este índice da lugar a isolíneas de vegetación de pendiente creciente y convergente en el origen (Gonzaga Aguilar, 2014).

El NDVI se obtienen de realizar un cálculo sencillo, es una de las ventajas que hace que sea el índice más usado para la interpretación directa de la cobertura vegetal; al tener una fórmula establecida permite que muchos investigadores puedan comparar resultados, permite también una comparación multitemporal de una misma zona.

Unas de las desventajas que tienen es que los resultados pueden ser influenciados por la atmósfera y por el suelo, sin embargo, permite entender el comportamiento de la cobertura vegetal que en su mayoría está marcado por su ciclo fenológico y otros factores como climáticos, actividad antrópica, entre otros.

Según los resultados obtenidos por diversos investigadores, se puede llegar a considerar lo siguiente:

- Una cobertura vegetal sana y densa genera mayores valores de NDVI.
- Una escasa y dispersa cobertura vegetal puede generar valores positivos no muy elevados
- Un NDVI con valor cercano a 0 puede ser por la presencia excesiva de nubes que generan poca diferencia entre R e IRC.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se calcula mediante la siguiente expresión:

Donde:

NIR= reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al infrarrojo cercano

R= reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo.

$$NDVI = \frac{(IRC - R)}{(IRC + R)}$$

2.3.4.17. Definición del intervalo de tiempo entre imágenes

Considerar de uno a diez años de intervalo de tiempo es suficiente para realizar un análisis multitemporal de la cobertura de la tierra, debido al largo periodo del análisis multitemporal del presente estudio, asimismo de la limitación que se tiene de la disponibilidad de imágenes de diferentes sensores por el tiempo y clima, se estimó trabajar con un período de diez años, como máxima temporalidad. Este periodo es representativo para evidenciar las variaciones de las coberturas predominantes en el área de estudio, dado el rápido crecimiento de la vegetación (Sánchez Ramos, 2009).

2.3.5. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

El Índice de Vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de niveles digitales o de su reflectancia a diferentes longitudes de onda que es especialmente sensible en el caso de la cobertura vegetal (Gilabert et al., 1997).

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) por sí mismo no mide la productividad ni la cantidad de forraje en una zona, pero si guarda una estrecha relación con estas por lo que es útil para análisis regionales. Esto quiere decir que en términos generales el NDVI permite determinar si un mes o año específicos fueron mejores o peores con respecto a los demás.

El uso del NDVI tiene su sustento en el comportamiento especial que tiene la vegetación en el espectro radiométrico. Por ejemplo, una cubierta vegetal en buen estado suele tener una firma espectral que se caracteriza por el contraste entre las bandas del rojo e infrarrojo cercano.

Para el caso de la banda del rojo (de 0.6 a 0.7 μm) su radiación es absorbida casi por completo por las hojas mientras que en el infrarrojo cercano (de 0.7 a 1.1 μm) la radiación es mas bien mayormente reflectada. Estas características son las que nos permiten la realización de la valoración cualitativa de la cobertura vegetal. El NDVI se calcula según el siguiente algoritmo:

$$NDVI = \frac{(IRC - R)}{(IRC + R)}$$

Donde:

IRC: reflectividad en el infrarrojo cercano

R: reflectividad en el rojo.

Dado que la reflectividad del rojo y del infrarrojo cercano son cocientes de la radiación que es reflejada sobre la radiación entrante para cada banda espectral, sus valores siempre se encontrarán entre el 0 y el 1. En consecuencia y dada las características del algoritmo para el cálculo del NDVI, este siempre presentará valores que fluctúan entre -1 y 1.

Las ventajas que tiene el NDVI es la sencillez de los cálculos y la interpretación directa de los resultados. Por otro lado, como desventajas tenemos la poca capacidad de minimizar la influencia del suelo y de la atmósfera, sin embargo, nos permite hacer comparación de imágenes.

2.3.6. Loma de Carabayllo

Las lomas son consideradas ecosistemas frágiles y estacionales que se desarrollan en las costas de Perú y Chile, su fuente principal de humedad son las nieblas procedentes del Océano Pacífico y están comprendidas desde los 0 m.s.n.m. hasta los 1000 m.s.n.m. Se caracterizan por poseer flora y fauna endémica que se adaptadas al ciclo estacional que comprenden los meses de mayor humedad comprendidas desde mayor al mes de octubre, son consideradas ecosistemas frágiles y vulnerables por su poca capacidad de recuperación.

Existen 67 lomas según el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp) siendo las lomas de Carabayllo (Resolución Ministerial N° 0429-2013-MINAGRI) una de ellas cuya superficie abarca 1,767.75 hectáreas ubicado entre los distritos de Carabayllo, Ancón y Puente Piedra, provincia y región Lima.

2.3.7. Variabilidad Espaciotemporal

Es el cambio que existe entre dos o más determinados momentos sobre un mismo espacio u objeto. La variabilidad espaciotemporal de la cobertura vegetal y de la expansión urbana comprende el análisis del comportamiento de la superficie ocupada (hectáreas) con respecto al tiempo.

2.3.8. Tecnologías de Información geográficas

La tecnología es la aplicación de la ciencia para brindar herramientas y/o solucionar un determinado problema. Las tecnologías de información geográfica son las herramientas existentes que permite recopilar, procesar y analizar datos alfanuméricos y gráficos sobre un determinado espacio geográfico. Existen herramientas que facilitan la recopilación de imágenes como los satélites a través de sus imágenes satelitales y los equipos UAV mediante sus aerofotografías; existen diversos softwares que ayudan al procesamiento analítico de la información recopilada y permiten una presentación didáctica de los resultados de los análisis realizados.

2.3.9. Estimación de la fase de la tasa anual de cambio

La tasa de cambio es un indicador de presión que permite conocer la magnitud y velocidad con que se está presentando este proceso, su evaluación es necesaria para conocer la dinámica y magnitud del cambio, así como sus efectos.

La mejor forma de cuantificar este proceso es mediante el análisis de la dinámica de la cubierta vegetal relacionándola con el espacio y el tiempo. La FAO (1996) propone la siguiente fórmula que expresa el cambio en porcentaje de la superficie del año inicial:

$$tc = \left[\left(S_2 / S_1 \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

tc = tasa de cambio (en %)

S_1 = superficie en la fecha inicial

S_2 = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis General

La cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo se ve afectada por la expansión urbana.

3.2. Hipótesis Específicas

- a) La flora de la Loma de Carabayllo está comprometida por el retroceso de la superficie de cobertura vegetal.
- b) La expansión urbana ha aumentado en el tiempo afectando la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo.
- c) La superficie de cobertura vegetal del ecosistema de Loma de Carabayllo se habrá reducido significativamente en un periodo de 10 años.

3.3. Identificación y Operacionalización de las Variables

Las variables que se utilizaron en el transcurso de la investigación se pueden visualizar en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Operacionalización de Variables

Variable (Dependiente)	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Cobertura vegetal	Es la superficie recubierta por vegetación que puede albergar una gran biomasa y diversidad de especies.	Extensión (Ha.)	Pérdida de cobertura vegetal
Variable (Independiente)	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Expansión Urbana	Es un fenómeno que afecta a las ciudades con crecimiento no planificado, se caracteriza por ocupar espacios destinados a otro tipo de usos.	Extensión (Ha.)	Aumento de la superficie de la expansión urbana

3.4. Matriz de Consistencia

Cuadro 3. Matriz de Consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Dependiente	Tipo de Investigación	Población de Estudio
¿De qué manera la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo se ha visto afectada por la expansión urbana?	Estimar de qué manera la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo se ha visto afectada por la expansión urbana.	La cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo se ve afectada por la expansión urbana.	Cobertura vegetal	Aplicada	Conformada por la cobertura vegetal de la loma de Carabayllo
Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Independiente	Diseño de Investigación	Muestra
a) ¿Cómo determinar la clasificación de la flora en la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo? b) ¿Cuál ha sido la variación multitemporal de la superficie de cobertura vegetal y de expansión urbana de la Loma de Carabayllo? c) ¿En qué porcentaje variarán la superficie de cobertura vegetal y de expansión urbana en la Loma de Carabayllo, para un periodo de 10 años?	a) Realizar la clasificación de la flora de la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo. b) Determinar la variación multitemporal de la cobertura vegetal y la expansión urbana dentro de la Loma de Carabayllo. c) Realizar una estimación de la variación de la superficie de cobertura vegetal y la expansión urbana en el ecosistema de Loma de Carabayllo, para un periodo de 10 años.	a) La flora de la Loma de Carabayllo está comprometida por el retroceso de la superficie de cobertura vegetal. b) La expansión urbana ha aumentado en el tiempo afectando la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo. c) La superficie de cobertura vegetal del ecosistema de Loma de Carabayllo se habrá reducido significativamente en un periodo de 10 años.	Expansión urbana	No experimental, está basada en la observación del objeto de estudio o unidad de análisis, sin ejercer ninguna alteración. Longitudinal, porque se centra en estudiar la evolución de las variables.	No probabilística, conformada por las 1767.75 hectáreas que conforma el área de Loma de Carabayllo.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es aplicada debido a que se busca la generación de conocimientos con aplicación directa a los problemas que la expansión urbana genera sobre la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo.

4.2. Nivel de Investigación y Enfoque

La presente investigación tiene un nivel explicativo, debido a que nos muestra resultados para entender uno de los principales problemas (expansión urbana) que afecta a la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo.

Así mismo, el enfoque es cuantitativo debido a que empleamos mediciones objetivas y análisis estadístico para el procesamiento de imágenes satelitales, utilizando fórmulas matemáticas para estimar el escenario en 10 años.

4.3. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es no experimental, longitudinal y descriptivo.

La investigación no experimental está basada en la observación del objeto de estudio o unidad de análisis en su ambiente natural, sin ejercer sobre ellos ningún estímulo y recogiendo la información de los fenómenos y variables que intervienen sin manipularlas para su posterior análisis.

La presente investigación es longitudinal debido a que nos centramos en la evolución de nuestras variables (cobertura vegetal y expansión urbana) y la relación que existe entre ambas. Así mismo, el proceso del diseño es descriptivo debido a que medimos nuestra unidad de análisis (cobertura vegetal) y proporcionamos la descripción de esta en relación con el fenómeno que se presenta.

4.4. Unidad de Análisis

Cobertura vegetal

4.5. Técnica

Para la presente investigación aplicamos las siguientes técnicas:

- Teledetección de imágenes satelitales
- Evaluación de parcelas para inventario de flora.
- Matrices de transición
- Análisis multitemporal

4.6. Instrumentos

Para la presente investigación se utilizó lo siguiente:

- Imágenes satelitales
- Información cartográfica
- ArcGIS
- ENVI

4.7. Población de Estudio

La población de estudio comprende a la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo.

CAPÍTULO 5: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Ubicación geográfica y caracterización del área de estudio

El Ministerio de Agricultura a través de la Resolución Ministerial N° 0429-2013-MINAGRI reconoce e inscribe en la Lista de Ecosistemas Frágiles del Ministerio a la Loma Carabayllo como Ecosistema Frágil, ubicada en los distritos de Carabayllo, Puente Piedra y Ancón, provincia y departamento de Lima, con una superficie de 1767.75 hectáreas. En la memoria descriptiva de la mencionada resolución se indica que la demarcación de los límites se realizó en base a la interpretación visual de la cobertura vegetal del ecosistema de loma costera, obtenida mediante imagen de satélite LANDSAT TM ortorectificada y georreferenciada y descargada por el servidor GLOVIS operado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS (Path:007, Row:068, Fecha de Toma: 9/11/2008, Combinación: 5-4-3).

Determinando las siguientes coordenadas como límite:

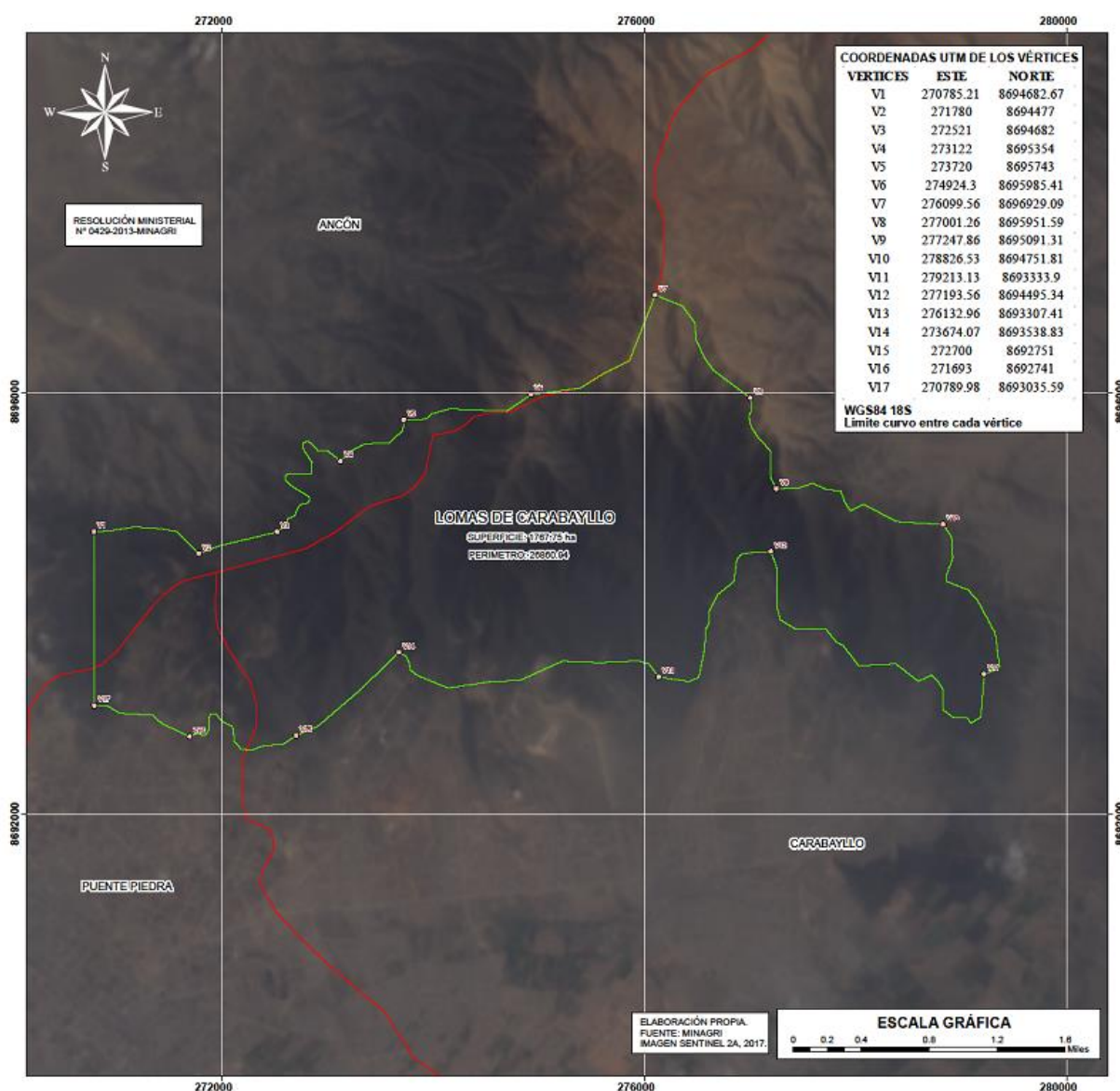
Cuadro 2. Delimitación de coordenadas

VÉRTICES	ESTE	NORTE
V1	270785.21	8694682.67
V2	271780.00	8694477.00
V3	272521.00	8694682.00
V4	273122.00	8695354.00
V5	273720.00	8695743.00
V6	274924.30	8695985.41
V7	276099.56	8696929.09
V8	277001.26	8695951.59
V9	277247.86	8695091.31
V10	278826.53	8694751.81
V11	279213.13	8693333.90
V12	277193.56	8694495.34
V13	276132.96	8693307.41
V14	273674.07	8693538.83
V15	272700.00	8692751.00
V16	271693.00	8692741.00
V17	270789.98	8693035.59

Fuente: Resolución Ministerial N° 0429-2013-MINAGRI (2013).

La Municipalidad Metropolitana de Lima junto al Instituto Metropolitano de Planificación en el plan metropolitano de desarrollo urbano llamado PLAN Lima y Callao 2035, explica que las lomas costeras son reconocidas dentro de las siete unidades ambientales que son parte de una estructura ecológica. Clasifica a las lomas de Carabaylo en dos unidades: Lomas de Carabaylo 1: Ancón, Puente Piedra, Carabaylo con (1,549.68 ha); y Lomas de Carabaylo 2: Carabaylo (218.07 ha).

Figura 9. Ubicación de la Loma de Carabaylo



Fuente: Elaboración propia

5.2. Medio físico

5.2.1. Clima

El clima en las Lomas de Carabayllo es típico de las lomas costeras con humedad en invierno y templado con vientos dominantes provienen del suroeste. Este clima es característico de la región Chala (0 a 500 msnm) en la que predominan las condiciones meteorológicas marítimas.

Las presencias de neblinas están entre los meses de mayo a octubre y la precipitación pluvial en forma de garúas se hacen más intensas entre los meses de junio y agosto.

5.2.2. Meteorología

En Lima se encuentran diversas estaciones meteorológicas, como la estación Campo de Marte, la estación Lima Este, la estación Las Palmas y la estación Jorge Chávez.

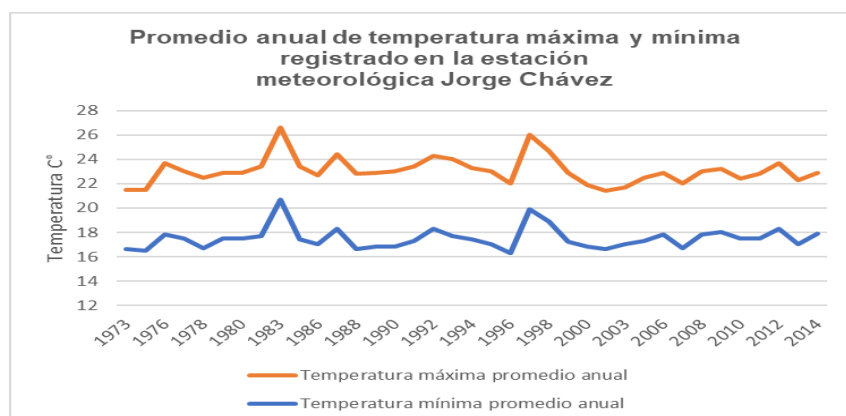
Para la investigación se empleó como referente a esta última, ya que posee los datos meteorológicos más recientes; esta estación se encuentra ubicada a Latitud 12°00' S, Longitud 77° 11' W y 12 msnm de altitud, en el aeropuerto internacional Jorge Chávez.

A continuación, se muestran los principales datos meteorológicos recolectados:

5.2.2.1. Temperatura

Según los datos registrados por la estación Jorge Chávez, en el período comprendido entre 1973 y 2014, la temperatura promedio anual se situó alrededor de los 20 °C, con un máximo en la estación de verano del año 1983 de 26.6 °C. Los veranos, de diciembre a marzo, tienen temperaturas que oscilan entre 26°C y 21°C. Los inviernos van de junio a la tercera semana de septiembre con temperaturas promedio que oscilan entre 20°C y 16°C. Es importante recalcar que estas temperaturas promedio se ven elevadas por los años en los que se registra el Fenómeno de El Niño (ENSO).

Gráfico 1. Promedio anual temperatura máxima y mínima



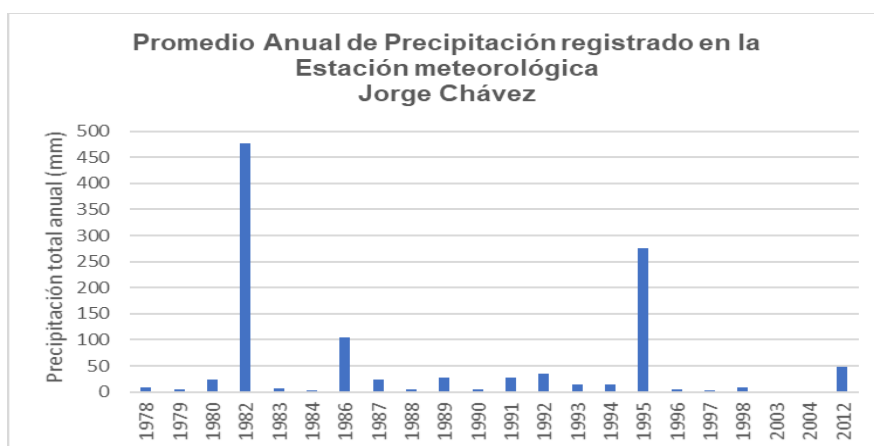
Fuente: Elaboración propia; adaptado de Estación Meteorológica Jorge Chávez.

5.2.2.2. Precipitaciones

Las lluvias en la zona de estudio son bajas, contabilizándose cada cierto tiempo garúas generadas por neblinas formadas al ras del suelo o ciertas nubes estratos. Según informes de la Estación Meteorológica Jorge Chávez, las precipitaciones son casi inexistentes, por lo que no se puede hacer una distinción respecto a precipitaciones.

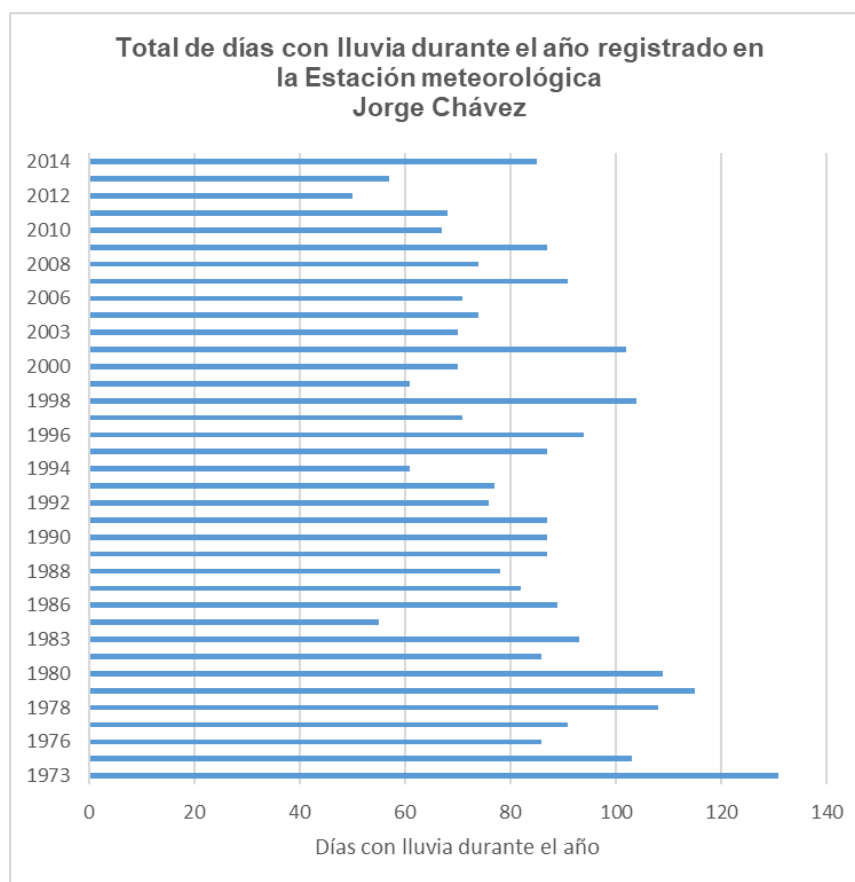
A continuación, se muestran diversos gráficos con el registro de precipitación promedio anual entre los años 1978-2012 y los días totales con lluvia por año para el periodo 1973 – 2014.

Gráfico 2. Precipitación Media Anual registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez



Fuente: Elaboración propia; adaptado de Estación Meteorológica Jorge Chávez.

Gráfico 3. Total de días con lluvia anual registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez



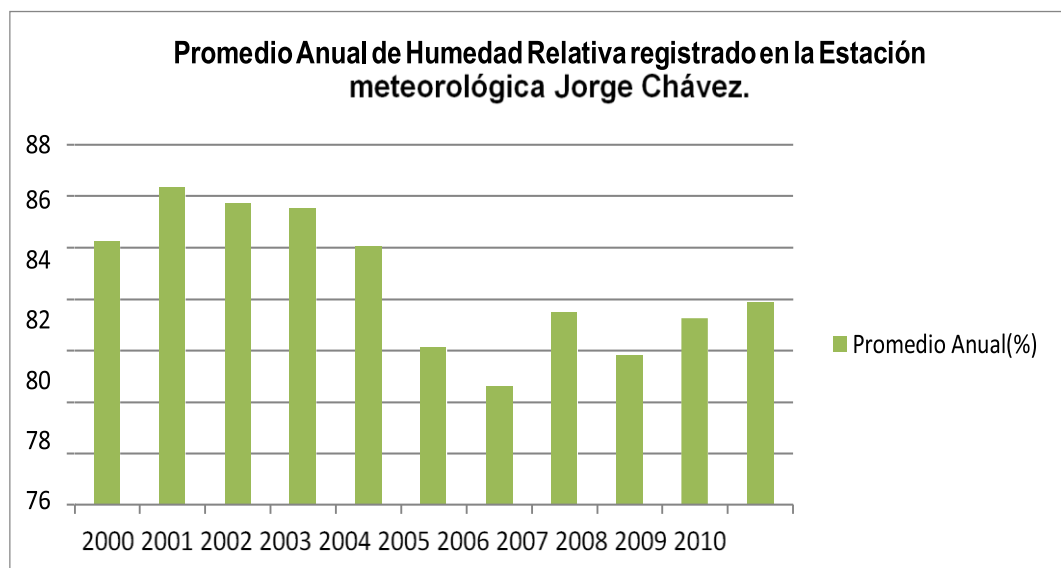
Fuente: Elaboración propia; adaptado de Estación meteorológica Jorge Chávez.

5.2.2.3. Humedad Relativa

La humedad relativa se presenta de hasta 100% (muy alta), generándose neblina continua entre junio y diciembre, hasta el inicio de la temporada de verano cuando las nubes son más escasas.

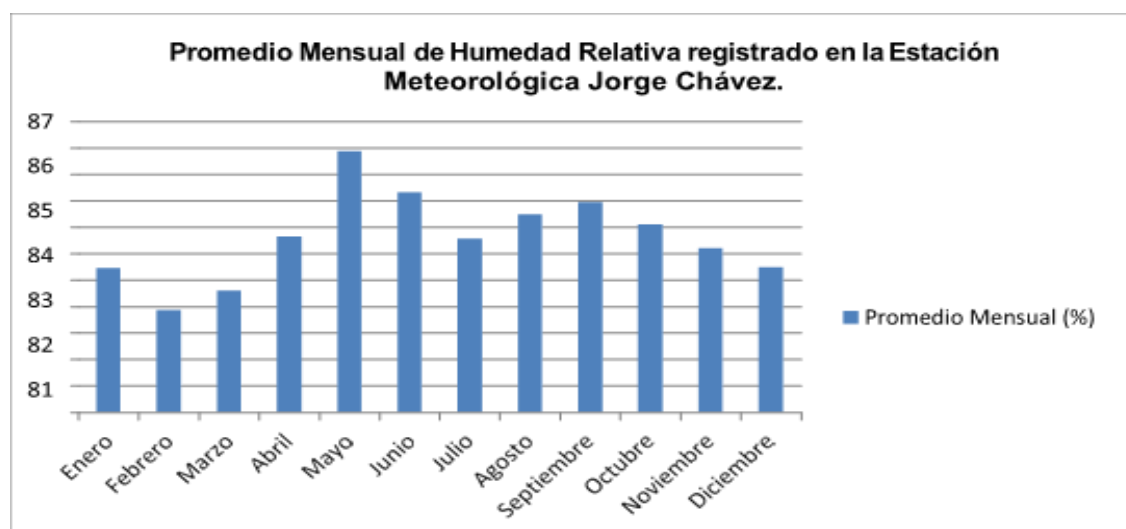
En el gráfico siguiente se observa la humedad relativa promedio anual obtenida de la estación Jorge Chávez entre los años 2000 y 2010 la cual fluctúa entre 80,60% y 86,33%. La etapa con una humedad menor se presenta en el verano entre 82% y 84%. En cambio, los meses de mayor humedad se presenta entre mayo y octubre, siendo mayo con la mayor humedad relativa de 86,40 %

Gráfico 4. Promedio Anual de Humedad Relativa registrado en la Estación meteorológica Jorge Chávez



Fuente: Elaboración propia; adaptado de Estación Meteorológica Jorge Chávez.

Gráfico 5. Promedio Mensual de Humedad Relativa registrado en la Estación meteorológica Jorge Chávez

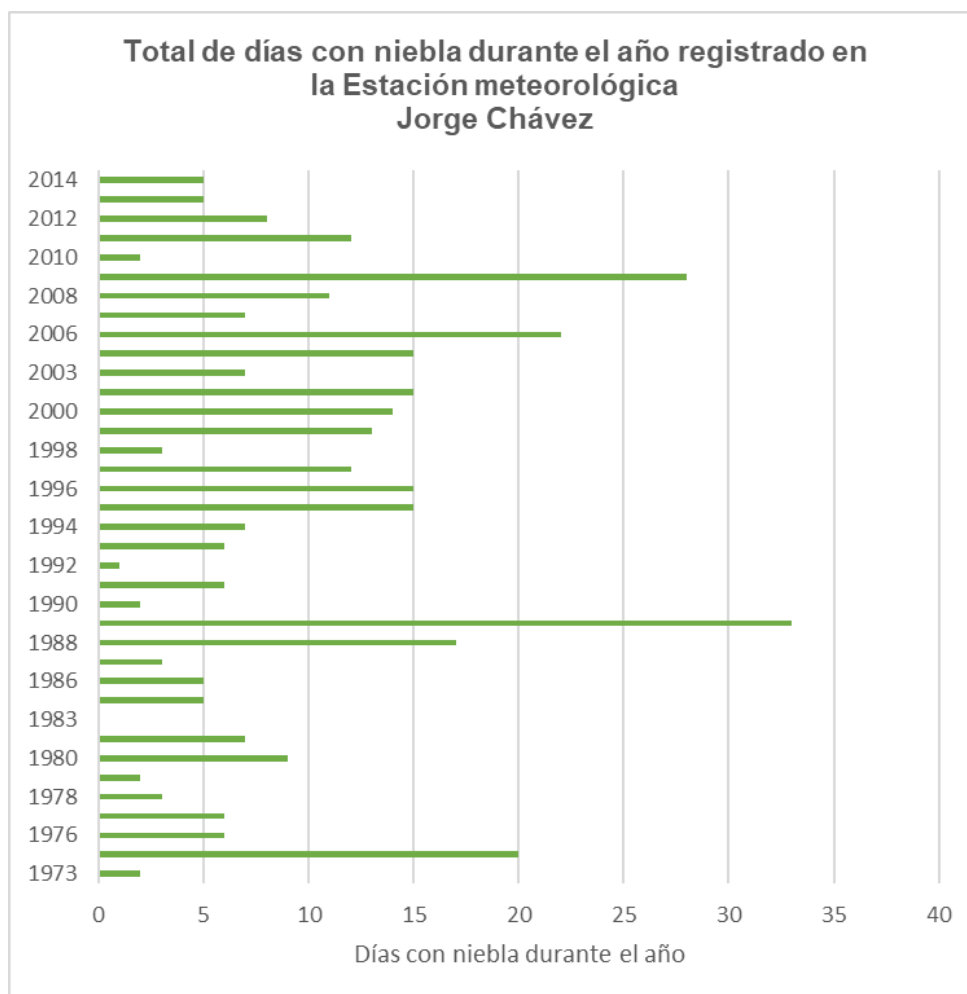


Fuente: Elaboración propia; adaptado de Estación Meteorológica Jorge Chávez.

5.2.2.4. Nubosidad o neblina

Debido al proceso de inversión térmica costera existe una alta ocurrencia de nubosidad y neblinas, lo cual ocasiona que en el área de estudio se presente una alta tasa de humedad atmosférica en invierno. En el gráfico 6 se muestra el número de días con niebla por año para el periodo 1973 – 2014.

Gráfico 6. Total de días con niebla anual registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez



Fuente: Elaboración propia; adaptado de Estación Meteorológica Jorge Chávez.

5.2.2.5. Vientos

La información recopilada a la que se tuvo acceso en la estación meteorológica Jorge Chávez corresponde al periodo que va entre los años 1973 al 2014, en ellas se muestran registros de promedios anuales de velocidad que van desde los 9.3 km/h hasta los 14.8 km/h, correspondiendo el último valor al año 1997, año en el cual tuvimos un fenómeno de El Niño (1997-1998) extraordinario. Existen valores más altos como el del año 1988 que alcanza valores de 18,1 km/h pero que se tornan de menor relevancia por lo lejos que se ubican temporalmente. En la siguiente figura se observa la rosa de vientos en las que se puede observar la dirección predominantemente Sur y Sureste de los vientos.

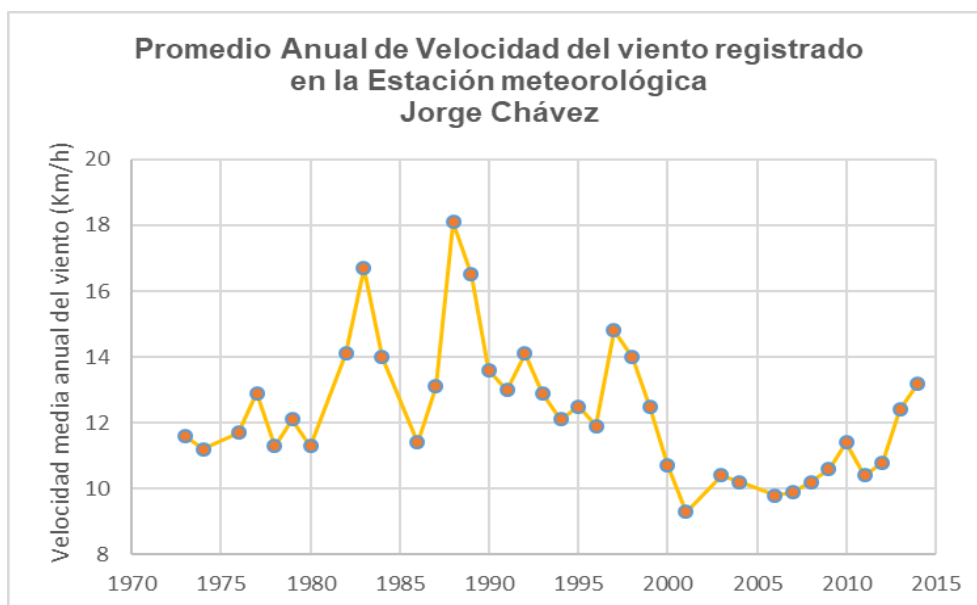
Figura 60. Rosa de vientos CA-01



Fuente: Laboratorio SAG.

La siguiente figura muestra los valores medios anuales del viento para el periodo 1973 – 2014.

Gráfico 7. Promedio anual de velocidad del viento registrada en la Estación meteorológica Jorge Chávez



Fuente: Elaboración propia; adaptado de Estación Meteorológica Jorge Chávez.

5.2.3. Geología

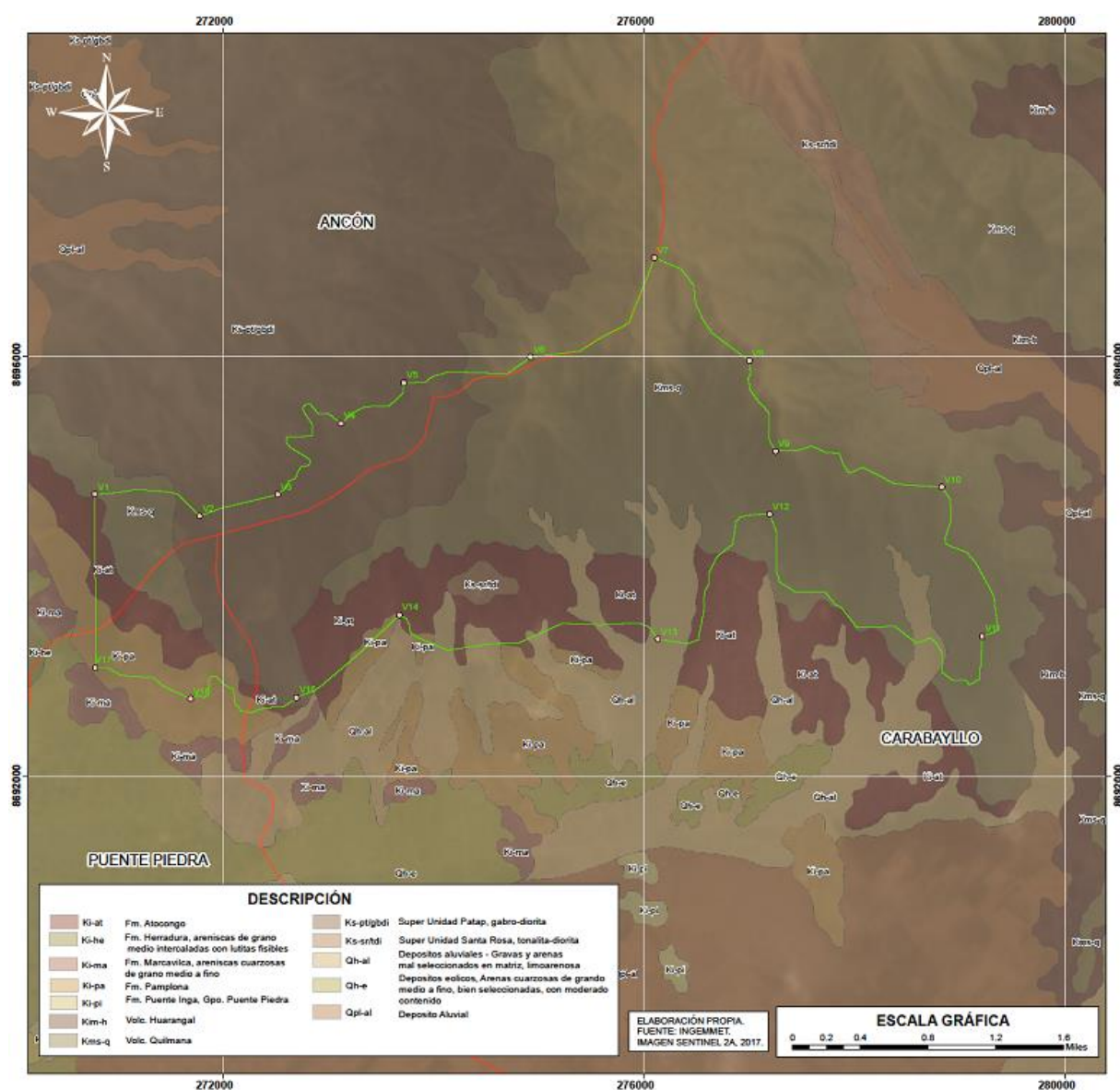
El área de estudio se encuentra dentro de una zona de plegamientos denominado el Anticlinal de Lima cuyo eje central pasa por la ciudad de Lima y su extensión va desde Ancón hasta el Morro Solar en Chorrillos. Esta área se caracteriza por las estribaciones occidentales de la cordillera de los andes cuyas unidades litoestratigráficas se pasan a detallar en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Unidades Litoestratigráficas

SÍMBOLO	UNIDAD
Ki-at	Fm. Atocongo
Ki-pa	Fm. Pamplona
Kms-q	Volc. Quilmana
Ks-pt/gbdi	Super Unidad Patap, grabo-diorita
Qh-al	Depositos aluviales – Gravas y arenas mal seleccionadas en matriz, limoarenosa

Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET

Figura 11. Geología de la Loma de Carabayllo



Elaboración propia. Fuente: INGEMMET

5.2.4. Geomorfología

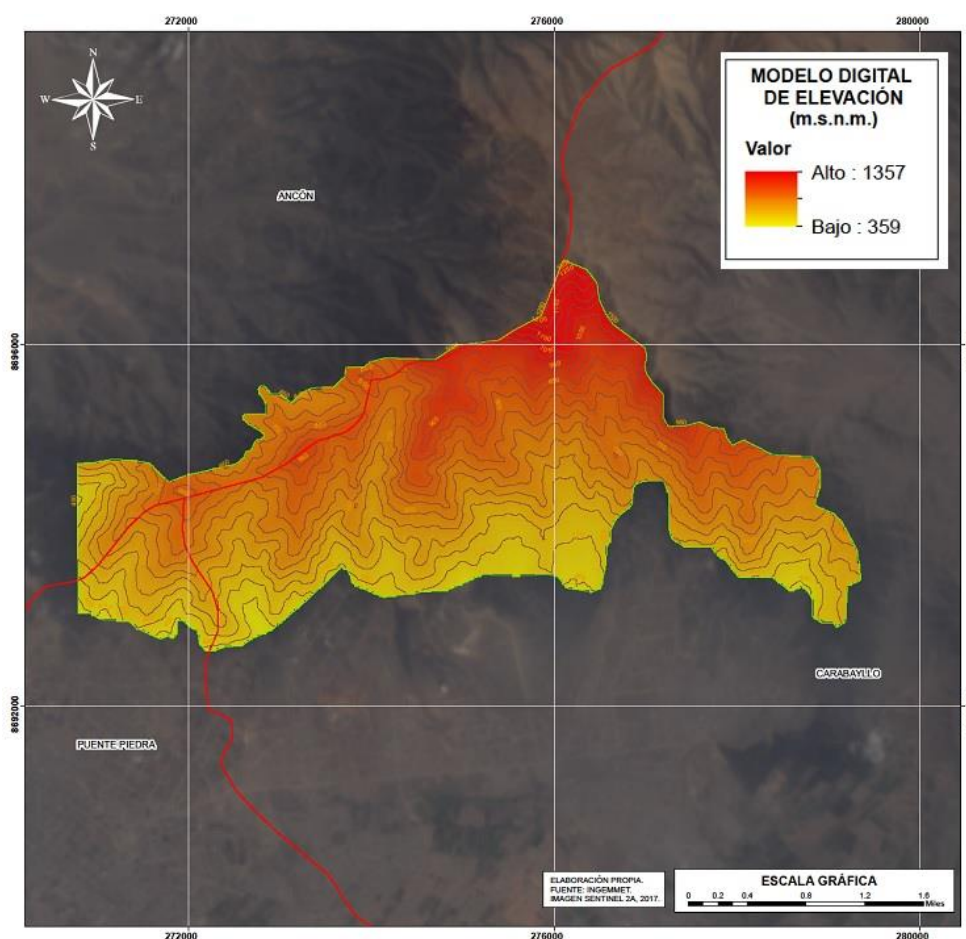
La geomorfología del área de estudio ha sido formada en primer lugar por procesos geodinámicos internos tectónicos y luego por procesos geodinámicos externos tales como la erosión y la incisión producto del drenaje del río Chillón, las cual le ha dado sus rasgos característicos.

En el área de estudio se encuentra presente la siguiente unidad geomorfológica:

a) Lomas y cerros testigos (Lct)

Muestran un relieve subordinado a la litología de las unidades geológicas y a la labor erosiva del río Chillón. Los cerros adyacentes al área de la investigación están impregnados por rocas volcánicas, que se han producidos por de derrames volcánicos, que varían en la resistencia al intemperismo, por lo que su relieve cuenta con pendientes empinadas y en algunos casos regularmente suaves; cuando son areniscas es importante saber las fuerzas de los estratos y su grado de meteorización, obteniendo como resultado pendientes empinadas; cuando se habla de lutitas y limolitas las formas son redondeadas con pendientes más suaves. (Fuente: PAMA - Proyecto Formalización, Saneamiento y Mejoramiento del Cementerio Público Lomas de Zapallal, Municipalidad Distrital de Puente Piedra y ASAMRE S.A.C, 2013).

Figura 72. Modelo digital de elevación de la Loma de Carabayllo

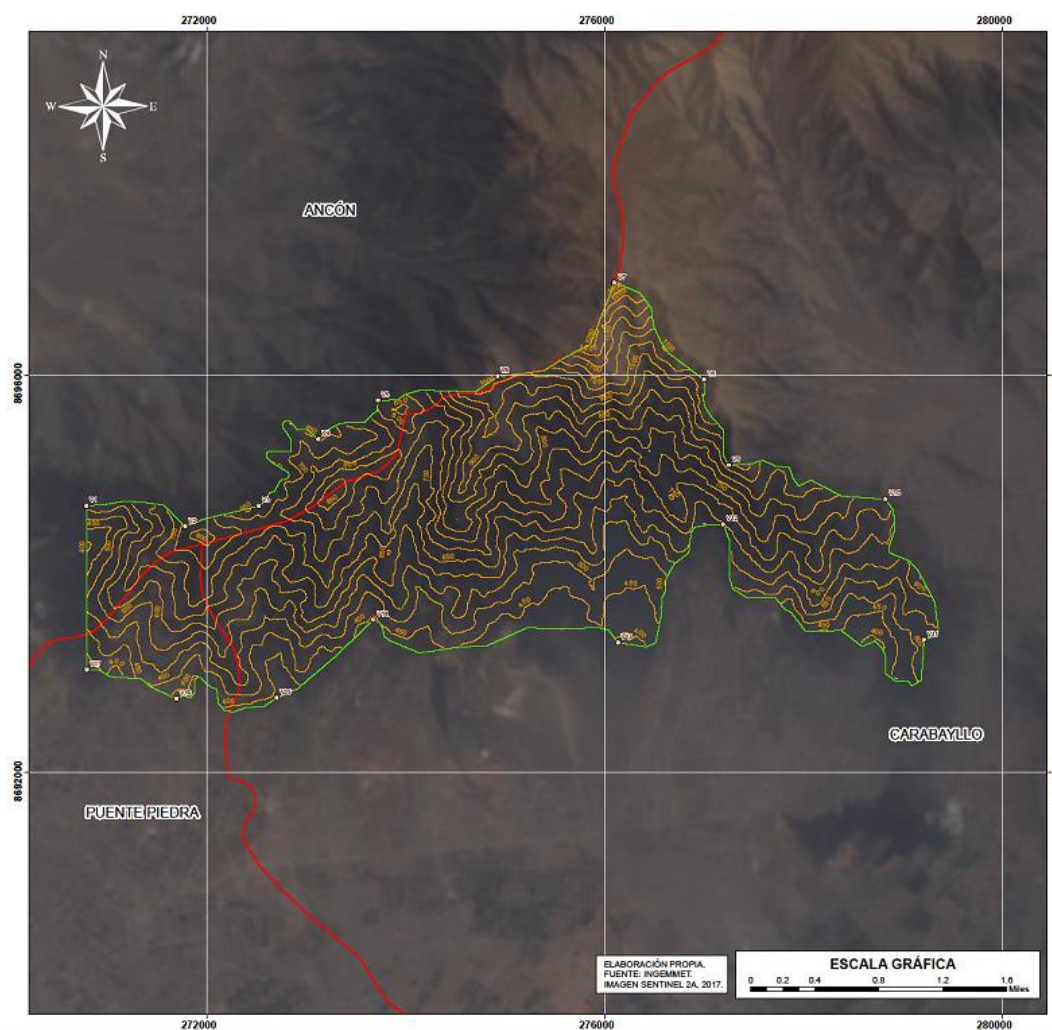


Elaboración propia. Fuente: INGEMMET

5.2.5. Topografía

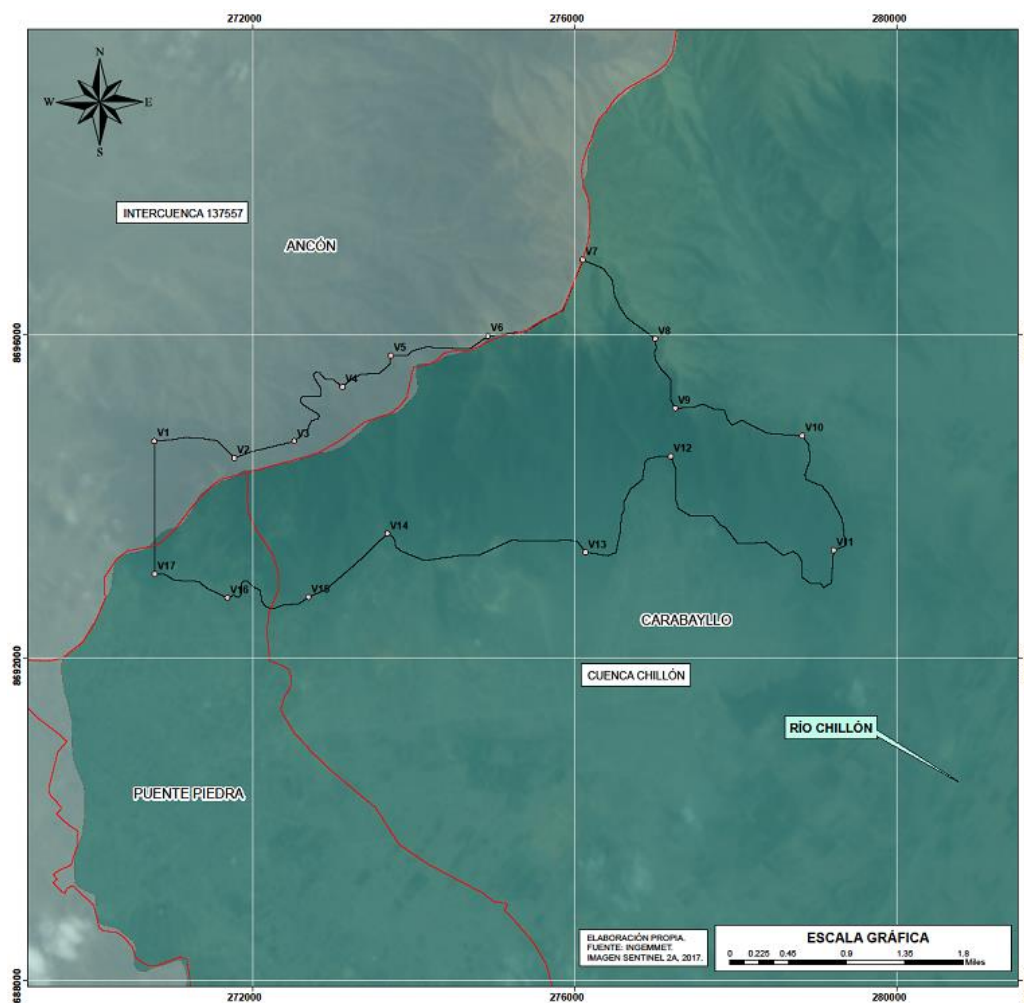
Es un terreno con las características propias de una estribación andina, donde predomina las laderas y quebradas de cerro. El relieve es muy diverso e irregular donde se observa suelo rocoso y arena fina. Como estructuras existentes tenemos al cementerio Lomas de Zapallal, asentamientos humanos de viviendas precarias y vías locales afirmadas.

Figura 83. Topografía de la Loma de Carabayllo



Elaboración propia. Fuente: INGEMMET

Figura 105. Hidrografía de la Loma de Carabayllo



Elaboración propia. Fuente: INGEMMET

5.2.7. Zonas de vida

El área de estudio se encuentra dentro del desierto desecado – subtropical (dd-S) que a continuación pasaremos a describir.

a) Desierto Desecado – Subtropical (dd-S)

Va desde los 0 msnm hasta los 1800 m.s.n.m. con un relieve topográfico en mayor medida plano con ligeras ondulaciones y en menor medida algunas zonas de pendiente más pronunciada. Esta es la zona característica de los valles costeros.

En esta zona la vegetación es muy escasa o inexistente y aunque con ayuda del riego es posible establecer una agricultura productiva a lo

largo de los últimos años su uso urbano ha sido el más extendido en nuestro territorio.

5.2.8. Suelos

Para el presente capítulo hemos considerado el estudio de suelos que se realizó para el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental del Proyecto Formalización, Saneamiento y Mejoramiento del Cementerio Público Lomas de Zapallal de la Municipalidad Distrital de Puente Piedra (ASAMRE S.A.C., 2013).

El suelo de la zona de estudio ha sido originado debido a sedimentos aluviales subrecientes, de poca permeabilidad, estratificados, tienen epipedón ócrico y un horizonte subsuperficial cálcico. Gracias a que existen relieves planos y ligeramente ondulados el drenaje natural es de bueno a moderado.

Para el presente estudio se realizó una calicata para determinar el tipo de suelo y los horizontes de la zona de estudio como se muestra a continuación:

Cuadro 4. Descripción del suelo Puente Piedra

SUELO LOMAS CARABAYLLO (perfil modal)		
Clasificación Natural: Soil Taxonomy (2006): Aridic Calciustepts. Fisiografía :Lomada. Pendiente: 8 - 15%. Relieve: Plano – cóncavo. Zona de Vida: Desierto desecado – Subtropical (dd – S). Material Parental: Aluvial cuaternario. Vegetación: Escasa.		
Horizonte	Prof/cm	DESCRIPCIÓN
Ah	0 - 50	Franco Arenoso; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco, sin estructura (masiva), ligeramente duro, reacción neutra (pH 7,02), moderadamente salino (C.E. 6,3 dS/m),

		contenido bajo en materia orgánica (1,5%), sin raíces, permeabilidad moderada. Límite de horizonte abrupto al Bk.
Bk	50 - 120	Franco Arenoso a Arena franca, gris claro (10YR 7/1) en seco, masivo, duro, reacción neutra a ligeramente alcalina (pH 7,47 – 7,71), ligeramente salino (C.E. 2,66 – 4,0 dS/m), contenido bajo en materia orgánica (0,19 – 0,21%), sin raíces, permeabilidad moderadamente lenta.
		

Elaboración Propia. Fuente: PAMA Proyecto Formalización, Saneamiento y Mejoramiento del Cementerio Público Lomas de Zapallal, Municipalidad Distrital de Puente Piedra y ASAMRE S.A.C., 2013

5.3. Aspectos socioeconómicos

5.3.1. Demografía

5.3.1.1. Población por grupos especiales de edad

A continuación, mostraremos las poblaciones de los tres distritos: Ancón con 33,367 habitantes, Carabayllo con 213,386 habitantes y Puente Piedra con 233,602 habitantes. El cuadro muestra claramente como en

los distritos de Ancón y Carabayllo la población es predominantemente infantil (0-14 años) mientras que en el distrito de Puente Piedra la población es predominantemente joven (15-29 años).

Cuadro 5. Población por grupo de edad y sexo

POBLACIÓN TOTAL POR GRUPOS ESPECIALES DE EDAD, SEGÚN DISTRITO					
Distrito	Grupo especial de edad				
	Infantil 0-14	Joven 15-29	Adulta joven 30-44	Adulta 45-59	Adulta mayor 60 a más
Ancón	10128	9319	7431	4211	2278
Carabayllo	63635	61375	48400	25621	14355
Puente Piedra	70493	72785	51468	26377	12479

Elaboración Propia. Fuente: INEI (2007).

5.3.1.2. Régimen de tenencia de vivienda

Si bien en los tres distritos que comprenden el área de estudio la tenencia predominante es la vivienda propia totalmente pagada, un porcentaje significativo (entre el 10 y 11%) son propias por invasión, es decir que han sido construidas y el hogar no cuenta con derecho de propiedad reconocido sobre dicha vivienda ni el terreno según datos del INEI del año 2007.

Cuadro 6. Población Económicamente Activa por condición de sexo y ocupación.

REGIMEN DE TENENCIA DE VIVIENDA, SEGÚN DISTRITO						
Distrito	Tipos de Viviendas					
	Particulares alquiladas	Particulares propias por invasión	Particulares propias pagándolas a plazos	Particulares propias totalmente pagadas	Particulares cedidas por el centro de trabajo/otro hogar/institución	Con otra forma de tenencia
Ancón	559	870	482	5398	322	605
Carabayllo	4056	4798	4835	29651	1313	2280
Puente Piedra	4884	5801	4427	32401	1219	2418

Elaboración Propia. Fuente: INEI (2007)

5.3.1.3. Situación actual

La situación actual, es crítica debido a que se realizan actividades antrópicas que ponen en riesgo el equilibrio ecológico. De las actividades perjudiciales tenemos:

- a) **La expansión urbana:** Es un fenómeno que concentra gran parte de la población en las periferias de la ciudad metropolitana de Lima, entre ellas se encuentran involucrados los distritos de Puente Piedra, Ancón y Carabaylo; a lo largo de la historia este crecimiento fue de forma horizontal y desordenada, ocupando vastos territorios no aptos para viviendas tales como riveras de ríos, laderas de cerros, lomas costeras, etc. La ocupación urbana en lomas costeras es un problema presente en las lomas limeñas como es el caso de las lomas de Carabaylo. Los asentamientos humanos carecen de equipamientos urbanos que favorecen al bienestar de la población.

- b) **Déficit de la gestión municipal:** Si bien es cierto no sólo es responsabilidad de los municipios locales conservar las lomas costeras, pero son los principales responsables de la ocupación de las lomas por asentamientos humanos informales, toleran y aceptan la presencia de traficantes de terrenos que comercializan áreas para vivienda. De acuerdo con la zonificación del Instituto Metropolitano de Planificación de la Municipalidad Metropolitana de Lima mediante la Ordenanza N°620-MML determina que las áreas de lomas deberían tener usos como PTP (Protección y Tratamiento Paisajista), OU (Otros Uso), entre otros. Mencionada Ordenanza no se ve respetado por los municipios distritales.

- c) **Tráfico de terrenos:** Extensas áreas de la Loma de Carabaylo han sido ocupadas por traficantes de terreno, cuya finalidad es hacerse de terrenos para poder lucrar con su venta. Existe un mercado informal donde uno puede adquirir un predio en precarias condiciones. La forma de cómo operan estos traficantes es ocupar a

la fuerza espacios inhabitados, coludirse con alguna autoridad municipal corrupta y posteriormente formar una asociación de vivienda o un asentamiento humano, para finalmente comercializar los lotes informales.

d) Cementerio: Dentro de la Loma de Carabayllo existe el “Cementerio Público Lomas de Zapallal” que genera una afluencia de gente durante todo el año ocasionando un impacto constante. Este cementerio data del año 2000, ha tenido proyectos para volverlo en un cementerio ecológico sin mayores resultados.

e) Agricultura y granjas porcina: Estas actividades, ocurren a pequeña escala.

De las actividades beneficiosas se aprecian:

f) Protección: La Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre del Ministerio de Agricultura ha tomado medidas para la protección y conservación para once “ecosistemas frágiles” (diez lomas costeras y una laguna) se puede detallar en el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Relación de ecosistemas frágiles

Nº	ECOSISTEMA FRÁGIL
1	Lomas de Lúcumo
2	Lomas de Lurín
3	Lomas de Pachacámac
4	Lomas Paloma
5	Lomas Pacta
6	Lomas de Villa María del Triunfo
7	Lomas Retamal
8	Lomas de Amancaes
9	Lomas de Manchay
10	Lomas de Carabayllo
11	Laguna de Paca

Fuente: (Lleellish et al., 2015).

CAPITULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Clasificación de flora de la cobertura vegetal

Para el desarrollo de este proceso se realizó una evaluación de campo y posteriormente una clasificación y análisis de las especies en gabinete.

6.1.1. Técnicas de Recolección de datos para la flora

Se estableció 2 parcelas de evaluación de 20 m x 5m en el sector Zapallal de la Loma de Carabayllo. Ambas parcelas se subdividieron en 4 subparcelas de 5 m x 5 m. La evaluación se llevó a cabo el mes de julio del año 2013. El tiempo que tomó la evaluación de cada parcela fue de 2 horas y se realizó en un mismo día.

Cuadro 10. Evaluación de la flora

UBICACIÓN DE PARCELAS



Imagen Google Earth,
2013

PARCELA DE EVALUACIÓN Ve-01

- Dimensión de Parcela: 20 m. x 5 m.
- Dimensión de Subparcelas: 5 m. x 5 m.
- Ubicación: Coordenadas UTM WGS84 18L
E: 271604.00 m
S: 8693162.00 m
Altitud: 546 m.s.n.m.



Imagen Google Earth,
2013

PARCELA DE EVALUACIÓN Ve-02

- Dimensión de Parcela: 20 m. x 5 m.
- Dimensión de Subparcelas: 5 m. x 5 m.
- Ubicación: Coordenadas UTM WGS84 18L
E: 271468.00 m
S: 8693145.00 m
Altitud: 537 m.s.n.m.

Elaboración propia. Fuente: ASAMRE S.A.C.

6.1.2. Análisis e interpretación de la información

Para la clasificación de la flora se utilizó la clasificación propuesta por el APG III (Reveal & Chase, 2011) para identificar los especímenes al nivel taxonómico de familia, género y especies.

6.1.3. Resultados

El área evaluada mostró el 20.5% de la cobertura vegetal, mientras que el 79.5 % correspondió a suelo desnudo. Se registró 665 individuos de hierbas, de los cuales se identificó a 4 familias y 7 especies botánicas que pasamos a detallar en el cuadro N° 10.

Cuadro 71. Clasificación de la flora

FAMILIA	ESPECIE	CANTIDAD	PORCENTAJE
Solanaceae	<i>Nicotiana paniculata</i>	285	42.90%
	<i>Solanum aff. multifidum</i>		
	<i>Solanum montanum</i>		
Urticaceae	<i>Pilea sp.</i>	190	28.60%
	<i>Urtica sp.</i>		
Amaranthaceae	<i>Atriplex rotundifolia</i>	95	14.30%
Portulacaceae	<i>Portulacaceae sp.</i>	95	14.30%
Cantidad Total		665	100%

Elaboración propia. Fuente: ASAMRE S.A.C. 2013

El inventario nos muestra familias de flora de bajo follaje como son: Solanaceae, Urticaceae, Amaranthaceae y Portulacaceae. Las familias que conforman el inventario mostrado se encuentran también dentro de la Guía de Flora de las Lomas de Lima (Lleellish et al., 2015) a excepción de la familia Portulacaceae. Este tipo de flora por sus características de follaje limitado y poco denso presentarán presumiblemente valores de NDVI más bajos que la vegetación promedio que posee, según Chuvieco (1995) con un umbral crítico de NDVI en torno a 0.20, por lo que los umbrales para el NDVI deberán ser contrastados con muestras tomadas en campo.

6.1.4. Discusión

Los resultados obtenidos fueron la fotografía del momento, esto quiere decir, no son una constante para el área evaluada, debido a que estamos en un ecosistema temporal cuya cobertura vegetal puede variar a lo largo de los años o incluso meses. Los valores obtenidos en el momento de la toma de muestra fueron de: 20.5 % para cobertura vegetal y 79.5% para suelo desnudo.

6.2. Determinar la variación multitemporal de la cobertura vegetal y la expansión urbana.

6.2.1. Procesamiento digital de imágenes satelitales.

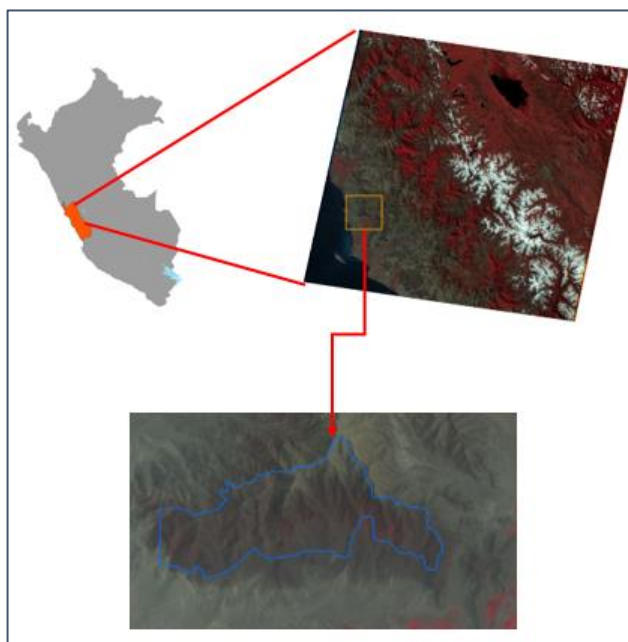
6.2.1.1. Selección imágenes

En esta fase se establecerán los criterios para la selección de imágenes y sus correcciones básicas.

Definimos como coordenadas límites en el sistema de coordenadas UTM y datum WGS 84 18S las siguientes:

N: 8696929 m S: 8692607 m W: 270785 m E: 279373 m

Figura 16. Ubicación de la Loma de Carabayllo



Fuente: Elaboración propia

Para seleccionar las imágenes satelitales tomamos la calidad de la imagen en el sentido de que las coberturas de nubes de estas no fueran mayores al 5% en el polígono de las lomas costeras. Las imágenes del periodo vegetativo de lomas estaban cubiertas por neblinas impidiendo la visualización total o parcial de las lomas de Carabayllo, fue necesario revisar más de cientos de imágenes, de los cuales se descargaron 31 y se seleccionaron las 6 mejores. Finalmente, se han utilizado las siguientes:

- Landsat TM 5: Se utilizaron imágenes Landsat 5 del sensor TM (Thematic Mapper), con un nivel de procesamiento L1TP, proporcionadas por la USGS. El Path/Row de las imágenes es 007/068.
- Sentinel 2A: Se utilizaron imágenes del sensor europeo Sentinel 2A 1C, imágenes de mejor resolución espacial que las LANDSAT, pero que tienen la limitación de solo poseer tomas actuales, el acceso a las fue a través del portal de la USGS.

Cuadro 82. Datos de imágenes del sensor TM del satélite Landsat – 5, Path / Row: 008/067

IMAGEN	SENSOR	ESCENA	FECHA
MSIL1C_20170928	Sentinel 2A	MSIL1C	28/09/2017
007068_20101030	Landsat 05	07/68	30/10/2010
007068_20081109	Landsat 05	07/68	9/11/2008
007068_20040927	Landsat 05	07/68	27/09/2004
007068_19950903	Landsat 05	07/68	3/09/1995
007068_19861028	Landsat 05	07/68	28/10/1986

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 93. Características de las imágenes Landsat-5 TM descargadas de la USGS

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
Tipo de Producto	Imagen L1T (Precision, Terrain Corrected) - ortorrectificada
Formato de Imagen	Archivo GeoTIFF
	Metadato en formato texto
	30 m Multiespectral

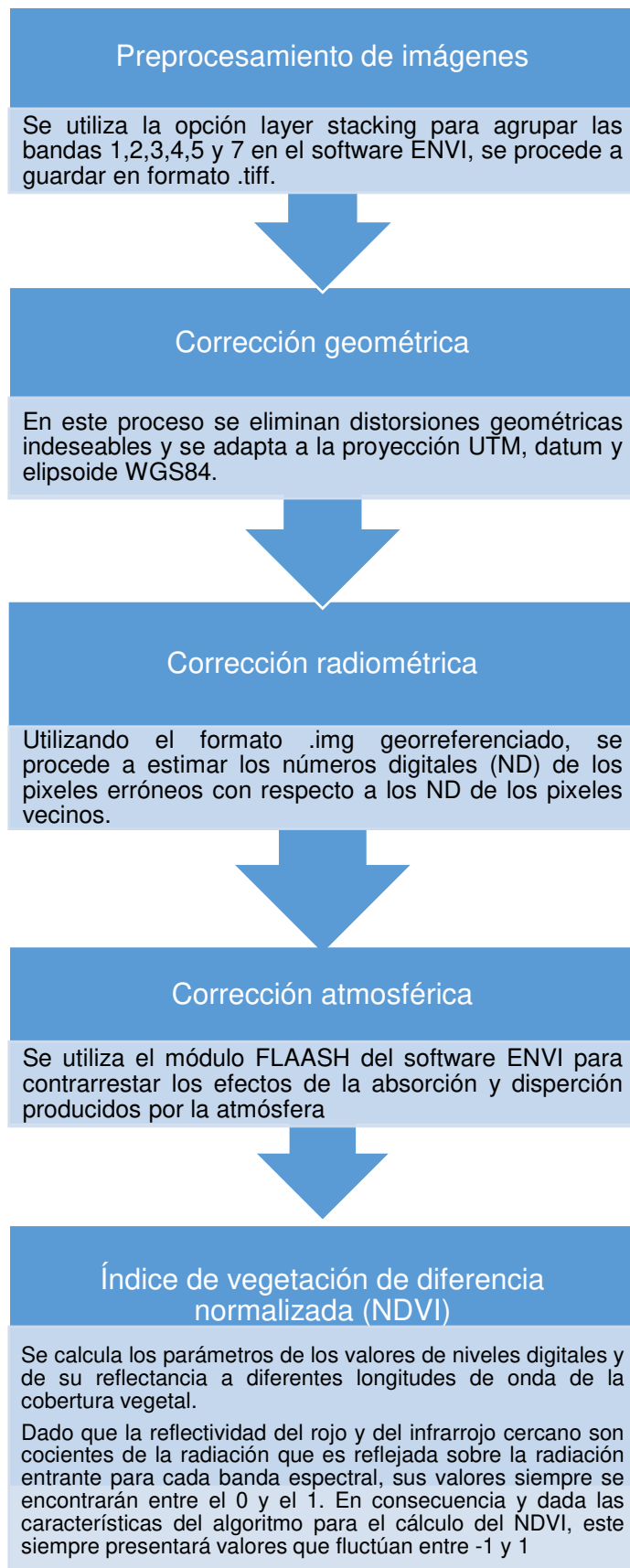
Espaciamiento de pixel		
Tamaño de Producto	185 x 185 km	
Correcciones Geométricas	Proyectadas a un datum y proyección cartográfica, usando un Modelo Digital de Elevación (SRTM) y puntos de control terrestre (GCP)	
Datum Horizontal	WGS84	
Proyección Cartográfica	UTM (Universal Transversa de Mercator)	
Bandas Espectrales	7 bandas:	
	Azul (Blue)	450 – 520 nm
	Verde (Green)	520 – 600 nm
	Rojo (Red)	630 – 690 nm
	Infrarrojo cercano (VNIR)	760 – 900 nm
	Infrarrojo Medio (SWIR1)	1550 – 1750 nm
	Infrarrojo Termal (TIR)	1040 – 1250 nm
	Infrarrojo de Onda Corta (SWIR2)	2080 – 2350 nm
Resolución Radiométrica	8 bits	

Elaboración propia. Fuente: U.S. Geological Survey

6.2.1.2. Definición del intervalo de tiempo entre imágenes

Considerar de uno a diez años de intervalo de tiempo es suficiente para realizar un análisis multitemporal de la cobertura de la tierra, debido al largo periodo del análisis multitemporal del presente estudio, asimismo de la limitación que se tiene de la disponibilidad de imágenes de diferentes sensores por el tiempo y clima, se estimó trabajar con un período de diez años, como máxima temporalidad.

6.2.1.3. Esquema de procesamiento de imágenes en el ENVI

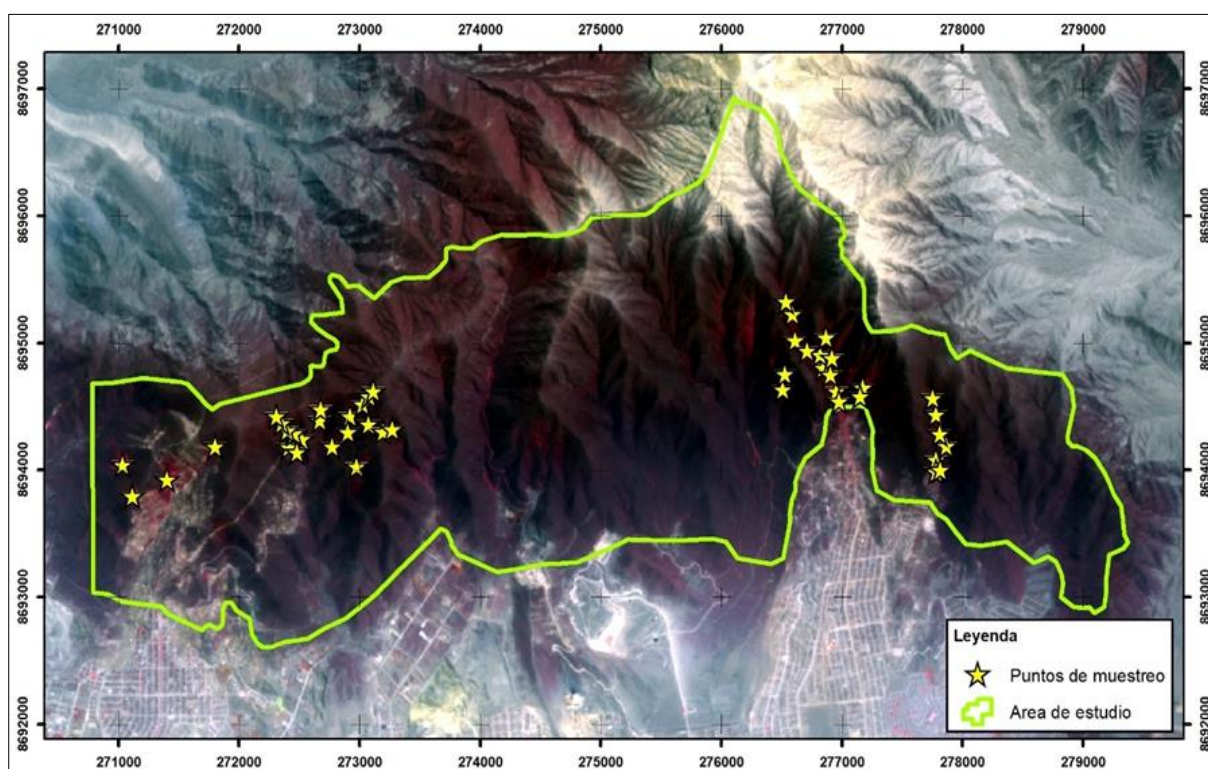


6.2.2. Muestras de campo

El objetivo de este proceso es el reconocimiento total del área de estudio, cuya observación nos permite planificar las demás actividades. A su vez, recopilamos muestras mediante la toma de fotos de las diferentes coberturas con sus respectivas coordenadas que, posteriormente, sirvieron para validar los productos cartográficos finales. Para esta actividad se dispuso de: Mapa base impreso, GPS Garmin, libreta de apuntes, cámara fotográfica y RPAS.

Se recogieron un total de 45 puntos de control que muestran una alta presencia de vegetación típica de las lomas costeras, los cuales se pueden ver distribuidos en la imagen. Las coordenadas de los puntos se pueden apreciar en el anexo 01.

Figura 117. Puntos de muestreo de campo



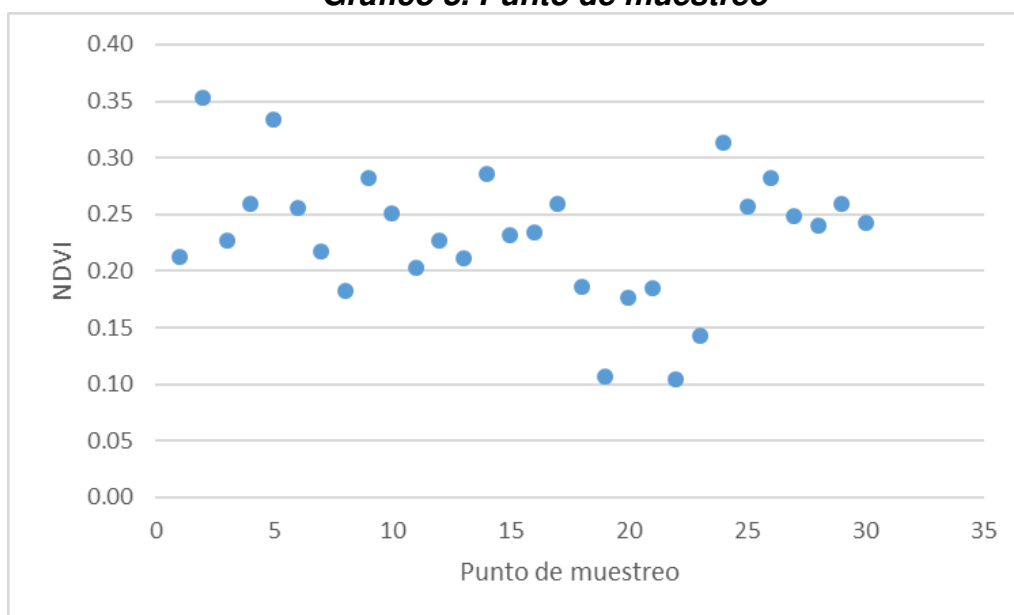
Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Procedimiento de la clasificación de NDVI

Para esta etapa del proceso se necesitó hallar un rango del NDVI para determinar la presencia de las lomas en la zona de estudio. Para esto fue necesario usar la imagen satelital más actual que fue la Sentinel 2A de la fecha 28/09/2017 a la cual se procedió calcular su NDVI y se sobrepuso un total de 30 puntos que se recogieron en campo (los 15 restantes se usaron para la etapa de validación de clasificación), haciendo que cada punto extraiga los valores de NDVI sobre el que se encuentran y se obtuvo los resultados de la gráfica 9.

Mediante los puntos de control pudimos precisar que las superficies que poseen escasa cobertura vegetal dispersa y de bajo vigor están dentro del rango de 0.10 a 0.15 en NDVI; mientras que la superficie que posee cobertura vegetal densa y casi continua tienen un NDVI superior a 0.15, por lo cual se decidió fijar el umbral crítico en 0.1.

Gráfico 8. Punto de muestreo



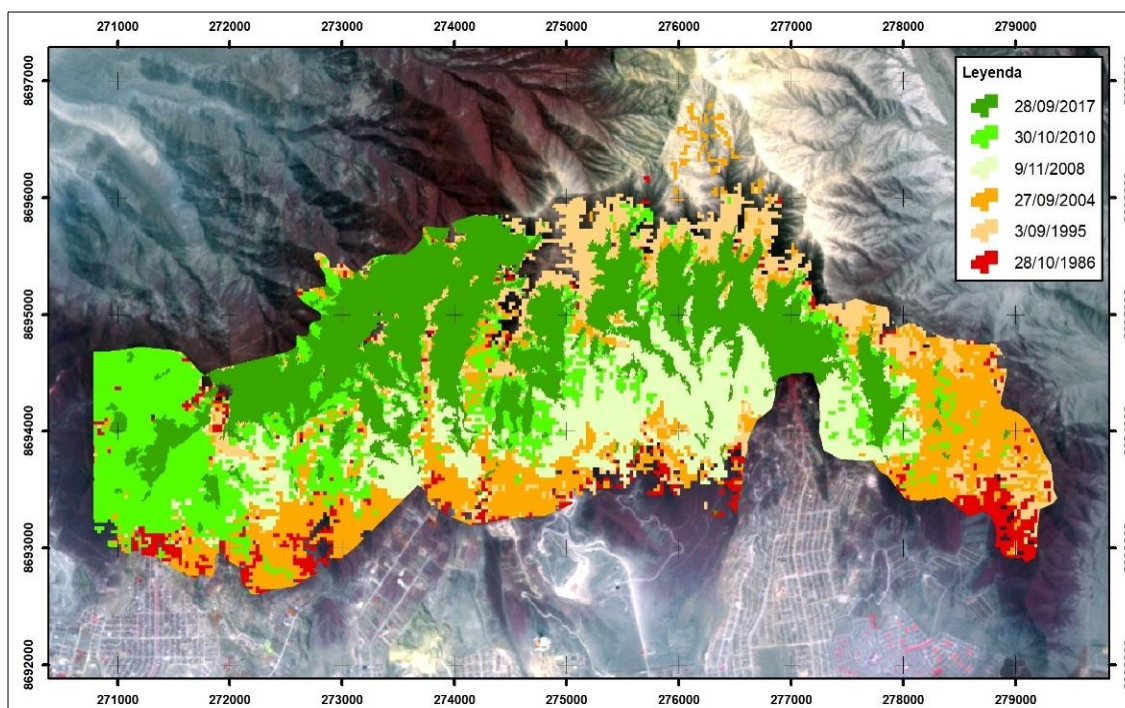
Fuente: Elaboración propia

6.2.4. Validación de clasificación

Con los 15 puntos de campo restantes que no fueron usados en la etapa de clasificación, se usaron para la validación de la clasificación en la cual se sobrepusieron a la clasificación resultante, haciendo que todos estos caigan dentro de la clase de lomas costeras. Con esto se comprobó que

los rangos para determinar la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo es el adecuado; se fijó este rango para las demás imágenes del estudio.

Figura 128. Cobertura vegetal



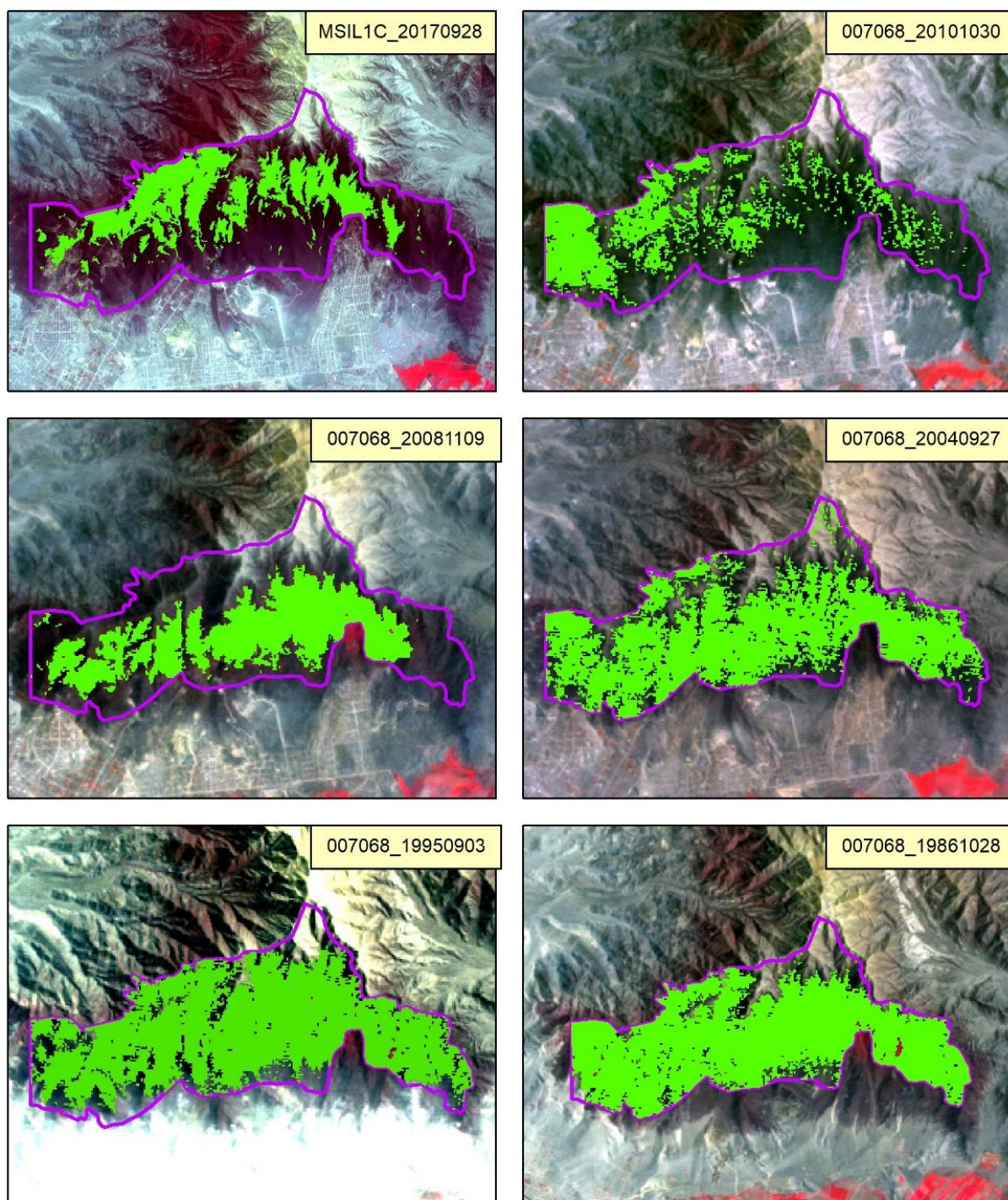
Fuente: Elaboración propia

6.2.5. Variación de la superficie de la cobertura vegetal frente la expansión urbana

6.2.5.1. Análisis multitemporal

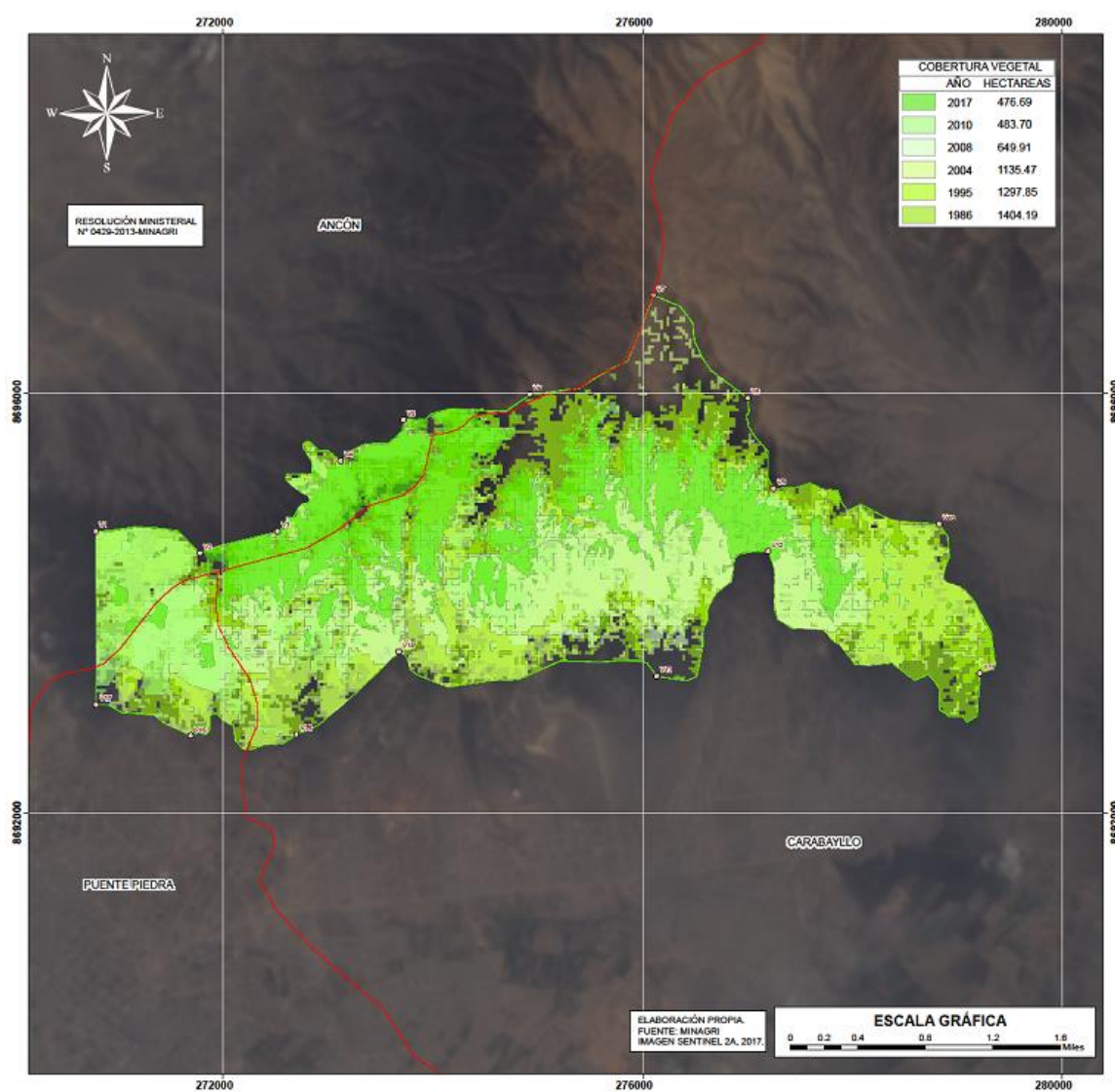
Una vez que se determinó la cobertura vegetal de lomas para cada imagen satelital, se procedió a determinar el área de cada una. En la figura 17 se puede observar que existe un retroceso gradual de la superficie de lomas cada año como se muestra en la imagen (para ver su evolución por cada imagen satelital revisar el anexo 3). Con respecto al casco urbano recién se tiene evidencia de su ingreso dentro del área de estudio en el año 2008, estos fueron digitalizados para cada imagen, también se procedió a calcular su superficie.

Figura 19. Evolución anual de la superficie de lomas



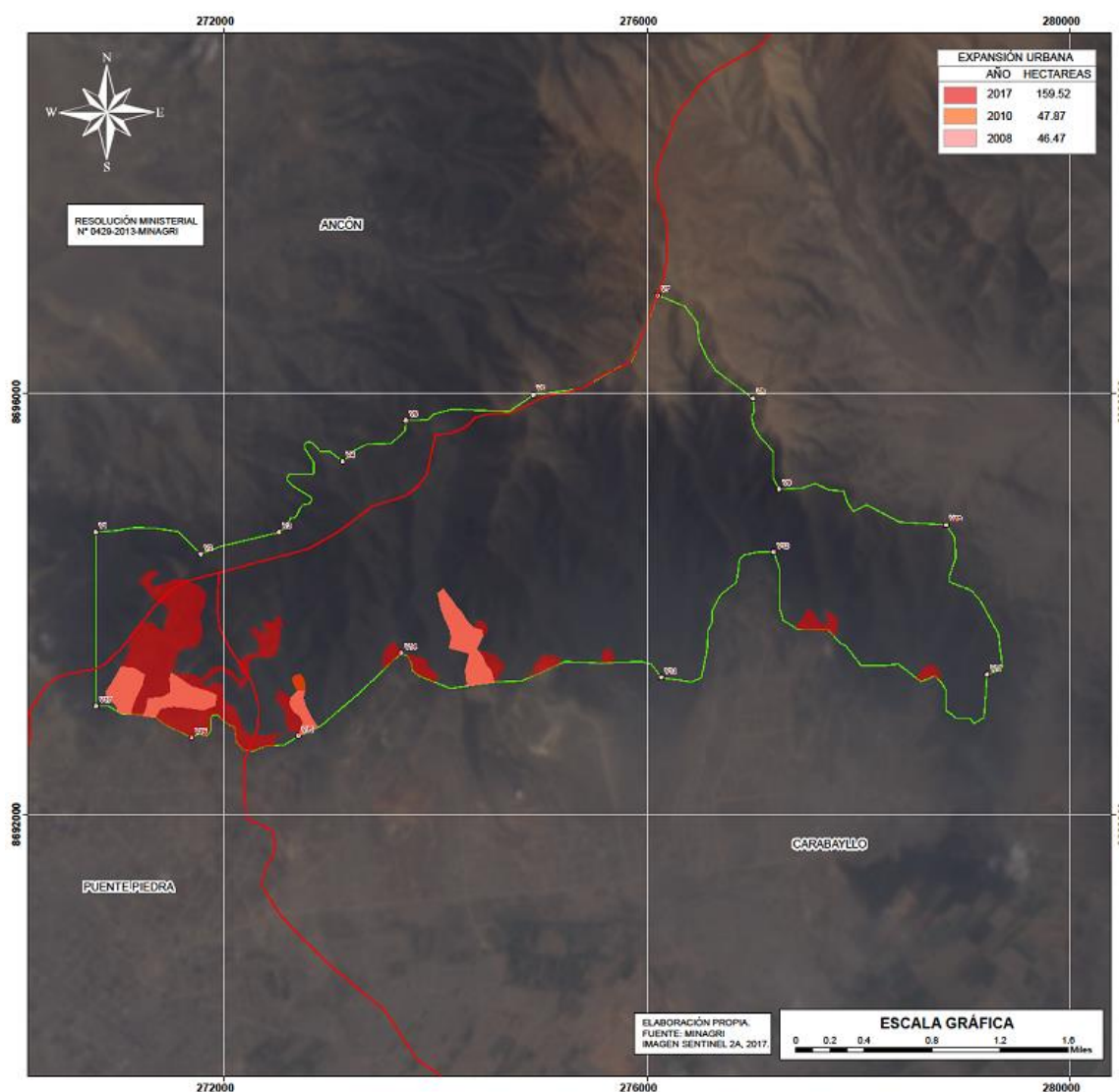
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia

Figura 131. Mapa de expansión urbana



Fuente: Elaboración propia

6.2.5.2. Matrices de transición

Las matrices de transición utilizadas fueron las propuestas por Pontius et al. (2004) que se utilizan para realizar procesos de cambios de cobertura y usos del suelo; y para ellos es necesario por lo menos 2 imágenes de tiempos distintos para que se puedan superponer. El orden con el que se organizan las matrices es colocar las categorías de la fecha inicial (t1) en las filas y las de fecha final (t2) en las columnas, la diagonal de la matriz muestra la cantidad total del área.

Cuadro 104. Matriz de cambio de uso de suelo-1995

MATRIZ DE CAMBIO DE USO DE SUELO			3/09/1995	
			Suelo desnudo	Cobertura vegetal
			1	2
28/10/1986	Suelo desnudo	10	217.43	146.13
	Cobertura vegetal	20	252.48	1151.72

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 115. Matriz de cambio de uso de suelo-2004

MATRIZ DE CAMBIO DE USO DE SUELO			27/09/2004	
			Suelo desnudo	Cobertura vegetal
			1	2
3/09/1995	Suelo desnudo	10	280.91	188.99
	Cobertura vegetal	20	351.37	946.48

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 126. Matriz de cambio de uso de suelo-2008

MATRIZ DE CAMBIO DE USO DE SUELO			9/11/2008		
			Suelo desnudo	Cobertura vegetal	Expansión urbana
			1	2	3
27/09/2004	Suelo desnudo	10	557.21	58.57	16.50
	Cobertura vegetal	20	514.16	591.35	29.97

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 137. Matriz de cambio de uso de suelo-2010

MATRIZ DE CAMBIO DE USO DE SUELO			30/10/2010		
			Suelo desnudo	Cobertura vegetal	Expansión urbana
			1	2	3
9/11/2008	Suelo desnudo	10	827.34	242.62	1.40
	Cobertura vegetal	20	408.84	241.07	-
	Expansión urbana	30	-	-	46.47

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 148. Matriz de cambio de uso de suelo-2017

MATRIZ DE CAMBIO DE USO DE SUELO			28/09/2017		
			Suelo desnudo	Cobertura vegetal	Expansión urbana
			1	2	3
30/10/2010	Suelo desnudo	10	899.39	280.84	55.96
	Cobertura vegetal	20	232.15	195.86	55.69
	Expansión urbana	30	-	-	47.87

Fuente: Elaboración propia

6.2.6. Resultados

La cobertura vegetal del ecosistema de Loma de Carabayllo ha variado su extensión desde el año 1986 hasta el 2017, pasamos a detallar los resultados seguidamente:

- Año 1986: 1404.19 ha.
- Año 1995: 1297.85 ha
- Año 2004: 1135.47 ha.
- Año 2008: 649.91 ha.
- Año 2010: 483.70 ha.
- Año 2017: 476.69 ha.

La expansión urbana dentro de las lomas de Carabayllo se inicia en el año 2008, con la presencia de los primeros asentamientos humanos informales permanentes, creciendo notablemente hasta el 2017; en los años anteriores al 2008 no se llega apreciar presencia urbana dentro de las lomas, pasamos a detallar los resultados seguidamente:

- Año 2008: 46.47 ha.
- Año 2010: 47.87 ha.
- Año 2017: 159.52 ha.

La cobertura vegetal potencial de las lomas de Carabayllo nos permite determinar la superficie potencial de la presencia de la cobertura vegetal dentro del área, quiere decir, en qué lugares es posible el crecimiento de vegetación en el transcurso de los años. Para determinar la cobertura vegetal potencial fusionamos las extensiones de cobertura vegetal de los

años: 1986, 1995, 2004, 2008, 2010 y 2017. obteniendo como resultado una extensión de 1609.75 ha. de las 1767.75 ha que el Ministerio de Agricultura y Riego define para la superficie de Loma de Carabayllo.

Cuadro 19. Evolución de la cobertura vegetal y expansión urbana

FECHA	SUPERFICIE (HA)	
	LOMAS	CASCO URBANO
28/09/2017	464.8	159.52
30/10/2010	498.2	47.87
9/11/2008	659.1	46.46
27/09/2004	1135.5	-
3/09/1995	1297.8	-
28/10/1986	1404.2	-

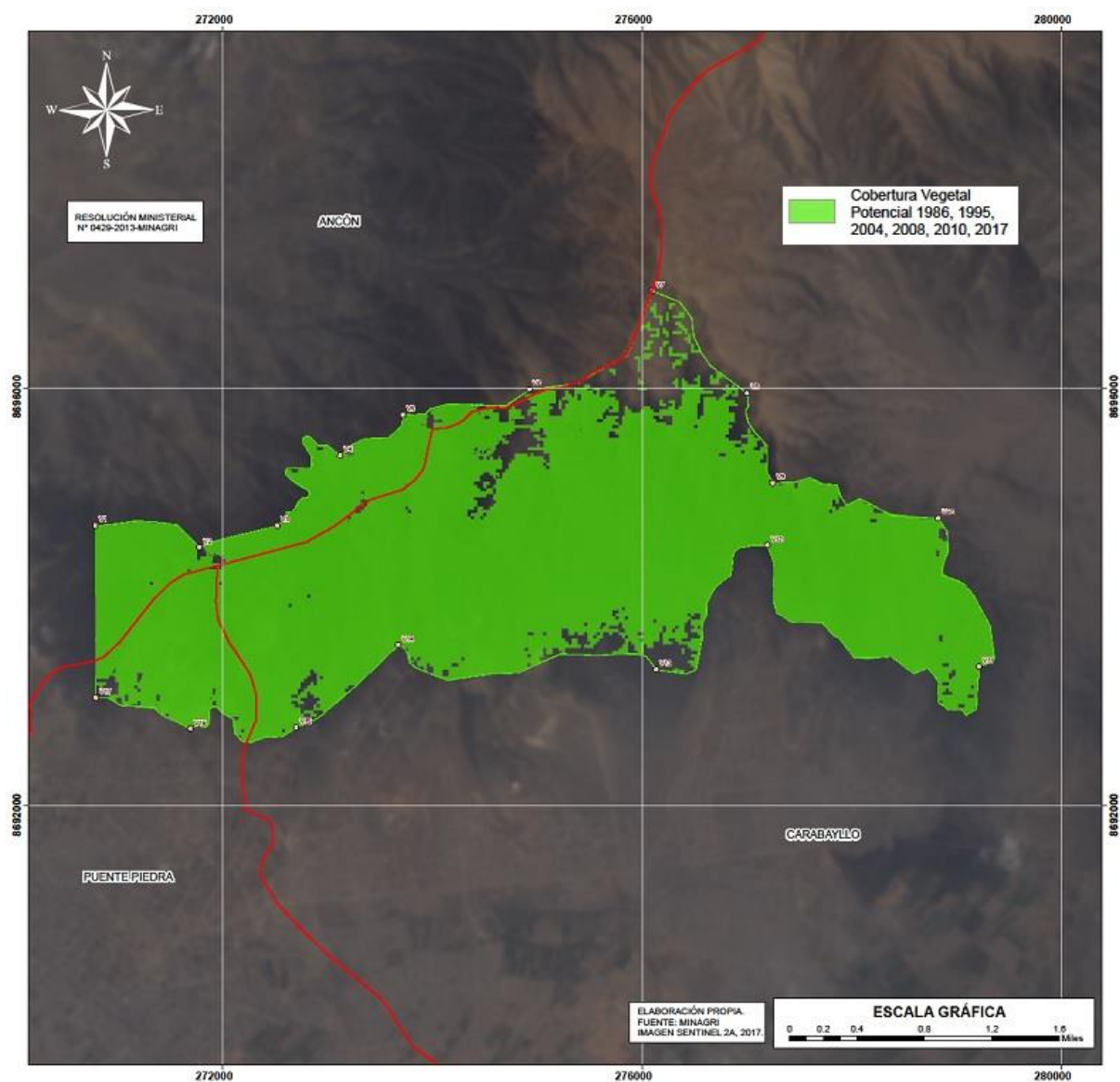
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 150. Resumen

SUPERFICIE	HECTÁREAS
Lomas de Carabayllo	1767.75
Cobertura Vegetal Potencial	1609.75
Expansión Urbana	159.52

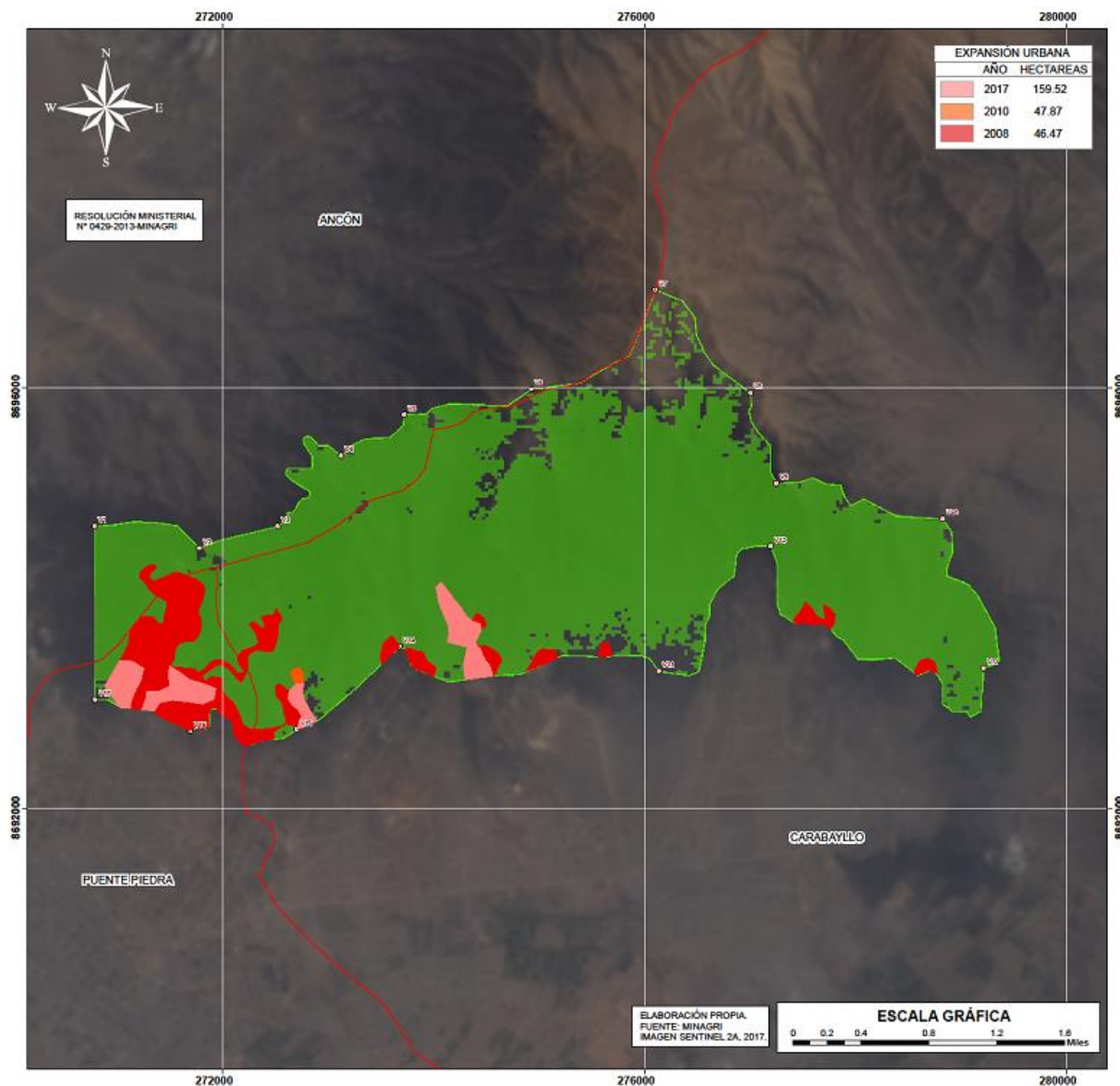
Fuente: Elaboración propia

Figura 142. Mapa de cobertura vegetal potencial



Fuente: Elaboración propia

Figura 153. Mapa de expansión urbana frente a la cobertura vegetal potencial



Fuente: Elaboración propia

6.2.7. Discusión

Si bien es cierto, la cobertura vegetal puede variar debido a factores climáticos, quiere decir, una determinada área puede pasar de suelo desnudo a suelo con cobertura vegetal de un año a otro, esta dinámica está en función a la presencia de humedad en el ambiente (a mayor humedad mayor cobertura vegetal); la cobertura vegetal potencial determina las áreas dónde la cobertura vegetal podría ser recuperada o

volver a cubrir el suelo si es que ningún agente antrópico lo impidiese. La presencia de asentamientos humanos en el área es una alteración significativa que perjudica considerablemente al desarrollo de la cobertura vegetal. Por lo tanto, se considera que el área de expansión urbana resta la superficie potencial de cobertura vegetal, dando como resultado las siguientes cifras:

- En el año 2008, la superficie de cobertura vegetal potencial se reduce a 1563.28 ha.
- En el año 2010, la superficie de cobertura vegetal potencial se reduce a 1561.88 ha.
- En el año 2017, la superficie de cobertura vegetal potencial se reduce a 1450.23 ha.

6.3. Estimación de la variación de la superficie de cobertura vegetal y la expansión urbana para un periodo de 10 años.

6.3.1. Estimación de la fase de la tasa anual de cambio

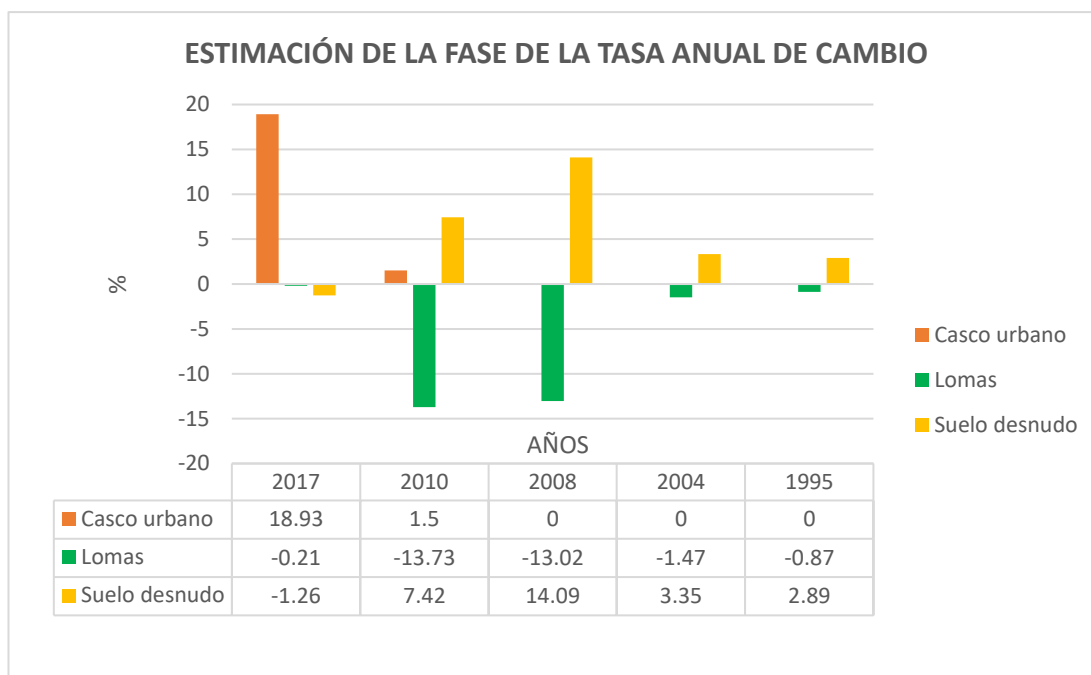
La tasa de cambio es un indicador de presión que permite conocer la magnitud y velocidad con que se está presentando este proceso, su evaluación es necesaria para conocer la dinámica y magnitud del cambio, así como sus efectos.

La mejor forma de cuantificar este proceso es mediante el análisis de la dinámica de la cubierta vegetal relacionándola con el espacio y el tiempo. La FAO propone la siguiente fórmula que expresa el cambio en porcentaje de la superficie del año inicial (Velázquez et al., 2002):

$$tc = \left[\left(S_2/S_1 \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

- tc = tasa de cambio (en %)
- S_1 = superficie en la fecha inicial
- S_2 = superficie en la fecha final
- n = diferencia de años entre fecha inicial y final

Gráfico 9. Estimación de la fase de la tasa anual de cambio

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente las matrices de transición sirvieron para realizar cálculos de las tasas de cambio de acuerdo con la ecuación de la FAO, por lo tanto, es posible determinar de una manera más clara las tasas de cambio de distintas categorías, por ejemplo, entre el año 2010 a 2017 el área urbana mostró una tendencia de mayor crecimiento, mientras que la categoría de lomas se muestra con una tendencia negativa o de reducción.

6.3.2. Determinación la tasa de cambio

Para poder determinar la tasa de cambio se aplicó la fórmula propuesta por la FAO ya mencionada lo que nos dio para los años de las imágenes trabajadas los valores que se muestran en el cuadro 21 para la cobertura vegetal y cuadro 22 para expansión urbana:

Cuadro 161. Determinación de la Tasa de Cambio para la Cobertura Vegetal

Año	Área	TC (%) anual
1986	1404.19	
1995	1297.85	-0.87
2004	1135.47	-1.47
2008	649.91	-13.02
2010	483.7	-13.73
2017	476.69	-0.21
TC (%) anual promedio		-5.86
Superficie al 2017 referente al 1986 (%)		33.95

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 172. Determinación de la Tasa de Cambio para la Expansión Urbana

Año	Área	TC (%) anual
2008	46.47	-
2010	47.87	1.5
2017	159.52	18.76
TC (%) anual promedio		10.13
Superficie al 2017 referente al 1986 (%)		29.13

Fuente: Elaboración propia

6.3.3. Resultados

Se usó el método de interpolación aritmética, aplicado por Alva Huayaney & Meléndez De La Cruz (2009). En base al proceso de NDVI que se realizó a las imágenes satelitales de los años 1986, 1995, 2004, 2008, 2010, 2017 se obtuvo la extensión de la superficie de la cobertura vegetal y expansión urbana, cuyas áreas (ha) calculadas en el programa ArcGIS se utilizaron para la siguiente formula:

$$P_x = P_0 + \frac{P_1 - P_0}{n} * t$$

Donde:

P_x : cantidad de hectáreas que se quieren conocer en el año x

P_0 : cantidad de hectáreas para el primer año

P_1 : cantidad de hectáreas para el último año

n : número de años entre P_0 y P_1

t : número de años entre el primer año y el año que se quiere conocer (es decir entre P_0 y P_x)

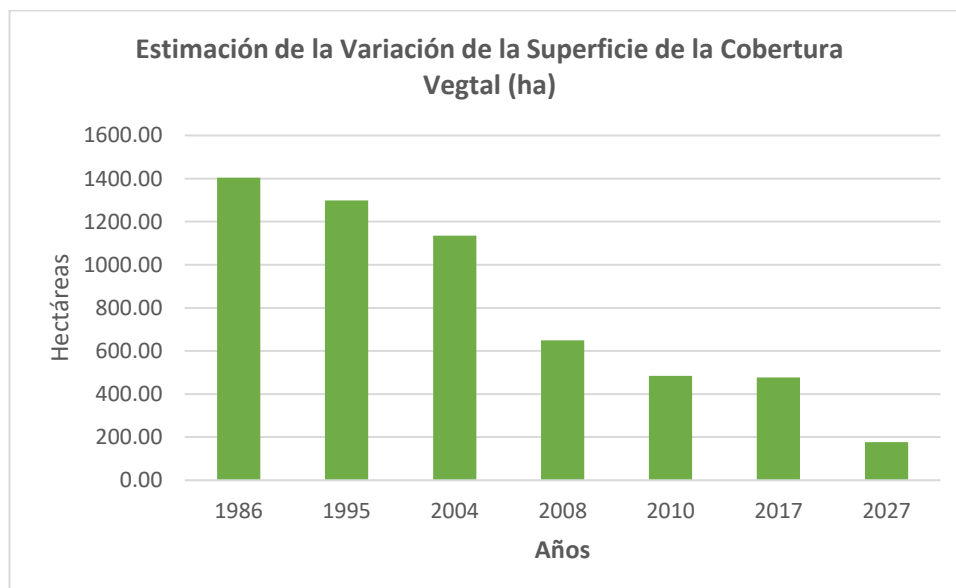
Con los datos obtenidos, se puede calcular la tendencia y predecir el escenario para el año 2027.

Cuadro 183. Estimación de la Variación de la Superficie de la Cobertura Vegetal

AÑO	SUPERFICIE (ha)	PROYECCIÓN COBERTURA VEGETAL (ha)						%
1986	1404.19	106.34						0.00
1995	1297.85		162.38					7.57
2004	1135.47			485.56				12.51
2008	649.91				166.21			42.76
2010	483.70					7.01		25.57
2017	476.69						299.19	1.45
2027	177.50							62.76

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 80. Estimación de la Variación de la Superficie de la Cobertura Vegetal



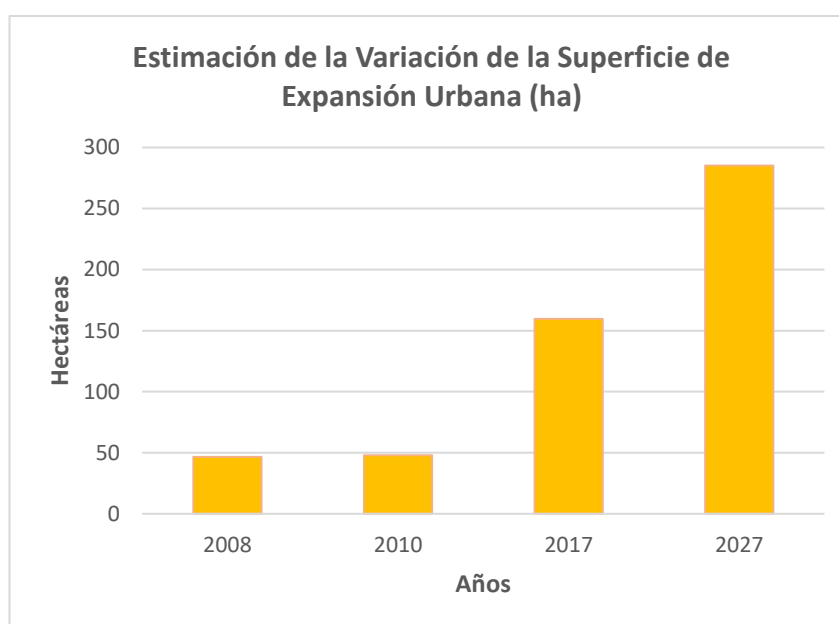
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 194. Estimación de la Variación de la Superficie de la Expansión Urbana

AÑO	SUPERFICIE (ha)	PROYECCIÓN EXPANSION URBANA (ha)			%
2008	46.47	1.40			0.00
2010	47.87		111.65		3.01
2017	159.52			125.61	233.24
2027	285.13				78.74

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 91. Estimación de la Variación de la Superficie de la Expansión Urbana



Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Discusión

Las tendencias nos muestran que para el año 2027 la expansión urbana llegaría a 285.13 hectáreas de ocupación sobre el área de la Loma de Carabayllo generando una degradación de la cobertura vegetal potencial, sin embargo, este escenario se presentaría si no se lograra frenar la expansión urbana, y para ello es necesario la intervención de diversos actores como: instituciones públicas y privadas, profesionales independientes y ciudadanos en general; también, podría generarse un peor escenario, considerando la nula participación de los actores que junto al cambio climático harían que la pérdida de cobertura vegetal potencial en este ecosistema fuera mucho más severa.

CONCLUSIONES

Realizar la clasificación de la flora de la cobertura vegetal de la Loma de Carabayllo.

- En la clasificación de la flora se logró encontrar 665 individuos pertenecientes a 4 familias y 7 especies botánicas, de las especies encontradas, ninguna se encuentra en la categoría de especies amenazadas de flora silvestre D.S. 043-2006-AG; reflejando en porcentajes que el 20.50 % corresponde a cobertura vegetal y 79.50% corresponde a suelo desnudo.

Determinar la variación multitemporal de la cobertura vegetal y la expansión urbana dentro de la Loma de Carabayllo.

- La cobertura vegetal ha reducido su extensión considerablemente desde el año 1986 (1404.2 ha) hasta el 2017 (476.69 ha), mientras que la expansión urbana aparece el año 2008 (46.47 ha) y sostiene un crecimiento hasta el 2017 (159.52 ha). Si bien es cierto, la cobertura vegetal puede variar debido a factores climáticos, quiere decir, una determinada área puede pasar de suelo desnudo a suelo con cobertura vegetal de un año a otro, esta dinámica está en función a la presencia de humedad en el ambiente (a mayor humedad mayor cobertura vegetal). Es por esta dinámica que el suelo desnudo en un determinado año representa una cobertura vegetal potencial para años venideros, razón por la que la presencia de asentamientos humanos en el área es una alteración significativa que perjudica considerablemente al desarrollo de la cobertura vegetal potencial dado que dónde se instala el casco urbano resulta ya imposible que se recupere la cobertura vegetal.

Realizar una estimación de la variación de las superficies de cobertura vegetal y expansión urbana en el ecosistema de Loma de Carabayllo, para un periodo de 10 años

- La estimación de la variación de la superficie de la cobertura vegetal para el año 2027 disminuyó a 177.50 ha., mientras que la estimación de

la variación de la superficie de la expansión urbana para el año 2027 aumentó a 285.13 ha. La considerable disminución de la superficie de la cobertura vegetal se debe a factores naturales y antrópicos. Respecto a los factores naturales, siempre existe la posibilidad de que las lomas puedan recobrar el vigor de la cobertura vegetal en cualquier año. Por otro lado, la expansión urbana (factor antrópico) al ocupar permanentemente el suelo de lomas lleva a la desaparición total o parcial de la cobertura vegetal, por ende, la reducción del ecosistema. Si para el año 2027 tenemos un crecimiento urbano de 285.13 ha. nos lleva a que la superficie potencial de la cobertura vegetal disminuiría de 1609.75 ha a 1324.62 ha. y respecto a la superficie definida por el MINAGRI (1767.75 ha.) se reduciría a 1482.62 ha.

RECOMENDACIONES

- Para el desarrollo de esta investigación se hizo un análisis espaciotemporal cuyo insumo fueron imágenes satelitales históricas que nos ponen en evidencia un comportamiento invasivo de la expansión urbana sobre la cobertura vegetal a un ritmo acelerado; para lograr un control territorial y ubicar los puntos críticos, se recomienda analizar las imágenes satelitales 2 o más veces por año con la finalidad de supervisar las actividades antrópicas a una mayor frecuencia. Así mismo, se recomienda utilizar la fotogrametría con RPAS como complemento, de esta forma obtendríamos información con mayor detalle y precisión para un mejor control territorial.
- Debido a que uno de los factores limitantes en esta investigación fue el presupuesto económico, se recomienda a investigaciones futuras hacerse con una mayor financiación para los trabajos de campo además de apuntar a trabajar con imágenes satelitales de mayor resolución. Así mismo, las otras limitantes como la inseguridad ciudadana, la poca accesibilidad fueron cubiertas parcialmente con las tecnologías de información geográficas empleadas en el desarrollo de la presente investigación.
- Las lomas de Carabayllo están ubicados en 3 distritos cuyos límites no están fijados correctamente, de esta forma se genera una confusión en el límite de sus jurisdicciones; es necesario una correcta demarcación territorial y para eso se necesita contar con voluntad política para el cumplimiento de las normas que protegen el ecosistema de lomas. Así mismo se debe difundir el potencial, el rol y los servicios ambientales que cumplen las lomas en nuestra ciudad, de esta forma generar conciencia y contar con un apoyo social.
- Es necesario el desarrollo urbano y planificación territorial en las zonas aledañas a las lomas; de esta forma se evita las invasiones y el tráfico de terreno y generar actividades sostenibles dentro del área de lomas que aporten económicamente para la conservación.

- Se recomienda utilizar la presente investigación como base para futuras investigaciones, debido a que nuestra metodología aporta procesos técnicos que pueden ser mejorado mediante aportes multidisciplinarios.
- La presente investigación puede servir a las autoridades competentes como son los municipios distritales de Puente Piedra, Carabayllo y Ancón, además del Gobierno Regional de Lima, el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Ambiente; así mismo, del interés del sector privado y ONG's dedicados a la protección y conservación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva Huayaney, M. E., & Meléndez De La Cruz, J. F. (2009). Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciar en la Cordillera Blanca. *Investigaciones Sociales*, 13(22), 71–83.
<https://doi.org/10.15381/is.v13i22.7216>
- ASAMRE S.A.C. (2013). *PAMA Proyecto formalización, saneamiento y mejoramiento del cementerio público Lomas de Zapallal*.
- Astudillo Jara, S. I. (2020). *Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo e identificación de la fragmentación del paisaje mediante técnicas de percepción remota en el peri-urbano de la ciudad Cuenca* [Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34957>
- Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Informe técnico de resultados del primer monitoreo participativo de la calidad del agua en la cuenca del río Chillón*.
<https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/2971/ANA0001647.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bazant S., J. (2001). *Lineamientos para el ordenamiento territorial de las periferias urbanas de la ciudad de México*.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/pp/v7n27/v7n27a10.pdf>
- Brack, A., & Mendiola, C. (n.d.). *Enciclopedia "ECOLOGÍA DEL PERÚ."* Retrieved October 5, 2021, from <https://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. *Ediciones RIALP, S.A., Segunda edición*.
- del Castillo Ruiz, J. D. (2016). Estudio de la variación espacio - temporal de la comunidad vegetal de Las Lomas de Carabayllo (Lima, Perú) durante el 2013 como contribución a su gestión [Universidad Nacional Agraria La Molina]. In *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3167>
- Dillon, M. O. (2014). *The Solanaceae for the Lomas formations of Coastal Peru and Chile*. <https://www.researchgate.net/publication/265225534>
- Ferreyra, R. (1993). Registros de la vegetación en la Costa Peruana en relación con el fenómeno El Niño. *Boletín Del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 22(1), 259–266.
http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/CD_nino/pdf/spa/doc9284/doc9284.htm
- Gálvez Paredes, D. M. (2019). *Impacto de la expansión urbana sobre las lomas costeras del Perú*.
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1198>
- García Estarrón, E. J. (2008). El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua. In 2008.
<https://colef.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1014/203>

- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los Índices de Vegetación. *Revista de Teledetección*, 8. http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_4.pdf
- Gonzaga Aguilar, C. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/34487>
- Gudynas, E. (2000). La reconstrucción social de la naturaleza: la expansión urbana de Montevideo sobre ambientes costeros. *Theomai*, (1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12400112>
- Lleellish, M., Odar, J., & Trinidad, H. (2015). Guía de la Flora en Lomas de Lima. *SERFOR*. https://www.researchgate.net/publication/274374014_Guia_de_Flora_de_las_Lomas_de_Lima
- Lulla, K. (1985). Some observations on geobotanical remote sensing and mineral prospecting. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 11(1), 127–142. <https://doi.org/10.1080/07038992.1985.10855075>
- Luque Ordóñez, J. (2012). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. *ACTA*, 62, 17–31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5738106>
- Mas Monsonis, M. (2017). *Uso de la teledetección y los SIG en la vigilancia de la calidad del agua: aplicación al Mar Menor*. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/6353>
- Miyasiro López, M. G., & Ortiz Huamaní, M. A. (2016). Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014) [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. In *Repositorio de Tesis - UNMSM*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5281>
- Moschella Miloslavich, P. (2012). Variación y protección de humedales costeros frente a procesos de urbanización : casos Ventanilla y Puerto Viejo [Pontificia Universidad Católica del Perú]. In *Pontificia Universidad Católica del Perú*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4527>
- Nieuwland, B., & Mamani, J. M. (2017). Las lomas de Lima: enfocando ecosistemas desérticos como espacios abiertos en Lima metropolitana. *Espacio y Desarrollo*, 29, 109–133. <https://doi.org/10.18800/ESPACIOYDESARROLLO.201701.005>
- Orjuela López, D. L. (2016). *Estudio multitemporal por pérdida de la cobertura vegetal debido a la expansión urbana en la localidad de Engativá occidente de Bogotá mediante imágenes de satélite 1998-2014*. <https://repositorio.unimilitar.edu.co/handle/10654/15476>
- Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*, 17(3), 4–22. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/83>

- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2003.09.008>
- Reveal, J. L., & Chase, M. W. (2011). APG III: Bibliographical Information and Synonymy of Magnoliidae. *Phytotaxa*, 19, 71–134. <https://doi.org/10.11646/PHYTOTAXA.19.1.4>
- Reynel, C., Pennington, R. T., & Särkinen, T. (2013). *Cómo se formó la diversidad ecológica del Perú* (1st ed., Vol. 1). http://www.aprodes.org/pdf/diversidad_ecologica.pdf
- Rundel, P. W., Dillon, M. O., Palma, B., Mooney, H. A., & Gulmon, S. L. (1991). The Phytogeography and Ecology of the Coastal Atacama and Peruvian Deserts. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*, 13(1). <http://scholarship.claremont.edu/alisohttp://scholarship.claremont.edu/aliso/vol13/iss1/2>
- Sánchez Ramos, A. A. (2009). *Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en la cuenca del valle de Jesús de Otoro entre los años 2000-2006 aplicando técnicas de teledetección*. http://faces.unah.edu.hk/mogt/images/stories/PDF/Tesis/02_Tesis_Alexis_Sanchez_2009.pdf
- Sotomayor Melo, D. A., & Jiménez Milón, P. (2008). Condiciones meteorológicas y dinámica vegetal del ecosistema costero Lomas de Atiquipa (Caravelí - Arequipa) en el Sur del Perú. *Ecología Aplicada*, 7(1,2). <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a01v7n1-2.pdf>
- Sotomayor Melo, D. A., & Milón Jiménez, P. (2008). Patrones de Sucesión Vegetal: Implicancias para la conservación de las Lomas de Atiquipa del Desierto Costero del Sur del Perú. *Zonas Áridas*, 12(1), 74–96. <https://doi.org/10.21704/ZA.V12I1.190>
- Talavera D., C. (n.d.). *Agua y biodiversidad: El rol del agua de las neblinas en la conservación y manejo de la biodiversidad de los ecosistemas de lomas - Las Lomas de Atiquipa*. Retrieved October 6, 2021, from <https://www.minam.gob.pe/diadiversidad/wp-content/uploads/sites/63/2015/01/presentacion3.pdf>
- Velásquez Espinoza, M. (2013). *Variación de la composición florística de las Lomas de Tacahuay desde el pleistoceno hasta la actualidad (Tacna - Perú)* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/162>
- Velásquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62, 21–37. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf>

ANEXOS

Anexo 1

Puntos de control que muestran la presencia abundante de vegetación y su respectivo valore de NDVI

PUNTO DE CONTROL	x	y	NDVI
1	271801	8694186	0.21
2	271036	8694043	0.35
3	271401	8693926	0.23
4	271117	8693796	0.26
5	276954	8694624	0.33
6	277172	8694648	0.26
7	276843	8694806	0.22
8	276611	8695024	0.18
9	276507	8694638	0.28
10	276590	8695228	0.25
11	277779	8694083	0.20
12	277863	8694192	0.23
13	277776	8694438	0.21
14	272670	8694396	0.29
15	272921	8694425	0.23
16	273024	8694520	0.23
17	273079	8694580	0.26
18	272901	8694301	0.19
19	272770	8694188	0.11
20	272974	8694030	0.18
21	272520	8694247	0.18
22	272415	8694183	0.10
23	272480	8694142	0.14
24	276975	8694543	0.31
25	276902	8694752	0.26
26	276817	8694911	0.28
27	276914	8694884	0.25
28	276709	8694940	0.24
29	276525	8694757	0.26
30	277148	8694584	0.24
31	277777	8693990	0.10
32	277816	8694002	0.22
33	277810	8694284	0.20
34	277751	8694567	0.19
35	276534	8695327	0.15

PUNTO DE CONTROL	x	y	NDVI
36	276866	8695044	0.20
37	273113	8694621	0.13
38	272678	8694479	0.22
39	273072	8694360	0.12
40	273196	8694305	0.11
41	273270	8694322	0.16
42	272457	8694290	0.12
43	272399	8694314	0.14
44	272356	8694371	0.15
45	272308	8694424	0.12

Anexo 2

Fotografías del trabajo de campo para la verificación de la información

Foto 1. Asentamientos humanos informales



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 2. Tráfico y venta de terrenos



Fuente: Foto de los autores, octubre 2018

Foto 3. Validación en campo



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 4. Problemas de jurisdicción



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 5. Cementerio de Zapallal



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 2. Punto de control número 5



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 3. Punto de control número 7



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 4. Punto de control número 15



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 5. Punto de control número 18



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 6. Punto de control número 20



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 7. Punto de control número 31



Foto de los autores, octubre 2018

Foto 8. Punto de control número 34



Foto de los autores, octubre 2018

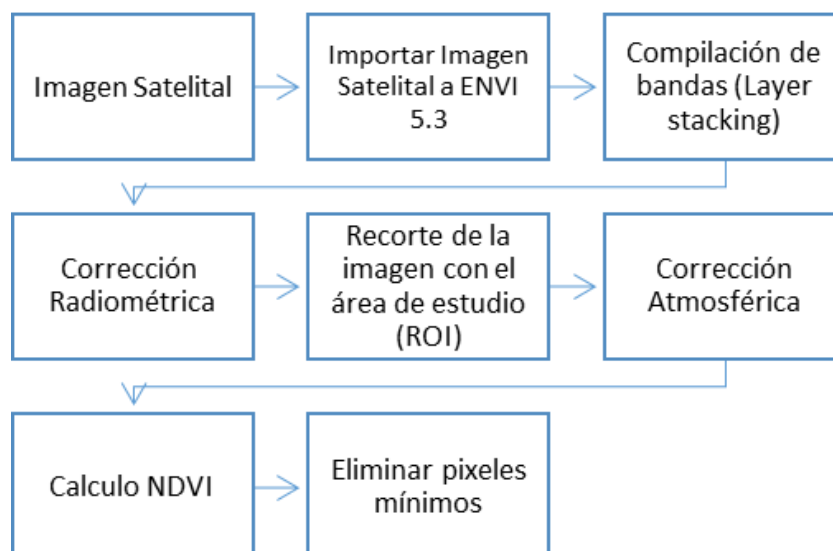
Foto 9. Punto de control número 37



Foto de los autores, octubre 2018

Anexo 3

Procedimiento técnico



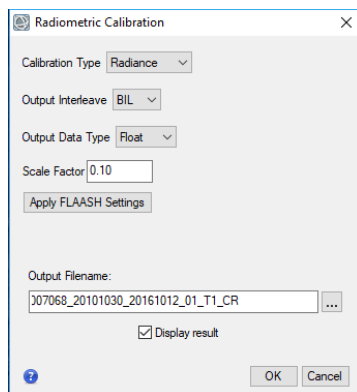
Se comenzó determinando a que parte y no pertenece el área de estudio, luego se procederá buscar imágenes Landsat 5, 7, 8 y Sentinel 2A para esto se usara un filtro de porcentaje de nubes presentes en las imágenes satelitales y se procederán a descargar las adecuadas.

Las imágenes descargadas se procederán a importar a ENVI, se seleccionaron las imágenes que no presenten nubes y se pueda apreciar las lomas dentro del área de estudio, para esto se usara la combinación 432 (RGB) para discriminar vegetación. Se obtuvieron las siguientes imágenes:

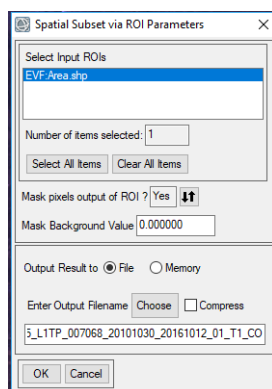
IMAGEN	SENSOR	PATH / ROW	FECHA
007068_20101030	Landsat 05	07/68	30/10/2010
007068_20081109	Landsat 06	07/68	9/11/2008
007068_20040927	Landsat 07	07/68	27/09/2004
007068_19950903	Landsat 08	07/68	3/09/1995
007068_19861028	Landsat 09	07/68	28/10/1986

Ahora se procede a compilar las imágenes con la opción de layer stacking del ENVI.

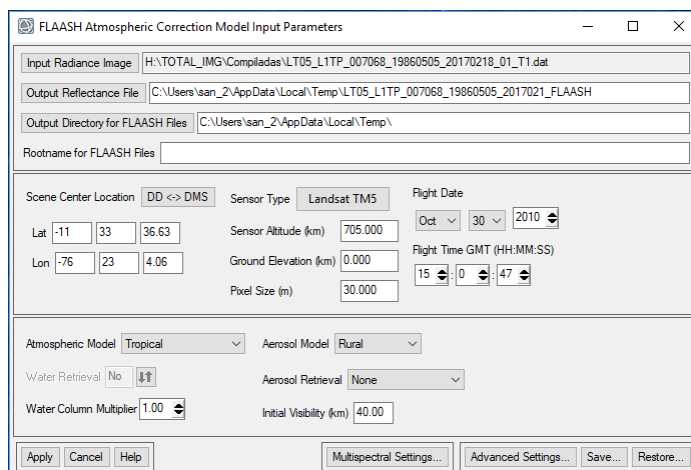
Se procederá aplicar la corrección radiométrica a todas las imágenes.



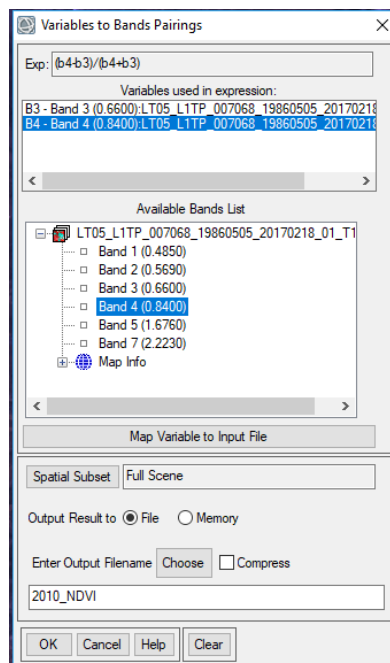
Se efectúa el recorte de la imagen antes de realizar la corrección atmosférica para esto usamos la herramienta subset data from rois, esto por motivos capacidad computacional.



A las imágenes recortadas se aplicó la corrección atmosférica por el método de Flaash que nos presenta ENVI.



Se procede a calcular el NDVI por la formula $NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$, se usó la opción Band Math.



Los valores de los pixeles del NDVI son de -1 a 1, probando valores se obtuvo que los que van del 0.15 - 0.38 son los adecuados para discriminar la cobertura de lomas que se obtiene para estas imágenes.

Se procede ahora a usar el software arcgis para pasar el raster a shape, eliminar polígonos mínimos a un pixel, calcular áreas y elaborar los mapas.

Resultados:

En las imágenes utilizadas para el siguiente estudio se calculó las áreas en hectáreas para la cobertura vegetal de lomas, las cuales son las siguientes:

IMAGEN	ÁREA (HA)
007068_20101030	496.0
007068_20081109	659.1
007068_20040927	104.2
007068_19950903	1297.8
007068_19861028	1404.2

Se procede a mostrar los resultados gráficamente, donde se usó de fondo imágenes Landsat 5 en composición 432(RGB), la línea morada representa el límite establecido de las lomas de Carabayllo y los polígonos verdes son el área determinada por el NDVI para la presencia de lomas en esas fechas.

Anexo 4.

Lista de imágenes satelitales descargadas

ARCHIVOS	SATÉLITE
L1C_T18LTN_A005871_20180421T151959.zip	Sentinel 2A
L1C_T18LTN_A010318_20170613T153453.zip	Sentinel 2A
L1C_T18LTN_A011848_20170928T151700.zip	Sentinel 2A
L1C_T18LTN_A014751_20180419T152640.zip	Sentinel 2A
LC08_L1TP_007068_20160405_20170327_01_T1.tar.gz	Landsat 8
LC08_L1TP_007068_20160507_20170325_01_T1.tar.gz	Landsat 8
LC08_L1TP_007068_20170510_20170516_01_T1.tar.gz	Landsat 8
LC08_L1TP_007068_20180427_20180502_01_T1.tar.gz	Landsat 8
LT05_L1TP_007068_19860505_20170218_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_19861028_20170216_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_19870305_20170213_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_19880408_20170209_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_19890513_20170203_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_19910401_20170127_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_19920318_20170124_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_19950903_20170106_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20000425_20161214_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20010412_20161211_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20040927_20161129_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20060512_20161121_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20070515_20161115_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20070616_20161112_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20080330_20161101_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20080501_20161101_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20080922_20161029_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20081109_20161028_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20081211_20161028_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20090402_20161029_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20090504_20161026_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_007068_20101030_20161012_01_T1.tar.gz	Landsat 5
LT05_L1TP_008068_19960912_20170102_01_T1.tar.gz	Landsat 5