



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales

Renovables

Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático

Análisis espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizado y su relación con variables climáticas en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático.

AUTOR:

Raúl Geovanny García Mendieta

DIRECTOR:

Ing. González González, Eduardo Aníbal Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 30 de agosto de 2023

Ing. Aníbal Eduardo, González González Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizado y su relación con variables climáticas en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático**, de la autoría del estudiante, **Raúl Geovanny García Mendieta**, con **cédula de identidad Nro.1103217889**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



firmado electrónicamente por:
ANIBAL EDUARDO
GONZALEZ GONZALEZ

Ing. González González, Aníbal Eduardo Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Raúl Geovanny García Mendieta**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1103217889

Fecha: 08/03/2024

Correo electrónico: raul.garcia @unl.edu.ec

Teléfono: 0999325171

Carta de autorización por parte del autor para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Raúl Geovanny García Mendieta**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizado y su relación con variables climáticas en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja**, como requisito para optar el título de **Magíster en Biodiversidad y Cambio Climático**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de marzo de dos mil veinticuatro.

Firma: 

Autor: Raúl Geovanny García Mendieta

Cédula: 1103217889

Dirección: Manuel Zambrano y Gobernación de Mainas, sector La Tebaida.

Correo electrónico: raul.garcia@unl.edu.ec

Teléfono: 0999325171

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. González González, Aníbal Eduardo Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de Trabajo de Titulación a mis padres a toda mi familia, que me apoyaron para lograr este ascenso en el desarrollo mi vida profesional. Gracias por su sacrificio y por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida.

Raúl Geovanny García Mendieta

Agradecimiento

Agradezco al Centro de Investigaciones Territoriales de la Universidad Nacional de Loja, cuyo invaluable apoyo ha sido fundamental en el desarrollo del Trabajo de Titulación. A César Benavidez, Técnico del Centro de Investigaciones, cuya dedicación y orientación han sido esenciales para lograr el éxito en esta investigación. Al Ing. Aníbal González, Director del Trabajo de Titulación, cuya asesoría y orientación han sido pilares fundamentales en la culminación exitosa del Proyecto de Titulación, su liderazgo y guía ha sido indispensable en todo el proceso investigativo. Finalmente, agradezco a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) por la beca estudiantil que ha respaldado este camino de crecimiento profesional, su apoyo ha sido una confirmación que el esfuerzo y la dedicación son recompensados, y ha sido un factor esencial para lograr esta meta de desarrollo profesional.

Raúl Geovanny García Mendieta

Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de Contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiv
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	8
4.1. Clima del Ecuador.....	8
4.1.1. Clima de la región sur del Ecuador.....	9
4.2. Geoestadística.....	9
4.2.1. Análisis exploratorio de datos.....	10
4.2.2. Análisis estructural de la dependencia espacial.....	10
4.2.3. El variograma.....	10
4.3. Elementos del semivariograma.....	11
4.3.1. La meseta.....	11
4.3.2. El rango.....	11
4.3.3. Efecto pepita.....	11
4.4. Modelos de ajuste al semivariograma.....	12
4.4.1. Modelo esférico.....	12
4.4.2. Modelo exponencial.....	13
4.4.3. Modelo gaussiano.....	14
4.5. Índices de vegetación.....	14

4.5.1.	Índice de vegetación de diferencia normalizado.....	15
5.	Metodología.....	16
5.1.	Área de investigación	16
5.2.	Analizar la variación del NDVI en función de la temperatura y precipitación	17
5.2.1.	Información sobre los ecosistemas naturales de estudio.....	17
5.2.2.	Adquisición de información del NDVI.....	18
5.2.3.	Evaluación de Calidad de píxeles de NDVI.....	19
5.2.4.	Adquisición de información de temperatura y precipitación	19
5.2.4.	Análisis estadístico.....	19
5.2.5.	Análisis de la serie temporal.....	19
5.2.6.	Semivariograma del NDVI con variables climáticas	20
5.3.	Definir lineamientos estratégicos orientados a un manejo integral de los ecosistemas de la provincia de Loja para su adaptación al cambio climático	21
6.	Resultados	22
6.1.	Evaluación de la calidad de píxeles.....	22
6.2.	Estadística del NDVI en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja.....	23
6.3.	Estadística de la temperatura en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja ...	24
6.4.	Estadística de la precipitación en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja .	25
6.6.	Series temporales del NDVI y temperatura en los ecosistemas de estudio	26
6.6.1.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Arbustal desértico del sur de los Valles	26
6.6.2.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Arbustal semidecidual del sur de los Valles	27
6.6.3.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes.....	28
6.6.4.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque bajo y arbustal decidual de tierras bajas del Jama Zapotillo.....	29
6.6.5.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque decidual de tierras bajas del Jama Zapotillo	30
6.6.6.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque decidual piemontano del Catamayo Alamo	31
6.6.7.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque semidecidual montano bajo del Catamayo Alamo	32
6.6.8.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque semidecidual piemontano del Catamayo Alamo	33

6.6.9.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor	34
6.6.10.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	35
6.6.11.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles.....	36
6.6.12.	Serie temporal del NDVI y temperatura en el Herbazal del Páramo	37
6.6.13.	Análisis de la tendencia del NDVI y temperatura	38
6.8.	Series temporales del NDVI y precipitación en los ecosistemas de estudio	39
6.7.1.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Arbustal desértico del sur de los Valles	39
6.7.2.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Arbustal semideciduo del sur de los Valles	40
6.7.3.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes.....	41
6.7.4.	Serie temporal del NDVI y precipitación en Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo.....	42
6.7.5.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo	43
6.7.6.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor	44
6.7.7.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor	45
6.7.8.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor	46
6.7.9.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor	47
6.7.10.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	48
6.7.11.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles.....	49
6.7.12.	Serie temporal del NDVI y precipitación en el Herbazal del Páramo	50
6.7.13.	Análisis de la tendencia del NDVI y precipitación	51
6.8.	Análisis espacial del NDVI con la temperatura y precipitación	52
6.9.	Definir lineamientos estratégicos orientados a un manejo integral de los ecosistemas de la provincia de Loja para su adaptación al cambio climático	53

7.	Discusión.....	55
7.1.	Relación NDVI con la temperatura en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja	55
7.2.	Relación del NDVI y la precipitación en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja.....	56
7.3.	Análisis de lineamientos estratégicos para mejorar la adaptación de los ecosistemas naturales de la provincia de Loja al cambio climático	57
7.3.1.	Discusión del lineamiento estratégico uno	57
7.3.2.	Discusión del lineamiento estratégico dos	58
7.3.3.	Discusión del lineamiento estratégico tres	59
8.	Conclusiones.....	60
9.	Recomendaciones.....	61
10.	Bibliografía.....	62
11.	Anexos.....	68

Índice de tablas:

Tabla 1.	Área y código de ecosistemas de estudio en la provincia de Loja.....	17
Tabla 2.	Áreas representativas por ecosistema para determinar el rango, meseta y efecto pepita	21
Tabla 3.	Calidad de píxeles en los ecosistemas evaluados en la provincia de Loja.....	22
Tabla 4.	Estadística del NDVI en los ecosistemas evaluados de la provincia de Loja.....	23
Tabla 5.	Estadística de la temperatura en los ecosistemas evaluados de la provincia de Loja...	24
Tabla 6.	Estadística de la precipitación en los ecosistemas evaluados de la provincia de Loja.....	25
Tabla 7.	Prueba de Mann-Kendall y Theil-Sen de las tendencias del NDVI y temperatura.....	38
Tabla 8.	Prueba de Mann-Kendall y Theil-Sen de las tendencias del NDVI y precipitación.....	51
Tabla 9.	Rango y meseta del NDVI con la temperatura y precipitación en los ecosistemas de evaluados.....	52

Índice de figuras:

Figura 1. Elementos del semivariograma	12
Figura 2. Modelo esférico.....	13
Figura 3. Modelo exponencial.....	13
Figura 4. Modelo gaussiano.....	14
Figura 5. Distribución de ecosistemas naturales de estudio en la provincia de Loja.....	16
Figura 6. Esquema de metodología.....	18
Figura 7. Elementos de un semivariograma	19
Figura 8. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Arbustal desértico del sur de los Valles	26
Figura 9. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Arbustal semidecidual del sur de los Valles	27
Figura 10. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes.....	28
Figura 11. Serie temporal y tenendencia del NDVI y temperatura del Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo del período	29
Figura 12. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo	30
Figura 13. Serie temporal y tenendencia del NDVI y temperatura del Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor	31
Figura 14. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Bosque semidecidual montano bajo del Catamayo Alamor	32
Figura 15. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Bosque semidecidual piemontano del Catamayo Alamor	33
Figura 16. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor	46
Figura 17. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	35
Figura 18. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Bosque y arbustal semidecidual del sur de los Valles	50
Figura 19. Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Herbazal del Páramo	37

Figura 20. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Arbustal desértico del sur de los Valles.....39

Figura 21. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Arbustal semidecuido del sur de los Valles40

Figura 22. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes.....41

Figura 23. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque bajo y arbustal decuido de tierras bajas del Jama Zapotillo.....42

Figura 24. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque decuido de tierras bajas del Jama Zapotillo.....43

Figura 25. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque decuido piemontano del Catamayo Alamor.....44

Figura 26. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque semidecuido montano bajo del Catamayo Alamor.....45

Figura 27. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor.....46

Figura 28. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor.....47

Figura 29. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes.....48

Figura 30. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Bosque y arbustal semidecuido del sur de los Valles.....49

Figura 31. Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación del Herbazal del Páramo.....50

Índice de anexos:

Anexo 1.	Rangos y mesetas del Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor	68
Anexo 2.	Rangos y mesetas del Arbustal semideciduo del sur de los Valles.....	68
Anexo 3.	Rangos y mesetas del Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo.....	69
Anexo 4.	Rangos y mesetas del Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor.....	69
Anexo 5.	Rangos y mesetas del Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor.....	69
Anexo 6.	Rangos y mesetas del Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor.....	70
Anexo 7.	Rangos y mesetas del Arbustal siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes.....	70
Anexo 8.	Rangos y mesetas del Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles.....	70
Anexo 9.	Rangos y mesetas del Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo.....	72
Anexo 10.	Rangos y mesetas del Herbazal del Páramo.....	71
Anexo 11.	Rangos y mesetas del Arbustal desértico del sur de los Valles.....	71
Anexo 12.	Rangos y mesetas del Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes.....	71
Anexo 13.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01)	72
Anexo 14.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Arbustal semideciduo del sur de los Valles (AmMn01)	73
Anexo 15.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01).....	74
Anexo 16.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01)	75
Anexo 17.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BmBn01)	76
Anexo 18.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04)	77
Anexo 19.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental del Andes (BsMn02)	78
Anexo 20.	Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles (BmBn02)	78

Anexo 21. Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02)	79
Anexo 22. Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Herbazal del Páramo (HsSn02)	79
Anexo 23. Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01)	80
Anexo 24. Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02)	80
Anexo 25. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01)	81
Anexo 26. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Arbustal semideciduo del sur de los Valles (AmMn01)	82
Anexo 27. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01)	83
Anexo 28. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01)	84
Anexo 29. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BmBn01)	85
Anexo 30. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04)	86
Anexo 31. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental del Andes (BsMn02)	87
Anexo 32. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles (BmBn02)	87
Anexo 33. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02)	88
Anexo 34. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Herbazal del Páramo (HsSn02)	88
Anexo 35. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01)	89
Anexo 36. Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02)	89
Anexo 37. Certificación de traducción del resumen.....	90

1. Título

Análisis espacio temporal del índice de vegetación diferencia normalizado y su relación con variables climáticas en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja

2. Resumen

En las últimas décadas, los ecosistemas naturales de la provincia de Loja enfrentan diversas amenazas de carácter antrópico. Paralelamente, producto del cambio climático, la presencia de fenómenos meteorológicos extremos y la variabilidad del clima han causado un comportamiento desconocido en la dinámica de estos ecosistemas. En este contexto, se plantearon los siguientes objetivos: analizar la variación del NDVI en función de la temperatura y precipitación en doce ecosistemas, y definir lineamientos estratégicos orientados a mejorar su adaptación frente al cambio climático. La metodología se enmarca en la generación series temporales que identificó patrones de estacionalidad. Para definir la presencia de tendencia, y su dirección ascendente o descendente, se empleó la prueba de Mann-Kendall, que consta de un p-valor con un nivel de significancia del 95 % y un valor Tau positivo o negativo. Mientras que la prueba de Theil-Sen calculó la pendiente de la tendencia. En la dependencia espacial, se utilizó un modelo teórico que cuantificó el rango y meseta del semivariograma. Para la adaptación de los ecosistemas al cambio climático, se plantearon lineamientos estratégicos. Los resultados de Mann-Kendall con un p-valor $< 0,01$ y un Tau positivo indican la presencia de tendencias ascendentes. Por otra parte, la pendiente de Theil-Sen en el NDVI y temperatura es mayor en Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo, y en la precipitación en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes. La dependencia espacial de mayor rango entre NDVI y temperatura se presentó en el Bosque y Arbustal semideciduo del sur de los Valles con 7 592 metros, y en la precipitación en Bosque y Arbustal semideciduo del sur de los Valles el rango alcanzó 9 779 metros. Los lineamientos estratégicos se centraron en la mejora de modelos climáticos a escala local, restauración de ecosistemas y fortalecimiento de capacidades. La investigación concluye lo siguiente: 1) La mitad de la estacionalidad siguió un orden cronológico de temperatura-precipitación-NDVI. 2) En las tendencias, el mayor aumento de temperatura ocurrió en los bosques y arbustales del Jama Zapotillo y Herbazal del Páramo, poniendo en riesgo su normal funcionamiento y servicios ecosistémicos. 3) Los lineamientos estratégicos constituyen un marco importante en la gestión, ejecución y seguimiento de actividades que permiten a las poblaciones y ecosistemas de estudio reducir su vulnerabilidad frente al cambio climático.

Palabras clave: NDVI, Mann-Kendall, precipitación, temperatura, Theil-Sen.

Abstract

Over the last decades, the natural ecosystems in the province of Loja have suffered several anthropogenic hazards. At the same time, as a result of climate change, the presence of extreme weather events and climate variability have caused an unknown pattern of behavior in the ecosystem dynamics. Therefore, the following objectives were set: to analyze the variation of NDVI as a function of temperature and precipitation in twelve ecosystems, and to define strategic guidelines to improve their adaptation to climate change. The methodology is based on the time series generation that identified seasonality patterns. To define the existence of a trend, and its upward or downward direction, the Mann-Kendall test was used, which consists of a p-value with a significance level of 95 % and a positive or negative Tau value. The Theil-Sen test was used to calculate the slope of the trend. For spatial dependence, a theoretical model was used to quantify the range and plateau of the semivariogram. For the adaptation of ecosystems to climate change, strategic guidelines were established. Mann-Kendall results with a p-value < 0.01 and a positive Tau indicate the presence of upward trends. On the other hand, the Theil-Sen slope in NDVI and temperature is higher in lowland deciduous forest of Jama Zapotillo, and in precipitation in montane evergreen shrubland of the southern Andes. The spatial dependence of the highest range between NDVI and temperature occurred in the Forest and semi-deciduous shrubland of the southern Valles with 7 592 meters, and in precipitation in Forest and semi-deciduous shrubland of the southern Valles the range reached 9 779 meters. The strategic guidelines focused on improving climate models at the local scale, ecosystem restoration and building capacity. The research concludes as follows: 1) Half of the seasonality followed a chronological order of temperature-precipitation-NDVI. 2) In the trends, the greatest temperature increase occurred in the forests and shrublands of Jama Zapotillo and Páramo Grassland, jeopardizing their normal functioning and ecosystem services. 3) The strategic guidelines represent an important framework in the management, implementation and monitoring of activities that allow the populations and ecosystems under study to reduce their vulnerability to climate change.

Keywords: NDVI, Mann-Kendall, precipitation, temperature, Theil-Sen.

3. Introducción

En los últimos 50 años, la población mundial se ha duplicado, alcanzando los 8 000 millones de habitantes (United Nations, 2022), consecuentemente, la demanda de recursos para satisfacer sus necesidades básicas es cada vez mayor e insostenible (Balatsky et al., 2015). Los países fomentan su desarrollo en una economía extractiva de importación y exportación de materias primas (Mutis, 2018). El uso de combustibles fósiles dinamiza y acelera los procesos productivos industriales, satisfaciendo la demanda de bienes y servicios en las grandes ciudades (IPCC, 2014), lo cual conlleva la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero por encima de las concentraciones normales en la atmósfera, lo cual contribuye al cambio climático al impedir que la energía reflejada de la superficie terrestre vuelva al espacio, transformándose en un fenómeno perjudicial para la humanidad (Manabe, 2019), afectando mayormente a los más vulnerables de la sociedad (FAO y PNUNA, 2020).

El aumento gradual de temperatura media del planeta de 1,1 °C desde la era preindustrial, producto de la radiación acumulada por los gases de efecto invernadero, influye de manera distinta en las regiones del planeta, poniendo en riesgo la salud de la población mundial y del bienestar de los servicios ecosistémicos proveniente de los ecosistemas naturales (IPCC, 2018). La presencia de temperaturas más extremas en las estaciones, el derretimiento del hielo glaciar y del permafrost son efectos más visibles desde el Ecuador hacia los polos (IPCC, 2022). El aumento de temperatura afecta el comportamiento y función de las especies en los ecosistemas, los mismos que han afectado negativamente su resiliencia y han reducido su habilidad de proveer servicios ecosistémicos IPCC (2022).

La deforestación es considerada como el impulsor principal y de similar magnitud que el cambio climático, las actividades productivas están relacionadas con fines de subsistencia, comerciales como la agricultura, la ganadería y la comercialización de madera, e influyen en la economía local y nacional (IPCC, 2018). Sin embargo, durante el proceso de conversión de los bosques nativos, la combustión y descomposición de madera liberan el carbono almacenado a la atmósfera en dióxido de carbono (Ingerson, 2011). La perturbación por deforestación altera la estructura y funcionamiento normal de los ecosistemas e incide de manera directa en la disminución y extinción de especies, en la pérdida de capacidad de almacenamiento de carbón e invasión de especies no nativas (IPCC, 2022).

En este escenario, Ecuador no es ajeno a esta realidad. Sus bosques nativos han experimentado altas tasas de deforestación en comparación con otros países de América Latina y el Caribe (FAO, 2021). En el período 1990 – 2000, la tasa anual de deforestación alcanzó -0,93 % (129 943 ha/año), observándose un descenso en los períodos: 2000 – 2008, con una tasa de - 0,82 % (108 666 ha/año); 2008 – 2014, de - 0,77 % (97 918 ha/año); y 2014 – 2016, de - 0,74 (94 353 ha/año) (MAE, 2018; Sierra, 2013). Los cultivos y la ganadería comercial son el principal motor de la deforestación (Kleemann et al., 2022; Noh et al., 2022); alteran la dinámica de los ecosistemas y dan lugar a paisajes forestales fragmentados (Fischer et al., 2021). Ante esta amenaza, la creación de políticas ambientales a favor de la biodiversidad ha permitido al Sistema Nacional de Áreas Protegidas conservar la flora y fauna (MAE, 2003), y al Programa Socio Bosque proteger la vegetación nativa, evitar la emisión de gases de efecto invernadero y combatir la pobreza (MAE, 2008).

Bajo este contexto, se desconoce los efectos causados por el incremento de temperatura y alteración de los patrones de precipitación en la resiliencia de los ecosistemas naturales y fragmentados del Ecuador, para lograr este propósito y monitorear los cambios en los ecosistemas naturales se creó el Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental (MAE, 2013), caracterizando 91 ecosistemas a nivel nacional, de los cuales 22 ecosistemas se encuentran en la provincia de Loja. Escasos estudios han utilizado este aporte científico de monitoreo de ecosistemas. Noh et. al (2022) utilizó esta información para cuantificar el grado de fragmentación de los 64 ecosistemas en el período 1990-2014, mientras que Maita (2015) analizó la tendencia espacial y temporal del índice de vegetación mejorado en 15 ecosistemas del sur de Ecuador, y su relación con variables climáticas en el período 2000-2014.

Durante las últimas décadas el uso de la información derivada de sensores satelitales ha brindado la oportunidad no solo de dar seguimiento a los cambios del uso del suelo, sino también de monitorear y detectar la respuesta de la vegetación frente a la variabilidad del clima a grandes escalas espaciales, permitiendo a los investigadores mediante el uso de índices de vegetación cuantificar el comportamiento de los ecosistemas expuestos a distintas variables climáticas en largos períodos de tiempo. Para lograr este propósito la presente investigación, analizó los efectos de la variabilidad del clima, representada por la temperatura y precipitación y su incidencia en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja durante el período 2001 - 2018.

El estudio contribuye a generar conocimiento con la ayuda de la teledetección, relacionada al funcionamiento de los ecosistemas naturales sometidos a fuertes perturbaciones tipo antrópico y abiótico. Las fluctuaciones de la temperatura y los cambios de intensidad de las precipitaciones durante las épocas secas y lluviosas en las áreas biogeográficas de los ecosistemas de estudio, plantea la hipótesis de que estas variaciones no han causado efecto alguno en la tendencia del índice de vegetación de diferencia normalizado. Paralelamente, la insuficiencia de información del comportamiento de estos ecosistemas en los últimos 18 años, plantea la hipótesis alternativa de que las variaciones temperatura y precipitación influyeron en la tendencia del índice de vegetación de diferencia normalizado en los ecosistemas en estudio.

Los conocimientos generados, permitirán a futuro sentar las bases de nuevas investigaciones en lo referente a los efectos del cambio climático en los ecosistemas naturales. Porque constituyen un insumo para la gestión de proyectos que mantengan a través del tiempo los servicios ecosistémicos a favor de las poblaciones de la provincia de Loja. Por lo tanto, debido a su importancia, la información generada con esta investigación, contribuye al objetivo 11 de eje de transición ecológica que menciona: “Conservar, restaurar, proteger y hacer uso sostenible de los recursos naturales”, que busca planificar acciones que conserven los hábitats, mejoren la eficiencia del manejo de los recursos naturales y restauren los ecosistemas (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

Complementariamente, esta investigación define lineamientos estratégicos orientados a ecosistemas que presentan un alto grado de fragmentación, en aspectos como la orografía, servicios ecosistémicos, zona biogeográfica y su relación con la población local. Factores que permitirán establecer medidas y crear conciencia que fortalezcan los planes de ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. La información de esta investigación se enmarca en el objetivo 12 del eje de transición ecológica que dice: “Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático” que busca promover modelos circulares que disminuyan la presión sobre los recursos naturales y despierten la conciencia y responsabilidad social y económica sostenible (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

Esta investigación, está enmarcada dentro de los objetivos de desarrollo sostenible ODS número 13 “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” y número 15 “Proteger, restablecer, y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar

sosteniblemente los bosques, cambio de uso del suelo ha contra la desertificación, detener e invertir en la degradación de tierras y detener la pérdida de la biodiversidad” (Naciones Unidas, 2018). Finalmente, el estudio permitirá a los investigadores implementar los conocimientos generados en el fortalecimiento de las políticas ambientales, con el fin de fomentar y mejorar la protección de la biodiversidad, con altos niveles de endemismo, mediante acciones sostenibles para las futuras generaciones. Esta investigación tiene como objetivos:

Objetivo general:

- Analizar la evolución espacial y temporal del índice de vegetación de diferencia normalizado en función de la temperatura y precipitación en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja.

Objetivos específicos:

- Analizar la variación del índice de vegetación de diferencia normalizado en función de la temperatura en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja.

- Analizar la variación del índice de vegetación de diferencia normalizado en función de la precipitación en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja.

- Definir lineamientos estratégicos orientados a un manejo integral de los ecosistemas de la provincia de Loja para mejorar su adaptación frente al cambio climático.

4. Marco teórico

4.1. Clima del Ecuador

La convergencia de temperatura, precipitación, heliofanía y humedad relativa con la latitud, altitud, vientos y corrientes marinas generan diversos climas en Ecuador. La región Costa posee un clima tropical, cuya temperatura media anual varía entre 21,5 a 26,5 °C, y lluvias anuales desde 237 a 1 468 mm (INAMHI, 2017). Los principales meses de lluvia se sitúan entre diciembre y mediados de mayo (Neill, 1999), período considerado como de época lluviosa. Esta desigualdad en la precipitación pluvial obedece al efecto de las corrientes marinas de Humboldt y El Niño. Principalmente se consideran dos grandes zonas climáticas de la Costa ecuatoriana: cálida-fresca-seca y cálida-ardiente-húmeda (Neill y Jørgensen, 1999).

La región de la Sierra, posee una variedad de pisos climáticos a lo largo de la Cordillera de los Andes, una cadena montañosa de 600 km de longitud (Pourrut, 1983), destacando el piso tropical andino con temperaturas entre los 20 y 25 °C, y lluvias escasas hasta los 1 500 m s.n.m., Subtropical andino desde los 1 500 hasta los 2 500 m s.n.m., con una temperatura de 20 °C y precipitaciones abundantes en época lluviosa. Piso templado, con una temperatura de 17 °C, altitudes desde los 2 500 hasta los 3 500 m s.n.m., con lluvias abundantes, granizadas frecuentes, y nubosidad. El piso frío, comprende los sectores que van desde los 3 500 hasta las 5 650 m s.n.m., y temperaturas entre 1 °C y 10 °C, con lluvias alta intensidad y espesas neblinas (Neill y Jørgensen, 1999). El glacial, se sitúa por encima de los 5 650 hasta los 6 310 m s.n.m., registra temperaturas inferiores a los 0 °C con nieve perpetua y neblinas (Neill y Jørgensen, 1999). Según INAMHI (2017) esta región presenta temperaturas medias anuales entre 7,8 a 23,0 °C y precipitaciones de 237 a 2 029 mm en el período 1981 al 2010.

La región amazónica tiene un clima cálido-ardiente-húmedo, la temperatura varía entre 19,5 °C y 26,5 °C, siendo la región más húmeda del país, con precipitaciones desde los 1 155 hasta los 4 816 mm (INAMHI, 2017), siendo mayores en los meses de marzo y julio (Pourrut, 1983). Los flancos de los Andes forman una zona densamente nublada, allí se condensan grandes masas de vapor provenientes del Atlántico y de la selva amazónica. El clima de la región de Galápagos, tiene los siguientes pisos climáticos: Desértico, caracterizado por una sequía extrema y una temperatura de 21 °C, corresponde a las franjas que se extienden al nivel del mar. Tropical, se extiende de 0 m s.n.m. hasta los 250 m s.n.m. Templado, va de los 250 m s.n.m. hasta a los 450 m s.n.m. y tiene

una temperatura de 17°C. Frío, con temperaturas inferiores a los 14 °C, se extiende sobre los 450 m s.n.m. (Neill y Jørgensen, 1999).

4.1.1. *Clima de la región sur del Ecuador*

La región sur de Ecuador presenta tres tipos de climas, el primer tipo de clima megatérmico seco a semihúmedo es característico de la parte occidental del litoral y la parte sur occidental de la zona andina de los cantones Zapotillo, Macará, parte baja de Puyango y Pindal (Bendix et al., 2008a). Presenta una estación seca y una estación húmeda bien definidas, con temperaturas anuales superiores a los 22 °C y precipitaciones entre 500 – 1 000 mm. (Pourrut, 1995). El segundo tipo de clima es el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo, predomina en gran parte de la zona Andina, a excepción de las vertientes de sotavento de Malacatos y Catamayo. En general, este tipo de clima se caracteriza por presentar inviernos relativamente secos (Kottek et al. 2006). Esto se debe a la pérdida de humedad que sufren las masas de aire al chocar en los flancos de la cordillera con las precipitaciones varían de 600 a 2 000 mm (Bendix et al., 2008a).

El tercer tipo de clima corresponde al clima tropical megatérmico, muy húmedo, que se concentra espacialmente en la provincia de Zamora Chinchipe. Esta zona mantiene un intercambio de masas de aire a nivel planetario influenciada por los vientos alisios. La provisión de agua procede en un 50 % desde el Atlántico gracias al sistema Intertropical de Circulación de la Atmósfera y el 50 % restante se debe a procesos de evapotranspiración local (Phillips et al., 2009). Las precipitaciones de tipo atmosférica son abundantes, frecuentes e intensas, pues sobre las llanuras amazónicas se forman masas de aire caliente con una notable humedad (90 %). Según Pourrut (1983), la evaporación procede de la densa cobertura boscosa, cuyas masas producen importantes precipitaciones tanto en las planicies amazónicas como a lo largo de toda la ladera oriental de la Cordillera Real, las mismas que en ocasiones invaden la zona interandina (Pourrut, 1995).

4.2. *Geoestadística*

La geoestadística puede definirse como el estudio de fenómenos regionalizados, es decir, fenómenos que se extienden por el espacio y que presentan una determinada organización o estructura espacial. Sin embargo, la geoestadística no se aplica al fenómeno regionalizado como tal, que es una realidad física, sino a una descripción matemática de esa realidad, es decir, a una función numérica denominada variable regionalizada o regionalización, definida en un espacio

geográfico, que se supone representa y mide correctamente ese fenómeno (Mateu y Giraldo, 2022). El objetivo de la geoestadística comprende un análisis estructurado en tres etapas, primero, el análisis exploratorio de datos de las variables, segundo, el análisis estructural, y tercero, predicción de valores en localidades no muestreadas de las variables de estudio (Giraldo, 2008).

4.2.1. Análisis exploratorio de datos

En geoestadística el análisis exploratorio de datos permite identificar valores extremos, la forma de distribución de los datos, así como el cálculo de medidas de tendencia central, como la media y la mediana, y medidas de dispersión como la de desviación estándar y el coeficiente de variación son importantes al momento de aplicar supuestos para definir el método de predicción más conveniente (Giraldo, 2008), sin embargo, la comparación entre histogramas sirve para observar las diferencias entre distribuciones así como las técnicas de correlación y regresión lineal sirven para evaluar la información que una variable tiene sobre la otra, información que a futuro sea de utilidad al usar variables para la predicción en el espacio de los valores de otras (Maestre y Gallardo, 2008).

4.2.2. Análisis estructural de la dependencia espacial

El análisis estructural hace referencia a la dependencia o correlación espacial que existe entre los datos medidos en la variable observada, que sirve de base en la predicción óptima de datos, la cual se apoya en funciones que proporcionan información sobre la dependencia espacial detectada como la covarianza y los semivariogramas (Montero et al., 2015). Según, Viera (2002), el análisis estructural consiste en estimar y modelar una función que refleje la correlación espacial de la variable regionalizada a partir de la adopción razonada de la hipótesis más adecuada acerca de su variabilidad, donde la dependencia de las características de estacionariedad del fenómeno se modelará la función de covarianzas o la de semivarianzas.

4.2.3. El variograma

El variograma, llamado también semivariograma, es una herramienta clave de la función estructural, que describe estadísticamente cómo los valores de dos puntos se diferencian a medida que aumenta la separación entre ellos y por lo tanto permite relacionar la incertidumbre con la distancia desde una observación (Chilès y Delfiner, 2012; Maestre y Gallardo, 2008). El semivariograma permite describir la dependencia espacial en la variable regionalizada, debido a que cubre un mayor espectro de estas variables en comparación con la función de covarianza, en

donde la covarianza no puede ser definida. Por lo tanto, el semivariograma es más usado en comparación con el covariograma debido a que no es necesario conocer la media de la función aleatoria (Montero et al., 2015).

4.3. Elementos del semivariograma

4.3.1. La meseta

Llamado también sill, es la cota superior del semivariograma, y puede definirse como el límite de la distancia h tiende hacia el infinito (Giraldo, 2008). La meseta existe únicamente en los procesos estacionarios de segundo orden, donde el semivariograma alcanza un límite superior. En algunos variogramas el umbral permanece constante, mientras que para otros variogramas permanece como una asíntota y por lo tanto nunca alcanzan la meseta. La varianza del umbral es también la varianza a priori del proceso (Webster y Oliver, 2007). El umbral es la máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos, la misma que debe coincidir con la varianza de la población (Giraldo, 2008).

4.3.2. El rango

En un variograma que alcanza el umbral “sill” a una distancia de desfase finita tiene un rango de dependencia espacial, que es el límite de la correlación espacial donde la autocorrelación se hace cero, por lo tanto, los lugares más alejados no están correlacionados espacialmente, Los variogramas que se aproximan asintóticamente a sus umbrales no tienen rangos estrictos (Webster y Oliver, 2007). Los lugares más alejados que el rango son espacialmente independientes. Algunos variogramas no tienen un rango finito, y el variograma se aproxima a su umbral asintóticamente. Si el variograma aumenta indefinidamente, con el aumento de la distancia de desfase, el proceso es sólo intrínseco (Oliver, 2010).

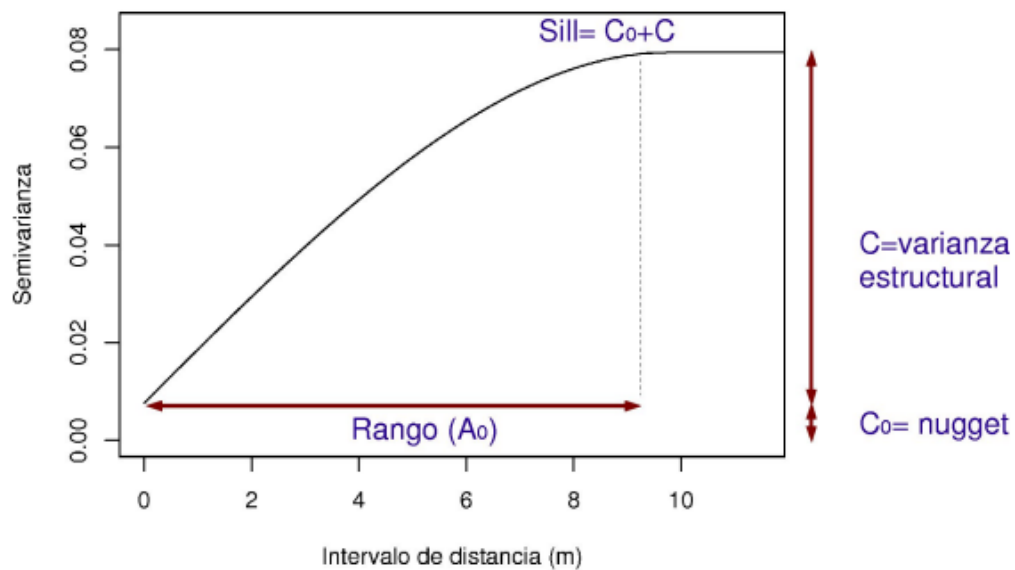
4.3.3. Efecto pepita

El variograma a menudo se aproxima a la ordenada con un intercepto positivo conocido como efecto pepita, llamado nugget. Teóricamente, cuando $h = 0$ la semivarianza también debería ser cero (Oliver & Webster, 2015). La mayoría de las variables ambientales varían de forma espacialmente continua. Sin embargo, el variograma a menudo parece acercarse a la ordenada en algún valor positivo lo que sugiere que el proceso es discontinuo, esta discrepancia se conoce como efecto pepita y suele incluir algún error de medición, que comprende la variación que se produce

en distancias inferiores al intervalo de muestreo más corto (Oliver, 2010), sin embargo, el efecto pepita se produce por errores de la medición de la variable o a la escala de la misma, y puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas (Giraldo, 2008). A continuación, en la figura 1 se presentan los elementos del semivariograma:

Figura 1

Elementos del semivariograma



Nota. El gráfico representa los elementos del semivariograma: rango, la meseta (sill) y el efecto pepita (nugget). Adaptado de *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones* (p. 227), por A. Gallardo y F. Maestre, 2008, Editorial Dykinson.

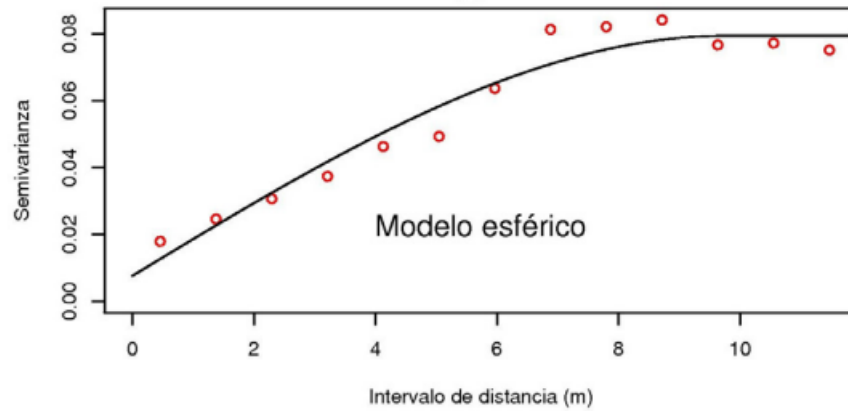
4.4. Modelos de ajuste al semivariograma

4.4.1. Modelo esférico

Es modelo esférico tiene un crecimiento rápido cerca del origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, donde a distancias superiores al rango los incrementos son nulos (Giraldo, 2008), aplanándose a distancias mayores y constituyéndose en el único modelo que tiene una meseta verdadera (Maestre y Gallardo, 2008). El efecto pepita podría verse como un modelo esférico de alcance infinitamente corto el cual describe una variable regionalizada continua (Emery, 2007).

Figura 2

Modelo esférico



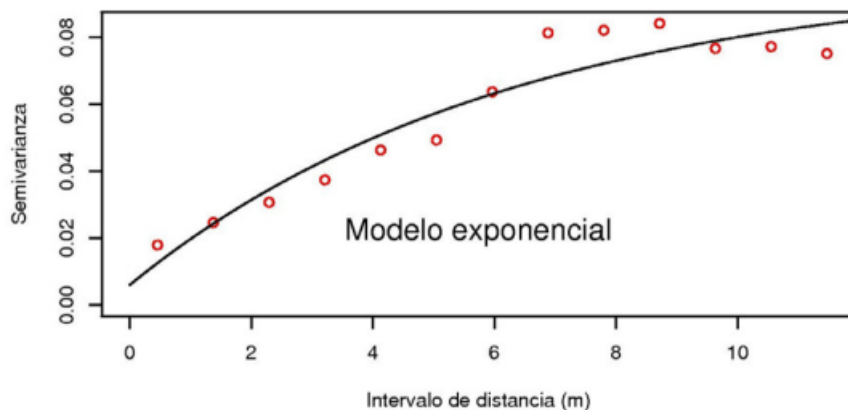
Nota. El gráfico representa el modelo esférico, mientras que, los pares muestrales ilustrados por los puntos rojos representan el semivariograma. Adaptado de *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales* (p. 230), por A. Gallardo y F. Maestre, 2008, Editorial Dykinson.

4.4.2. Modelo exponencial

El modelo exponencial expresa la dependencia espacial de crecimiento exponencial en la distancia entre las observaciones (Giraldo, 2008). Contario al modelo esférico que alcanza una meseta exacta, el modelo exponencial alcanza la meseta de manera asintótica (Emery, 2007), es decir, no alcanza nunca su meseta y, por lo tanto, no es verdadera (Maestre y Gallardo, 2008). De manera práctica en el variograma llega al 95 % del valor de la meseta (Emery, 2007).

Figura 3

Modelo exponencial



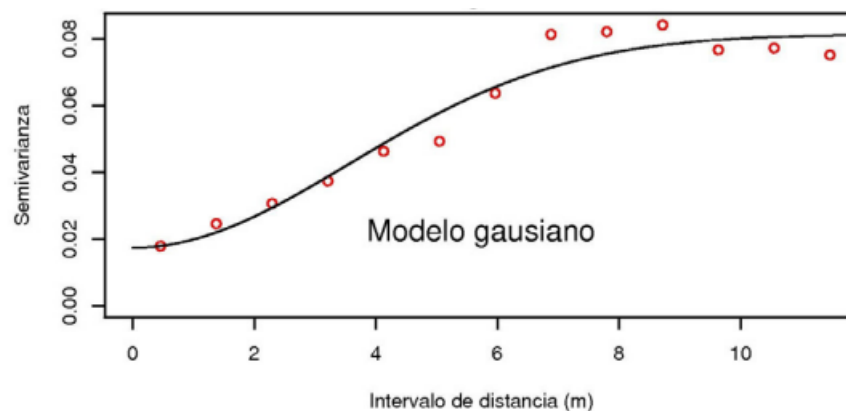
Nota. El gráfico representa el modelo exponencial, mientras que, los pares muestrales ilustrados por los puntos rojos representan el semivariograma. Adaptado de *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales* (p. 230), por A. Gallardo y F. Maestre, 2008, Editorial Dykinson.

4.4.3. Modelo gaussiano

El modelo gaussiano presenta una forma parabólica cerca del origen (Giraldo, 2008), al igual que el modelo exponencial alcanza la meseta de manera asintótica, y por lo tanto conforme la distancia aumenta en el variograma alcanza el 95 % de la meseta graficando muy bien la realidad espacial pero alejado de la realidad (Maestre y Gallardo, 2008). El uso de este modelo no es recomendable para realizar predicciones mediante el método de interpolación por krigging (Webster y Oliver, 2007).

Figura 4

Modelo gaussiano



Nota. El gráfico representa el modelo gaussiano, mientras que, los pares muestrales ilustrados por los puntos rojos representan el semivariograma. Adaptado de *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales* (p. 230), por A. Gallardo y F. Maestre, 2008, Editorial Dykinson.

4.5. Índices de vegetación

La detección de los cambios en la dinámica de la vegetación es clave para la evaluación y el monitoreo de recursos naturales. La detección y la evaluación cuantitativa de la vegetación es una de las aplicaciones principales de la teledetección para el manejo de recursos naturales y la toma de decisiones (Massey et al., 2023). La clorofila absorbe energía fuertemente en las bandas

centradas en 0,45 y 0,67 μm . En el espectro visible, la vegetación sana es de color verde, debido a la gran absorción en azul y rojo por las hojas. Cuando la vegetación no está sana, disminuye la clorofila, y el resultado es un incremento de la reflectancia espectral en el infrarrojo cercano, por lo que las hojas se ven con un tono amarillento, mezcla de verde y rojo (Yengoh et al., 2016).

4.5.1. Índice de vegetación de diferencia normalizado

El Índice de Diferencia de Vegetación Normalizado, es también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice usado para medir la diferencia normalizado entre las reflectancias del rojo y del infrarrojo cercano. Proporciona una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigorosidad en áreas extensas. Para calcular el NDVI, se utiliza la siguiente ecuación de (Rouse et al., 1974):

$$\text{NDVI} = \text{NIR} - \text{R} / \text{NIR} + \text{R} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde: NIR: Valor de la reflectancia espectral correspondiente al infrarrojo cercano (banda 4)

R: Valor de la reflectancia espectral correspondiente a la banda roja (banda 3)

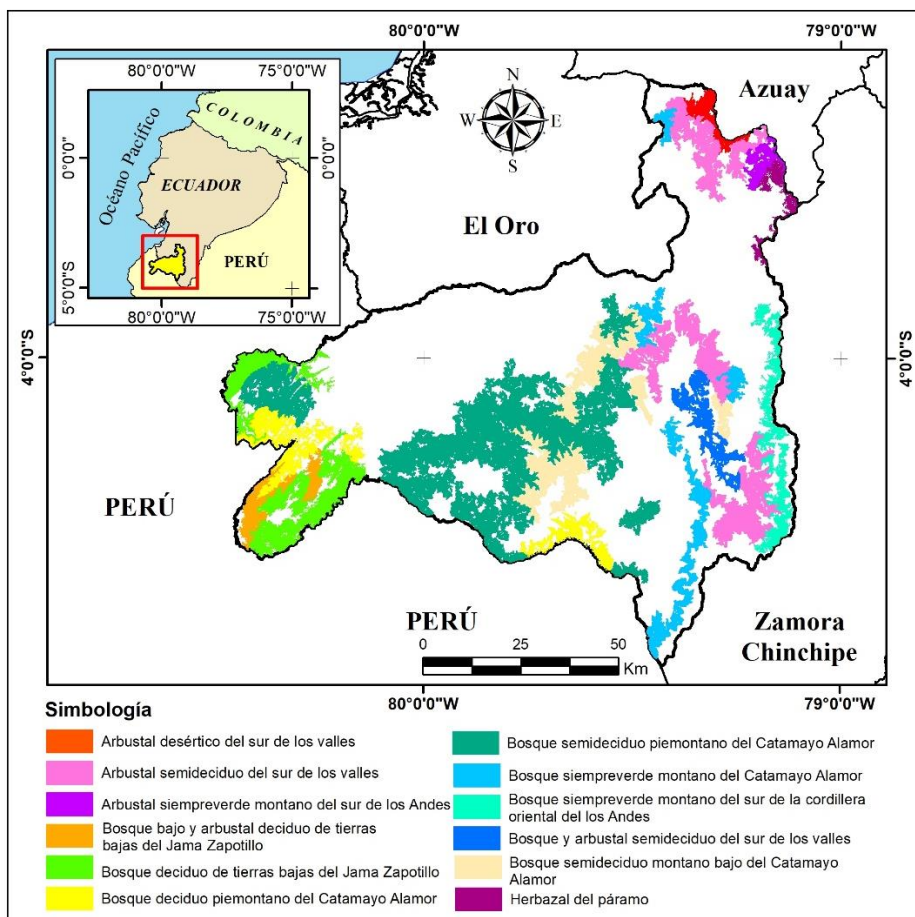
5. Metodología

5.1. Área de investigación

La zona de estudio comprende la provincia de Loja al sur de Ecuador ($03^{\circ}02'34''$ y $05^{\circ}01'40''$ latitud sur y $78^{\circ}21'20''$ y $80^{\circ}29'47''$ longitud oeste), con una extensión de 11 070 km². Según el Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental del Ministerio de Ambiente (MAE,2013), actualmente renombrado Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), posee 22 ecosistemas naturales con una superficie de 6 022,53 km², de los cuales 12 forman parte de la presente investigación (Figura 5).

Figura 5

Distribución de ecosistemas naturales de estudio en la provincia de Loja



Nota. El gráfico representa la distribución de los ecosistemas de estudio en la provincia de Loja y región sur de Ecuador.

5.2. Analizar la variación del NDVI en función de la temperatura y precipitación

5.2.1. Información sobre los ecosistemas naturales de estudio

La información vectorial de los ecosistemas naturales de estudio fue obtenida del geoportal (<http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/>), en la categoría Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques, unidad ambiental Ecosistema (Tabla1).

Tabla 1

Área y código de ecosistemas de estudio en la provincia de Loja

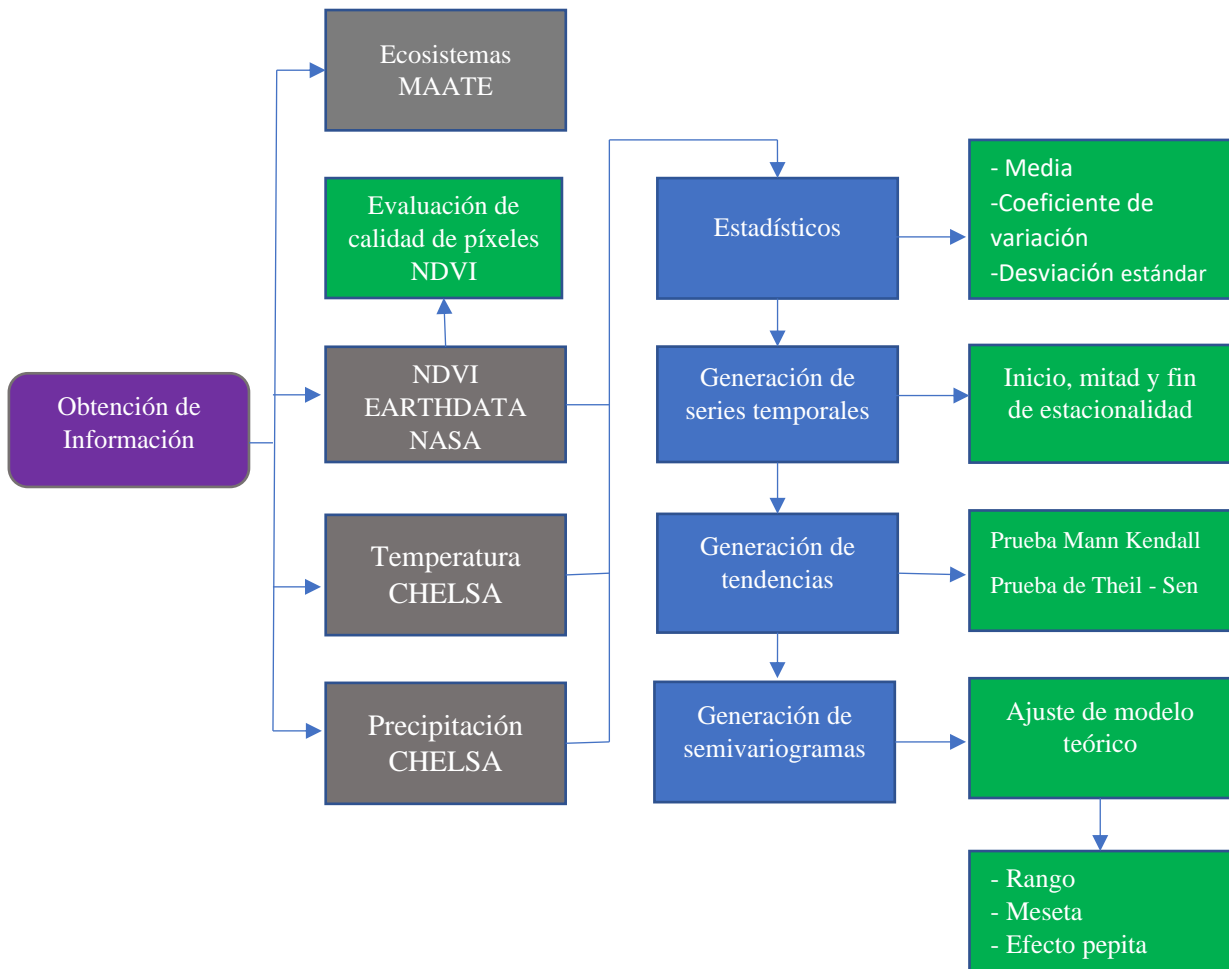
Ecosistema	Código	Área (km²)
Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor	BmPn01	1 360,97
Arbustal semideciduo del sur de los Valles	AmMn01	622,64
Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo	BdTc01	462,75
Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor	BmBn01	413,71
Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor	BdPn01	330,70
Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor	BsMn04	262,17
Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	BsMn02	223,72
Bosque y Arbustal semideciduo del sur de los Valles	BmBn02	131,43
Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo	BdTc02	125,14
Herbazal del Páramo	HsSn02	63,82
Arbustal desértico del sur de los Valles	AdBn01	55,90
Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes	AsMn02	48,91
Total		4 101,99

Nota. Esta tabla muestra en orden ascendente el área representativa de los doce ecosistemas de estudio.

A continuación, se presenta el esquema de metodología empleada en el análisis espacial y temporal del NDVI en función de la temperatura y precipitación:

Figura 6

Esquema de metodología



Nota. El gráfico indica el flujograma de la metodología del análisis espacio temporal del NDVI con las variables temperatura y precipitación.

5.2.2. Adquisición de información del NDVI

Las imágenes del NDVI, fueron obtenidas del archivo de formato de datos jerárquicos HDF-EOS del Programa de Sistemas de Datos de Ciencias de la Tierra de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>), con una resolución espacial de 1 000 metros. La resolución temporal, corresponde a una imagen mensual, con un total de 216 imágenes del período 1 de enero de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2018 del sensor espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada - MODIS del

satélite Terra, de proyección sinusoidal, de la colección MOD13A3 versión 6.1 (Didan, 2021) y reproyectado al sistema de coordenadas geodésicas WGS 84.

5.2.3. Evaluación de Calidad de píxeles de NDVI

Para evaluar la calidad de píxeles del NDVI, se utilizó el programa ArcGIS 10.8.2., en base a el área representativa de cada ecosistema se generó una malla de puntos que permitió extraer los valores ráster del conjunto de imágenes de fiabilidad de píxeles “pixel reliability”. Los valores de cada categoría corresponden a -1: valor no procesado, 0: valor de confianza, 1: valor útil, y 3: valor cubierto de nubosidad (Didan, 2021). Los valores de las categorías 0 y 1 se utilizaron en la presente investigación, mientras que, los valores de las categorías -1, 2 y 3 fueron eliminados.

5.2.4. Adquisición de información de temperatura y precipitación

La información de las variables climáticas temperatura media mensual y precipitación media mensual del período 1 de enero de 2001 hasta el 31 de diciembre de 2018, fue obtenida del geoportel Climatologías de Alta Resolución para la Superficie Terrestre - CHELSA (<https://chelsa-climate.org/>) con una resolución espacial de 30 segundos (~1km en el Ecuador) (Brun et al., 2022; Karger et al., 2021; karger et al., 2020). Los valores mensuales por ecosistema fueron obtenidos con la malla de puntos del numeral 5.2.3. en el programa ArcGIS 10.8.2.

5.2.4. Análisis estadístico

Una vez obtenidos los datos de las variables de estudio, se calculó la media como medida de tendencia central, además, se determinaron la varianza y el coeficiente de variación como medidas de dispersión. Estos parámetros fueron complementados con otros parámetros, como el valor máximo y el valor mínimo.

5.2.5. Análisis de la serie temporal

Para visualizar la serie temporal y la tendencia, se utilizó el valor promedio de cada variable del período de estudio en el programa Timesat, versión 3.3, que generó las series temporales y tendencias a partir del año 2002. Para identificar los patrones repetitivos en la serie temporal, se usó el filtro de Savitzky – Golay; las métricas generadas en la serie temporal fueron: inicio, mitad, fin y duración de la estacionalidad. Para visualizar la tendencia, se empleó la descomposición de tendencias estacionales LOESS – STL Trend. En el análisis de la tendencia, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall, con un nivel de significancia del 95 % ($\alpha = 0,05$) que determino si

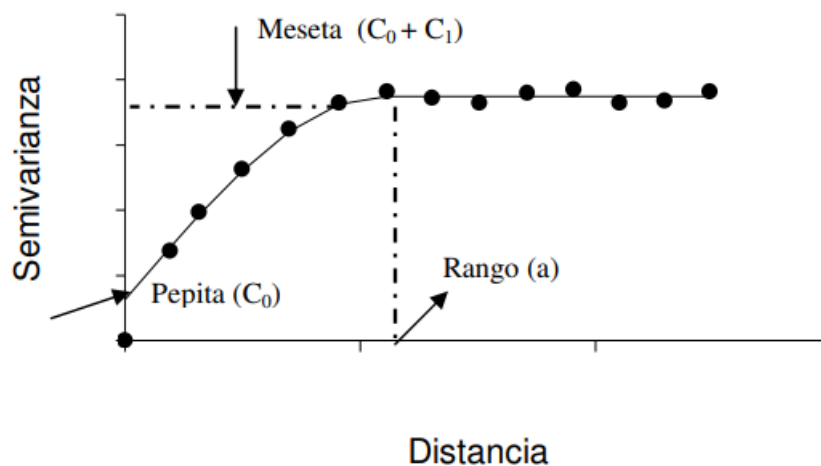
existe la presencia o ausencia de tendencia, mientras que el Tau especificó si la tendencia es ascendente o descendente. Sin embargo, debido a que esta prueba no proporciona información sobre la pendiente de la tendencia, se complementó con la prueba no paramétrica de Theil-Sen. La librería trend del programa R 4.2.3 fue utilizada para el cálculo de estas pruebas estadísticas.

5.2.6. Semivariograma del NDVI con variables climáticas

Para el análisis de la correlación espacial entre el NDVI con la temperatura y precipitación, se empleó un semivariograma que, representó gráficamente el cambio de la semivarianza entre pares de puntos de las variables en función de la distancia. Para lograr una mayor representatividad de los parámetros del modelo teórico del semivariograma, se utilizó el valor promedio de la meseta, rango y efecto pepita de áreas superiores a 20 km² por ecosistema. Sin embargo, en el caso de ecosistemas con una sola área, los parámetros fueron calculados en base a esta única área. El cálculo de los parámetros del modelo teórico se realizó con librería gstat del programa R 4.2.3. A continuación, se presentan el semivariograma y sus elementos (Figura 7), y el número de áreas por ecosistema (Tabla 2) para el cálculo de los parámetros promedio de la pepita, meseta y rango.

Figura 7

Elementos del semivariograma



Nota. El gráfico representa los elementos del semivariograma: meseta, rango, y la pepita. Adaptado de *Introducción a la Geoestadística* (p. 25), por R. Giraldo, 2007, Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 2

Áreas representativas por ecosistema para el determinar el rango, meseta y efecto pepita

Ecosistema	Código	Nro. de polígonos
Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor	BmPn01	6
Arbustal semideciduo del sur de los Valles	AmMn01	6
Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo	BdTc01	2
Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor	BmBn01	6
Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor	BdPn01	4
Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor	BsMn04	6
Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	BsMn02	1
Bosque y Arbustal semideciduo del sur de los Valles	BmBn02	1
Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo	BdTc02	2
Herbazal del Páramo	HsSn02	1
Arbustal desértico del sur de los Valles	AdBn01	1
Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes	AsMn02	1

Nota. Esta tabla muestra el número de polígonos por ecosistema para calcular los parámetros del modelo teórico: rango, meseta y efecto pepita.

5.3. Definir lineamientos estratégicos orientados a un manejo integral de los ecosistemas de la provincia de Loja para su adaptación al cambio climático

Los lineamientos estratégicos, fueron formulados con base en el Plan de Adaptación al Cambio Climático de Ecuador, del sector patrimonio natural (MAATE, 2023). La estructura de los lineamientos estratégicos para los ecosistemas naturales, según el MAE (2012), es la siguiente:

- Línea estratégica: se hizo referencia de manera directa al objetivo de la presente investigación, y responde a la necesidad de mejorar a la adaptación de los ecosistemas frente al cambio climático.
- Objetivos específicos: se formuló objetivos para la adaptación de los ecosistemas de estudio frente al cambio climático.
- Lineamientos estratégicos: se definió la estrategia que permitió alcanzar los objetivos planteados.
- Resultados: se formuló el alcance después de lograr el objetivo planteado.
- Temporalidad: se estableció el período de inicio y culminación de la obtención del resultado.

6. Resultados

6.1. Evaluación de la calidad de píxeles

Los resultados del análisis de calidad de píxeles de las imágenes MODIS en los ecosistemas de estudio se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Calidad de píxeles en los ecosistemas naturales evaluados en la provincia de Loja

Código	Área (km²)	C-1 (%)	C0 (%)	C1 (%)	C3 (%)	C0 + C1 (%)
BmPn01	1 360,97	0,15	76,55	22,63	0,67	99,18
AmMn01	622,64	0,17	56,02	42,58	1,23	98,60
BdTc01	462,75	0,03	88,92	10,04	1,01	98,96
BmBn01	413,71	0,21	64,41	33,95	1,43	98,36
BdPn01	330,70	0,07	83,69	15,72	0,52	99,41
BsMn04	262,17	0,08	46,72	47,76	5,44	94,48
BsMn02	223,72	0,04	28,07	58,26	13,63	86,33
BmBn02	131,43	0,18	65,8	33,84	0,18	99,64
BdTc02	125,14	0,00	89,16	9,84	1,00	99,00
HsSn02	63,82	0,05	36,2	54,38	9,37	90,58
AdBn01	55,90	0,12	71,58	28,15	0,15	99,73
AsMn02	48,91	0,22	49,16	49,03	1,59	98,19

Nota. Esta tabla muestra el porcentaje de píxeles no procesados (C -1), píxeles con dato confiable (C0), píxeles con dato útil (C1), y píxeles con dato de nubosidad (C3) del NDVI en el período 2001-2018.

Los resultados de la evaluación de calidad de píxeles, indican que los píxeles de dato confiable “C0” y píxeles de datos útiles “C1” superan el 98 % en diez de los doce ecosistemas de estudio. Los ecosistemas con mayor porcentaje de calidad C0 y C1, se presenta en los ecosistemas arbustal desértico del sur de los valles “AbBn01” con el 99,73 %, el bosque y arbustal semidecuido del sur de los valles “BmBn02” con el 99,64%; mientras que los ecosistemas con menor porcentaje de píxeles de calidad son los ecosistemas herbazal del páramo con el 90,58 % y el bosque siempreverde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes con el 86,33 %. El ecosistema con mayor porcentaje de píxeles confiables “C0” es el bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo “BdTc02” con 89,16 %, situación que es opuesta en el ecosistema bosque siempreverde montano del sur de la cordillera oriental de los Andes “BsMn02” con el 28,07 %.

6.2. Estadística del NDVI en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja

Los resultados estadísticos del NDVI de los ecosistemas de estudio se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Estadística del NDVI en los ecosistemas naturales evaluados de la provincia de Loja

Ecosistema	Área (km²)	\bar{x}	s	cv (%)	Min	Max
BmPn01	1 360,97	0,64	0,13	20,67	0,39	0,84
AmMn01	622,64	0,55	0,09	16,70	0,37	0,74
BdTc01	462,75	0,52	0,18	33,73	0,27	0,82
BmBn01	413,71	0,56	0,09	15,48	0,38	0,70
BdPn01	330,70	0,57	0,16	27,32	0,31	0,82
BsMn04	262,17	0,68	0,06	8,59	0,55	0,78
BsMn02	223,72	0,80	0,03	3,17	0,70	0,85
BmBn02	131,43	0,59	0,12	20,27	0,35	0,78
BdTc02	125,14	0,56	0,19	33,21	0,26	0,86
HsSn02	63,82	0,63	0,03	5,19	0,55	0,72
AdBn01	55,90	0,30	0,09	29,58	0,18	0,58
AsMn02	48,91	0,56	0,05	9,61	0,42	0,68

Nota. Esta tabla muestra la media (\bar{x}), desviación estándar (s), coeficiente de variación (cv), valor mínimo (Min) y valor máximo (Max) obtenidos del NDVI en el período 2001-2018.

Los resultados indican que, en los ecosistemas de estudio, el NDVI alcanzó valores promedio entre 0,30 a 0,80. Sobresalen particularmente el BSMn02 (Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes) y el BsMn04 (Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor) con valores de 0,80 y 0,68, respectivamente. En cuanto a la desviación estándar, se observó una menor dispersión datos en relación a la media en BsMn02 (Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes) y HsSn02 (Herbazal del Páramo) con valores de 0,03; situación que es similar en el coeficiente de variación en estos mismos ecosistemas, con valores de 3,17% y 5,15%, respectivamente.

Los valores mínimos de NDVI se encontraron en BdTc02 (Bosque bajo y arbustal decidido de tierras bajas del Jama Zapotillo) con 0,26, y AdBn01 (Arbustal desértico del sur de los Valles) con 0,18. Sin embargo, los valores más altos corresponden a los ecosistemas BdTc02 (Bosque bajo

y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo) con 0,86 y BsMn02 (Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes) con 0,85.

6.3. Estadística de la temperatura media mensual en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja

Los resultados estadísticos de la temperatura media mensual de los ecosistemas de estudio se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Estadística de la temperatura en los ecosistemas evaluados en la provincia de Loja

Ecosistema	Área (km ²)	\bar{x}	s	cv (%)	Min	Max
BmPn01	1 360,97	21,81	0,74	3,38	20,35	25,42
AmMn01	622,64	17,72	0,71	4,02	15,85	20,52
BdTc01	462,75	24,86	1,18	4,74	22,17	27,77
BmBn01	413,71	14,98	0,56	3,72	13,36	16,90
BdPn01	330,70	22,45	0,77	3,44	20,71	25,52
BsMn04	262,17	14,16	0,72	5,06	11,34	16,15
BsMn02	223,72	13,55	0,90	6,64	11,04	15,87
BmBn02	131,43	20,61	0,94	4,57	18,82	26,52
BdTc02	125,14	24,45	1,30	5,32	21,59	27,35
HsSn02	63,82	11,68	0,97	8,33	8,95	14,07
AdBn01	55,90	20,00	1,01	5,03	18,43	26,72
AsMn02	48,91	13,58	0,82	6,02	11,14	16,10

Nota. Esta tabla muestra la media (\bar{x}), desviación estándar (s), el coeficiente de variación (cv), valor mínimo (Min) y valor máximo (Max) obtenidos de la temperatura en el período 2001-2018.

En los ecosistemas analizados, las temperaturas medias más altas se registraron en BdTc01 (Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo), y BdTc02 (Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo), alcanzando valores de 24,86 °C y 24,45 °C, respectivamente. Por otra parte, las temperaturas medias más bajas se observaron en HsSn02 (Herbazal del Páramo) con 11,6 °C, seguido de BsMn02 (Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes) con 13,3 °C.

Referente a la desviación estándar, los valores más bajos corresponden a BmBn01 (Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor) y HsSn02 (Arbustal semideciduo del sur de los Valles) con valores de 0,56 y 0,71, respectivamente. A diferencia de los ecosistemas descritos

anteriormente, el coeficiente de variación es menor en BmPn01 (Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor) con 3,38 % y BdPn01 con (Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor) 3,44 %. En cuanto a las temperaturas, las mínimas se observaron en HsSn02 (Herbazal del Páramo) con 8,95% y BsMn02 (Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes) con 11,04 °C; mientras que las temperaturas más altas se registraron en BdTc01 (Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo) con 27,77 °C y BdTc02 (Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo) °C con 27,35 °C.

6.4. Estadística de la precipitación media mensual en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja

Los resultados estadísticos de la precipitación media mensual de los ecosistemas de estudio se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Estadística de la precipitación en los ecosistemas evaluados de la provincia de Loja

Ecosistema	Área (km²)	\bar{x}	s	cv (%)	Min	Max
BmPn01	1 360,97	84,85	92,82	109,39	2,08	535,59
AmMn01	622,64	88,34	61,73	69,88	4,88	342,50
BdTc01	462,75	43,99	83,62	190,07	0,71	525,06
BmBn01	413,71	79,11	77,70	98,22	1,86	413,85
BdPn01	330,70	70,83	93,36	131,81	0,74	547,13
BsMn04	262,17	111,00	83,71	75,41	5,37	448,27
BsMn02	223,72	108,62	63,00	58,00	7,89	356,11
BmBn02	131,43	67,59	48,81	72,22	2,67	259,04
BdTc02	125,14	43,51	82,63	189,9	0,54	488,54
HsSn02	63,82	96,60	60,94	63,08	9,28	337,57
AdBn01	55,90	68,89	49,96	75,52	5,13	276,72
AsMn02	48,91	85,04	58,24	68,48	7,51	305,97

Nota. Esta tabla muestra la media (\bar{x}), desviación estándar (s), el coeficiente de variación (cv), valor mínimo (Min) y valor máximo (Max) de la precipitación durante el período 2001-2018.

En el período de estudio, la precipitación media mensual alcanzó valores promedio más altos en los ecosistemas BsMn04 (Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor) y BsMn02 (Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes), con valores de 111,00 mm y 108,63 mm, respectivamente. Mientras que, en BdTc01 (Bosque deciduo

de tierras bajas del Jama Zapotillo) y BdTc02 (Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo), las precipitaciones presentaron valores de 43,99 mm y 43,51 mm, respectivamente.

En los ecosistemas BmBn02 (Bosque y Arbustal semideciduo del sur de los Valles) y AdBn01 (Arbustal desértico del sur de los Valles), la desviación estándar muestra valores de 48,81 y 49,96, respectivamente. Sin embargo, el coeficiente de variación presenta los valores más bajos en el BsMn02 (Bosque siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes) con 58,00 % y HsSn02 (Herbazal del Páramo) con 63,08 %. Las precipitaciones más bajas, corresponden a BdTc02 (Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo) con 0,54 mm y BdTc01 (Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo) con 0,71 mm. A diferencia de estos valores, las precipitaciones más altas se observaron en BdPn01 (Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor) con 547,13 mm y BmPn01 (Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor) con 535,59 mm.

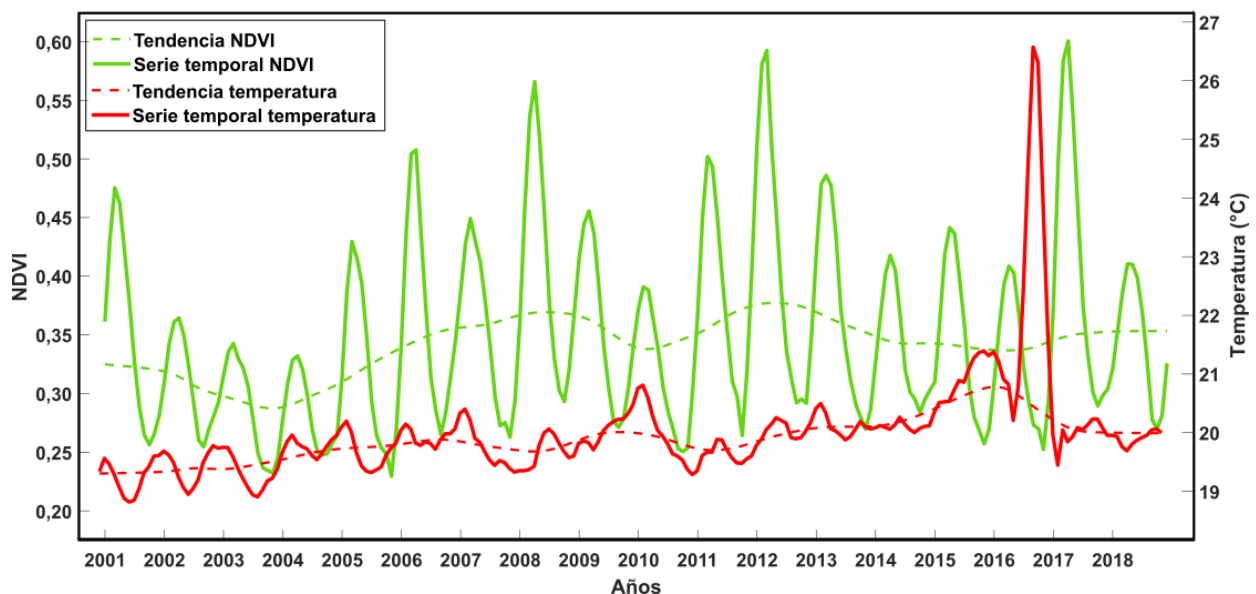
6.6. Series temporales del NDVI y temperatura en los ecosistemas de estudio

6.6.1. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Arbustal desértico del sur de los Valles

La serie temporal del NDVI y de la temperatura del ecosistema Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01) se presenta en la figura 8.

Figura 8

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Arbustal desértico del sur de los Valles



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

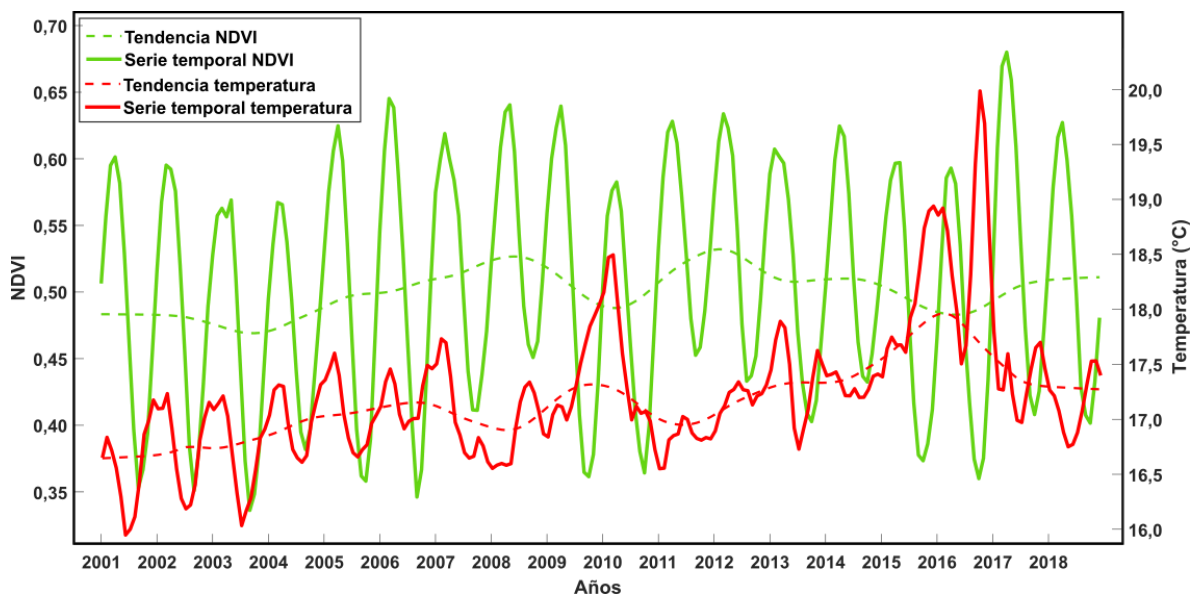
La serie temporal del ecosistema Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01), revela que, en el período de estudio, el NDVI presenta un patrón del 01 de enero al 09 de junio, con una duración de 159 días. En cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 211 días, desde el 01 de octubre al 30 de abril. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 07 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (21,4 °C), 2010 (20,8 °C) y 2013 (20,5 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 13 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,55), 2012 (0,54) y 2008 (0,51). En las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.6.2. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Arbustal semidecuido del sur de los Valles

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Arbustal semidecuido del sur de los Valles (AmMn01) se presenta en la figura 9.

Figura 9

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Arbustal semidecuido del sur de los Valles



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

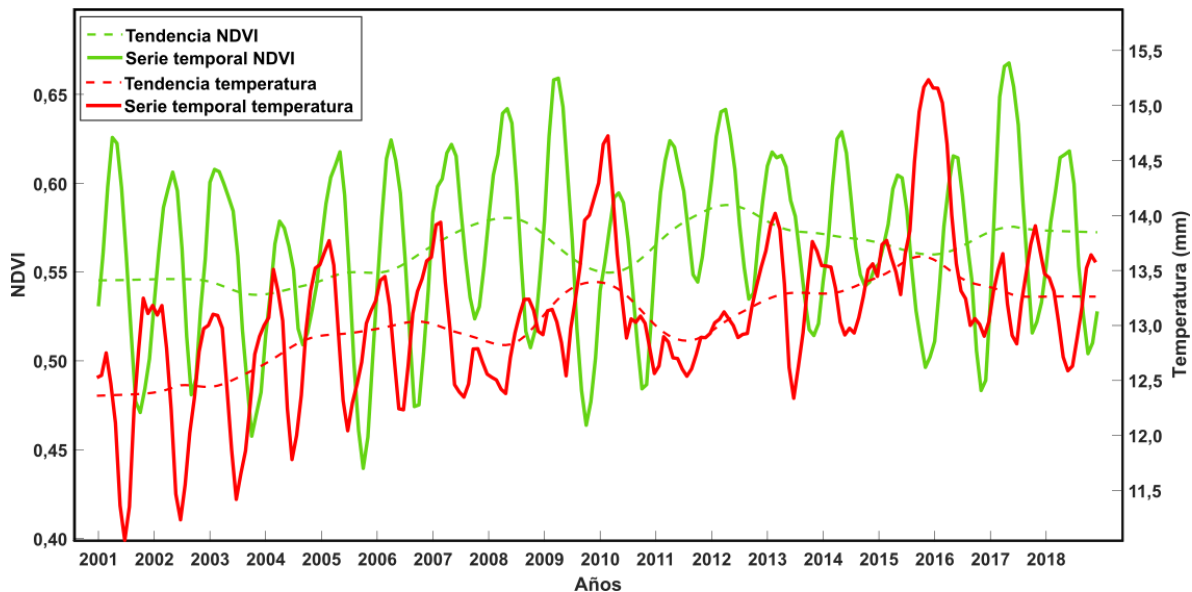
La serie temporal del ecosistema Arbustal semidecíduo del sur de los Valles (AmMn01), revela que, en el período de estudio, el NDVI presenta un patrón del 18 de diciembre al 18 de junio, con una duración de 183 días. En cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 185 días, desde el 12 de octubre al 15 de abril. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 15 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2017 (20,4 °C), 2016 (19,4 °C) y 2010 (19,0 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,73), 2006 (0,69) y 2008 (0,69). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.6.3. *Serie temporal del NDVI y temperatura en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes*

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AmMn02) se presenta en la figura 10.

Figura 10

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

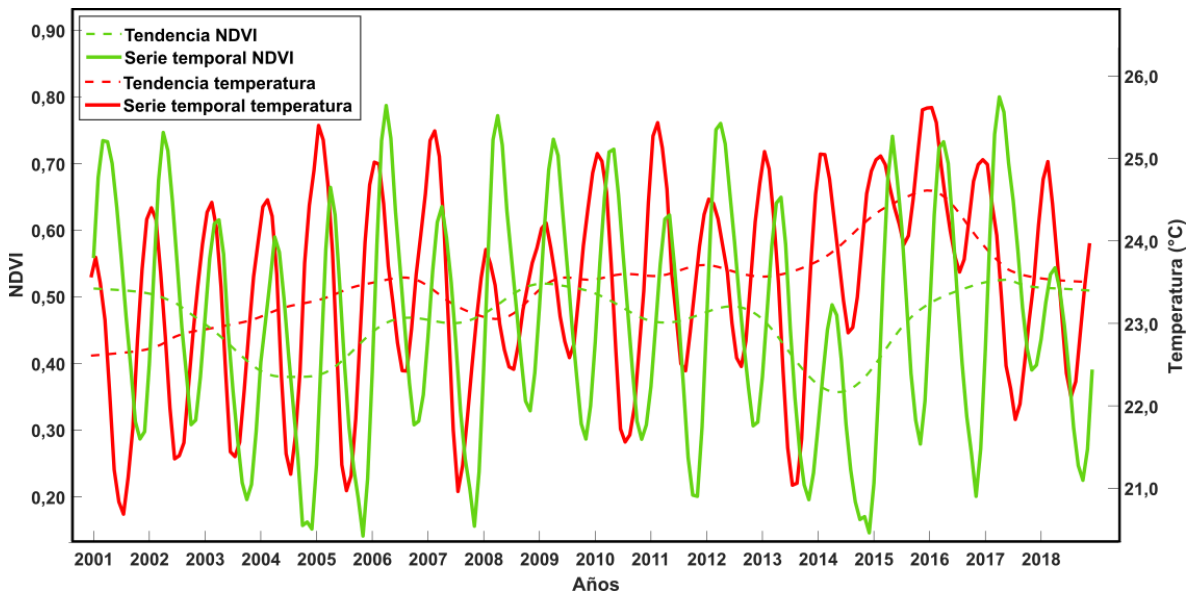
La serie temporal del ecosistema Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AmMn02), revela que, en el período de estudio, el NDVI presenta un patrón del 01 de enero al 15 de julio, con una duración de 195 días. En cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 210 días, desde el 18 de septiembre al 06 de abril. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 18 de enero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (15,7 °C), 2010 (15,2 °C) y 2013 (14,5 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 15 de abril, son más notables en los años 2017 (0,66), 2009 (0,65) y 2008 (0,64). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.6.4. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02) se presenta en la figura 11.

Figura 11

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura del Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

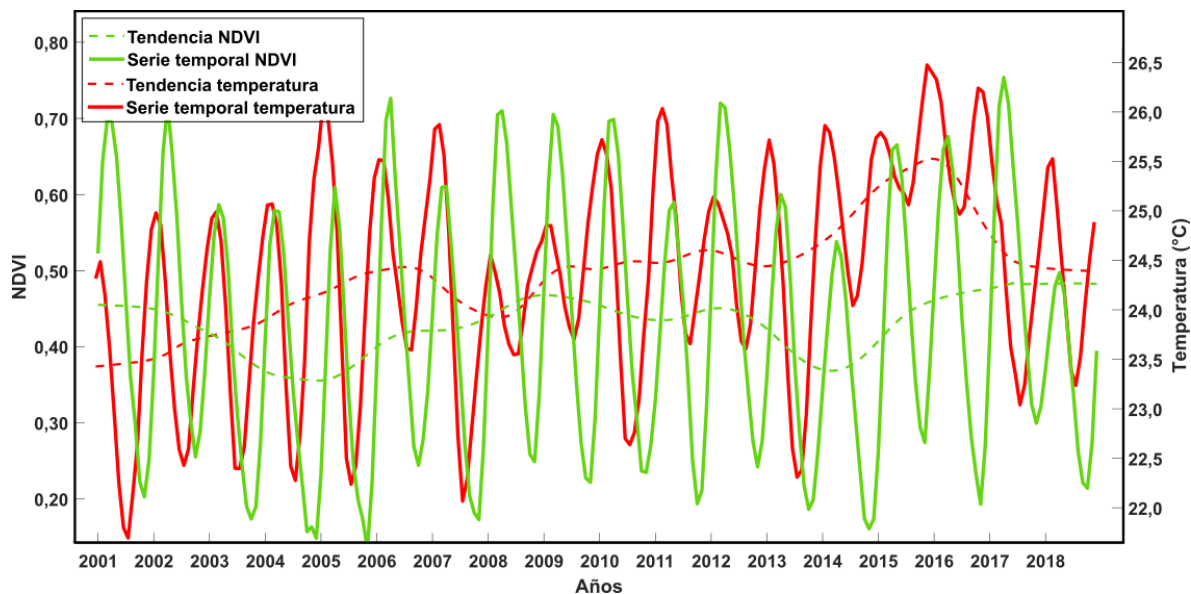
La serie temporal del ecosistema Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02) revela que, en el período de estudio, el NDVI presentó variaciones periódicas del 14 de enero al 05 de julio, con una duración de 173 días. En cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 198 días, desde el 20 de octubre al 06 de mayo. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 12 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (26,6 °C), 2011 (26,4 °C) y 2005 (26,4 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 12 de abril, son más notables en los años 2017 (0,90), 2006 (0,88) y 2008 (0,87). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.6.5. *Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo*

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01) se presenta en la figura 12.

Figura 12

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

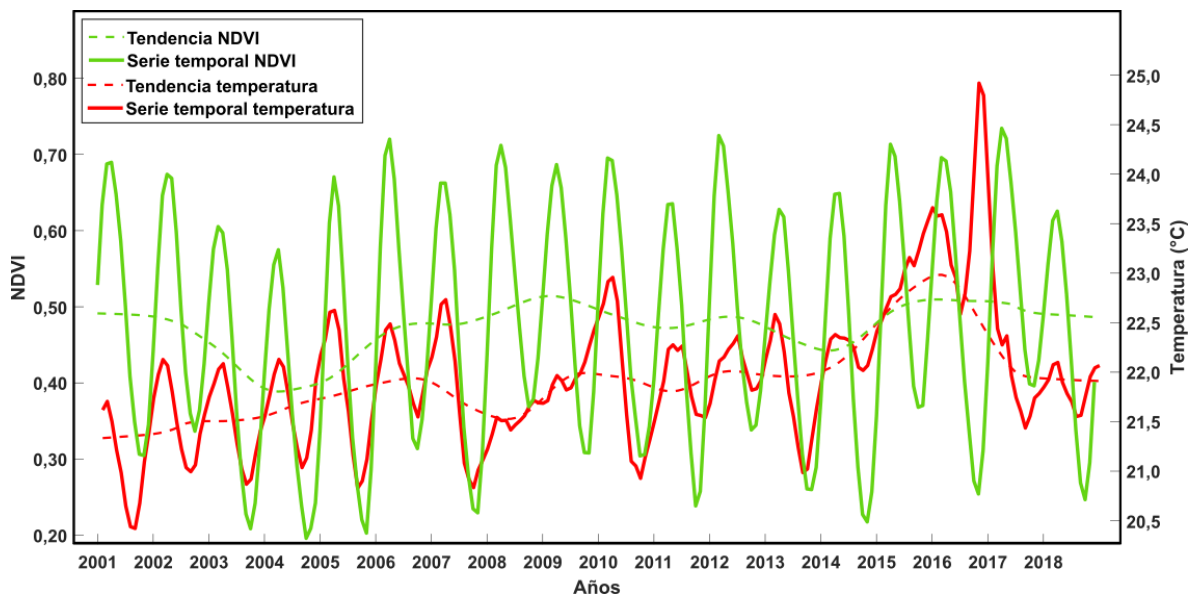
La serie temporal del ecosistema Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01) revela que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 02 de enero al 22 de junio, con una duración de 171 días. En cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 190 días, desde el 29 de octubre al 08 de mayo. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 12 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (26,9 °C), 2017 (26,7 °C) y 2005 (26,6 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,85), 2006 (0,82) y 2012 (0,82). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.6.6. *Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor*

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BdPn01) se presenta en la figura 13.

Figura 13

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

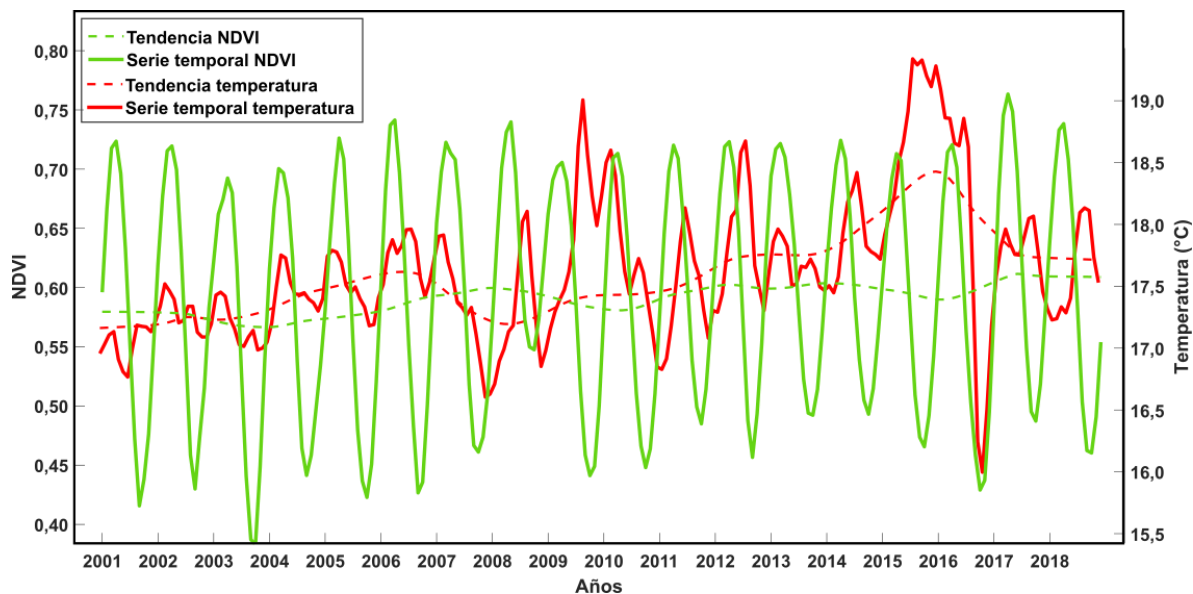
En la figura 13, la serie temporal del ecosistema Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BdPn01) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 01 de enero al 23 de junio, con una duración de 174 días; en cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 174 días, desde el 07 de noviembre al 23 de abril. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 15 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2017 (25,3 °C), 2016 (24,1 °C) y 2010 (23,4 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 12 de abril, son más notables en los años 2017 (0,83), 2012 (0,82) y 2006 (0,82). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente conforme en el período de estudio.

6.6.7. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01) se presenta en la figura 14.

Figura 14

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

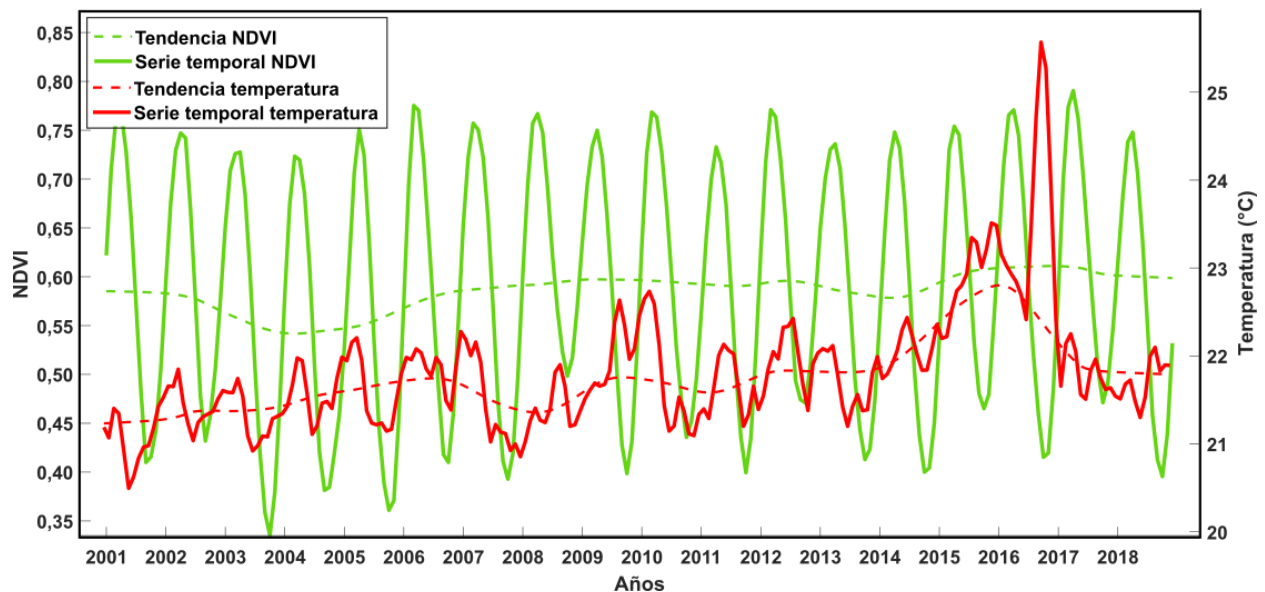
La serie temporal del ecosistema Bosque semidecuido montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 07 de diciembre al 11 de junio, con una duración de 186 días; en cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 183 días, desde el 01 de enero al 02 de julio. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 15 de marzo, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (19,3 °C), 2017 (18,8 °C) y 2010 (18,7 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,81), 2006 (0,79) y 2008 (0,78). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.6.8. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01) se presenta en la figura 15.

Figura 15

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

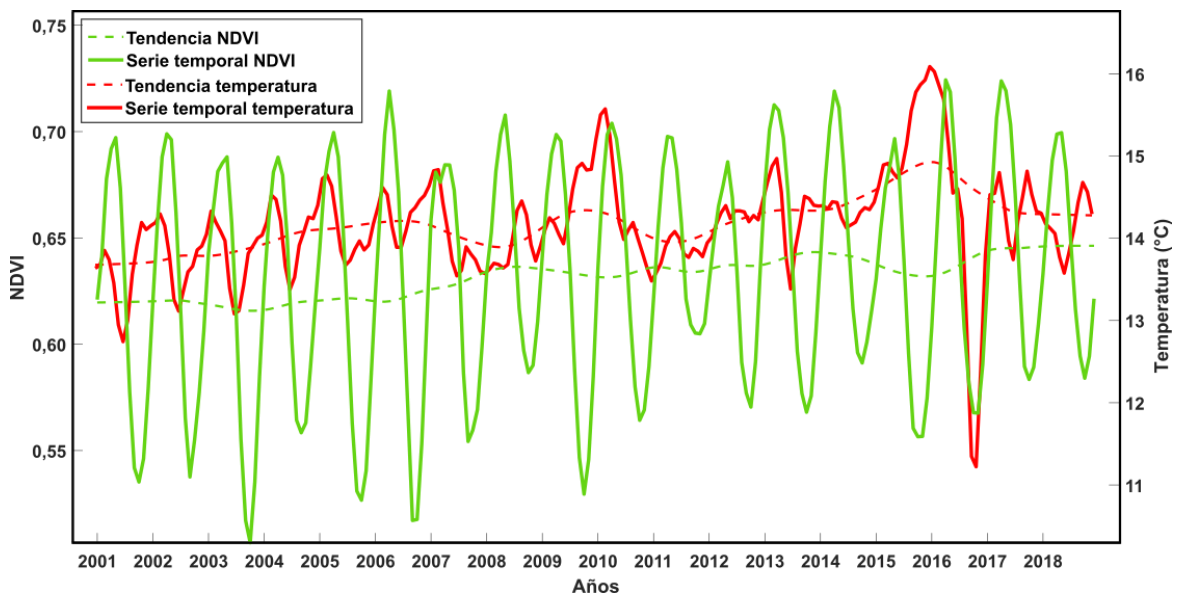
La serie temporal del ecosistema Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 15 de diciembre al 15 de junio, con una duración de 182 días; en cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 194 días, desde el 07 de noviembre al 21 de mayo. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 09 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2017 (25,2 °C), 2016 (23,5 °C) y 2010 (22,7 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 19 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,84), 2006 (0,82) y 2012 (0,82). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.6.9. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04) se presenta en la figura 16.

Figura 16

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

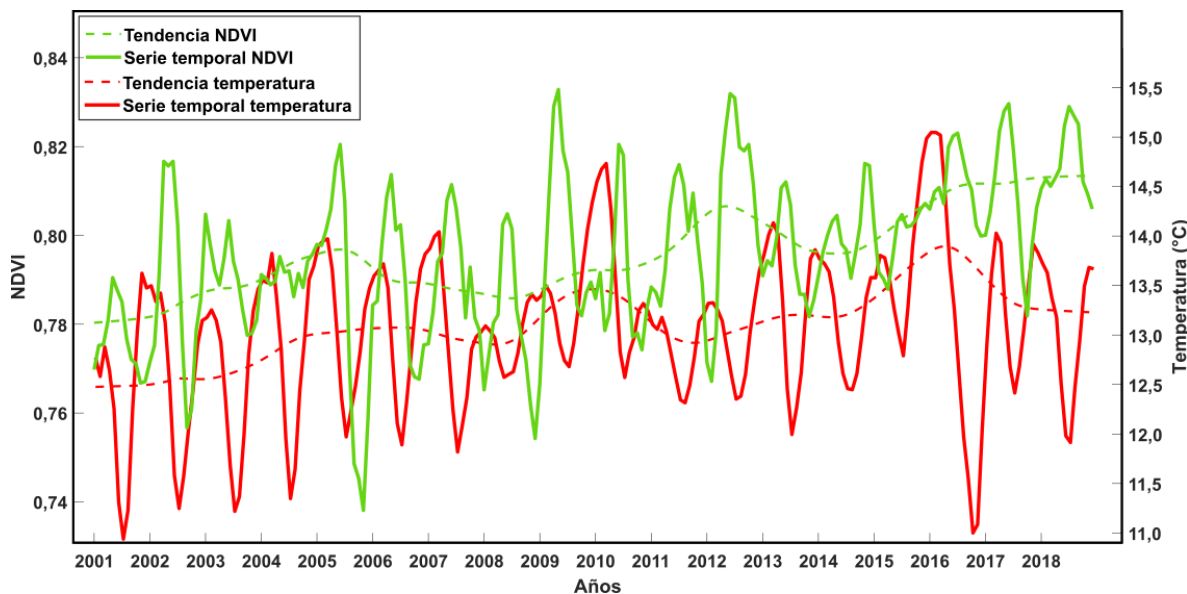
La serie temporal del ecosistema Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 24 de diciembre al 28 de junio, con una duración de 186 días; en cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 207 días, desde el 14 de octubre al 09 de mayo. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 10 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (16,1 °C), 2010 (15,5 °C) y 2013 (14,9 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 15 de abril, son más notables en los años 2016 (0,77), 2017 (0,77) y 2006 (0,76). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.6.10. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02) se presenta en la figura 17.

Figura 17

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

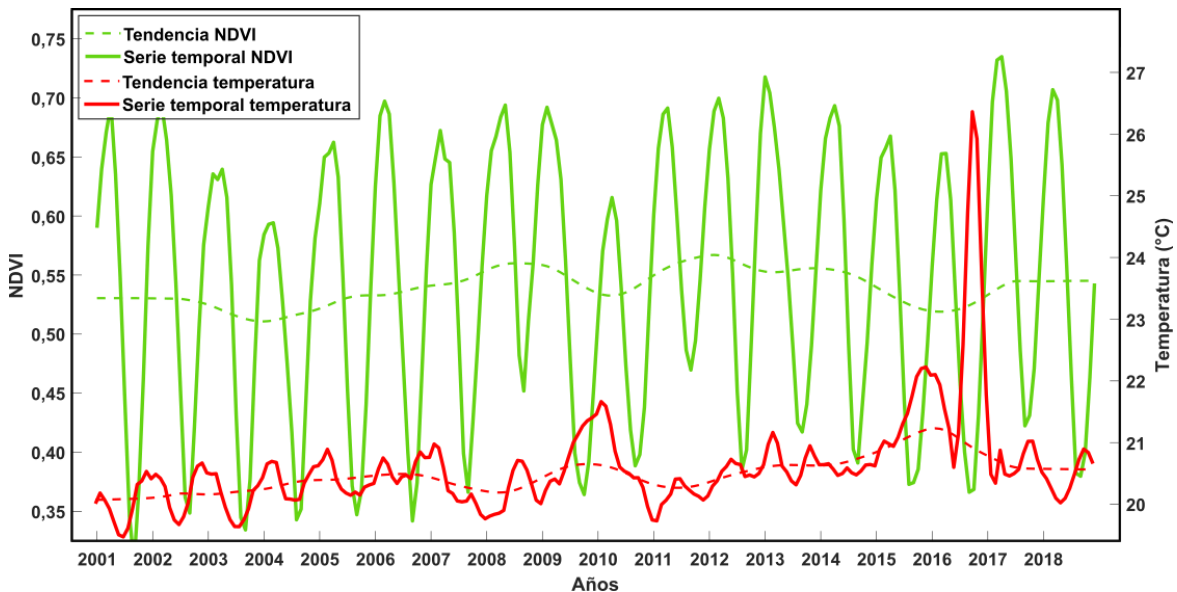
La serie temporal del ecosistema Bosque siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 01 de febrero al 03 de agosto, con una duración de 183 días; en cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 216 días, desde el 01 de octubre al 05 de mayo. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 16 de enero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (15,5 °C), 2010 (15,2 °C) y 2013 (14,6 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 15 de mayo, son más notables en los años 2009 (0,83), 2012 (0,83) y 2017 (0,82). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.6.11. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles (BmBn02) se presenta en la figura 18.

Figura 18

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

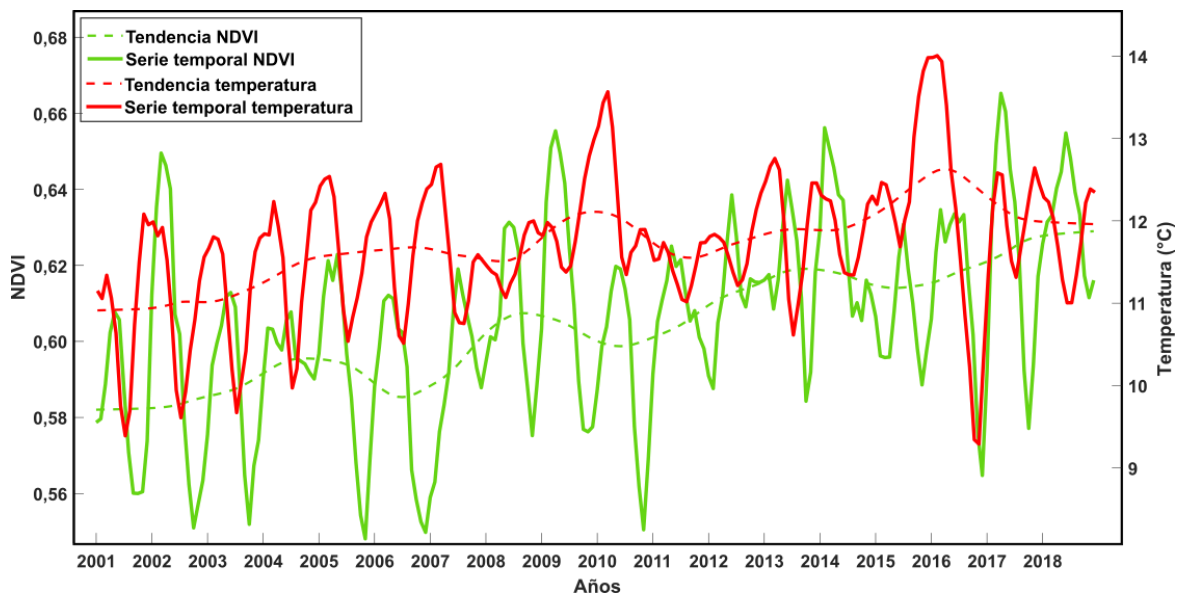
La serie temporal del ecosistema Bosque y arbustal semidecídulo del sur de los Valles (BmBn02) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 01 de diciembre al 20 de junio, con una duración de 201 días; en cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 151 días, desde el 01 de diciembre al 01 de mayo. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 11 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2017 (26,3 °C), 2016 (22,2 °C) y 2010 (21,6 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,78), 2013 (0,76) y 2018 (0,75). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.6.12. Serie temporal del NDVI y temperatura en el Herbazal del Páramo

La serie temporal del NDVI y la temperatura del ecosistema Herbazal del Páramo (HsSn02) se presenta en la figura 19.

Figura 19

Serie temporal y tendencia del NDVI y temperatura en el Herbazal del Páramo



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y temperatura.

La serie temporal del ecosistema Herbazal del Páramo (HsSn02) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 14 de enero al 25 de julio, con una duración de 192

días; en cambio, en la temperatura, el patrón tuvo una duración de 219 días, desde el 08 de septiembre al 05 de mayo. Los valores más altos de la temperatura, correspondientes 11 de enero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (14,0 °C), 2010 (13,5 °C) y 2013 (12,7 °C). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 15 de mayo, son más notables en los años 2017 (0,68), 2014 (0,67) y 2009 (0,67). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.6.13. Análisis de la tendencia del NDVI y temperatura

El análisis de la tendencia del NDVI y la temperatura, mediante las pruebas de Mann-Kendall y de Theil-Sen, en los ecosistemas de estudio, se presenta en la tabla 7.

Tabla 7

Prueba de Mann-Kendall y Theil-Sen de las tendencias del NDVI y temperatura

Ecosistema	NDVI			Temperatura		
	p-valor	Tau	Sen	p-valor	Tau	Sen
BmPn01	< 0,01	0,736	0,00014	< 0,01	0,637	0,0038
AmMn01	< 0,01	0,047	0,00010	< 0,01	0,386	0,0045
BdTc01	< 0,01	0,297	0,00024	< 0,01	0,677	0,0070
BmBn01	< 0,01	0,613	0,00016	< 0,01	0,653	0,0040
BdPn01	< 0,01	0,256	0,00015	< 0,01	0,653	0,0042
BsMn04	< 0,01	0,736	0,00014	< 0,01	0,637	0,0038
BsMn02	< 0,01	0,628	0,00011	< 0,01	0,633	0,0044
BmBn02	< 0,01	0,157	0,00007	< 0,01	0,646	0,0034
BdTc02	< 0,01	0,153	0,00014	< 0,01	0,685	0,0064
HsSn02	< 0,01	0,807	0,00023	< 0,01	0,707	0,0060
AdBn01	< 0,01	0,376	0,00024	< 0,01	0,706	0,0049
AsMn02	< 0,01	0,633	0,00021	< 0,01	0,647	0,0048

Nota. Esta tabla muestra la prueba de Mann-Kendall, compuesta por el p-valor con un nivel de significancia del 95 %, y el valor Tau positivo. Mientras que la prueba de Theil-Sen indica la pendiente de la tendencia.

El análisis de la tendencia del NDVI y temperatura, demuestra que en todos los ecosistemas el p-valor es inferior al nivel de significancia al 95 % ($\alpha = 0,05$), lo que evidencia que existe una tendencia en las series temporales; asimismo, en la prueba de Mann-Kendall (Tau) se observa que los valores son positivos, es decir, las tendencias son ascendentes. En cuanto a la prueba de Theil-Sen (Sen), en el NDVI, es mayor en los ecosistemas Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01) con 0,00024, Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01) con 0,00024 y

Herbazal del Páramo (HsSn02) con 0,00023, mientras que, en la temperatura, los valores más altos se presentan en los ecosistemas Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01), Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del jama Zapotillo (BdTc02), y Herbazal del Páramo (HsSn02) con valores de 0,0070, 0,0064 y 0,0060, respectivamente.

6.7. Series temporales del NDVI y precipitación en los ecosistemas de estudio

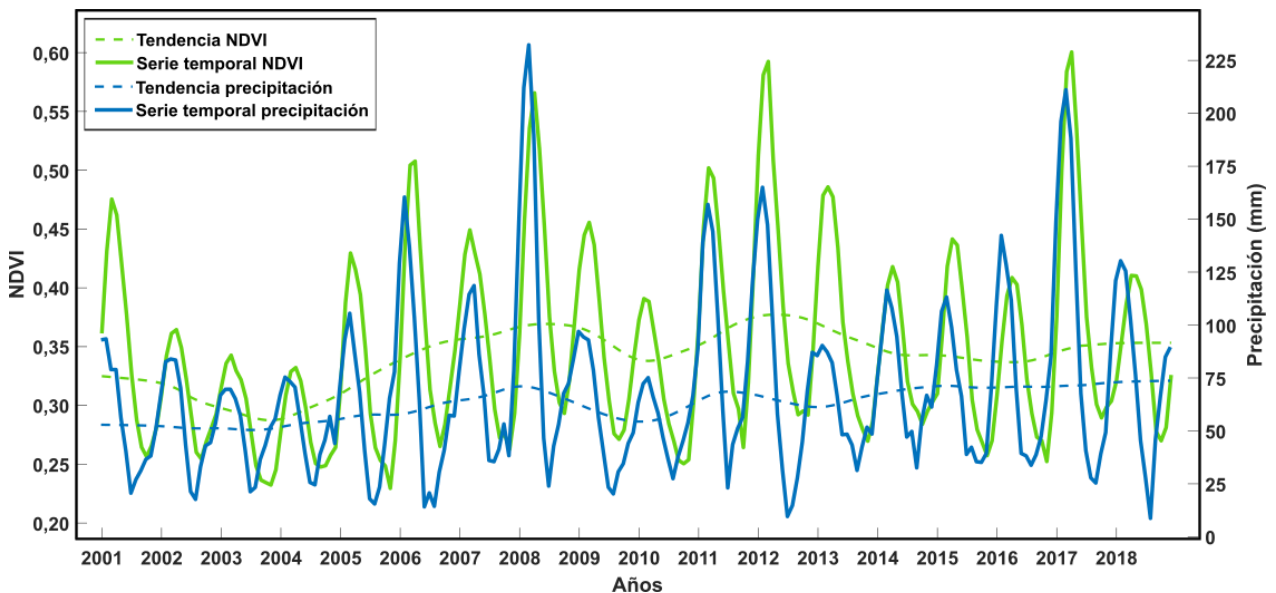
A continuación, se presentan los resultados de las series temporales del NDVI y de la variable climática precipitación de las áreas representativas de los ecosistemas de estudio.

6.7.1. Serie temporal del NDVI y precipitación en el Arbustal desértico del sur de los Valles

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01) se presenta en la figura 20.

Figura 20

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Arbustal desértico del sur de los Valles



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01), revela que, en el período de estudio, el NDVI presenta un patrón del 01 de enero al 09 de junio, con una duración de 159 días. En cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 154 días, desde el 09 de diciembre al 14 de mayo. Los valores más altos de la precipitación, de fecha 15 de

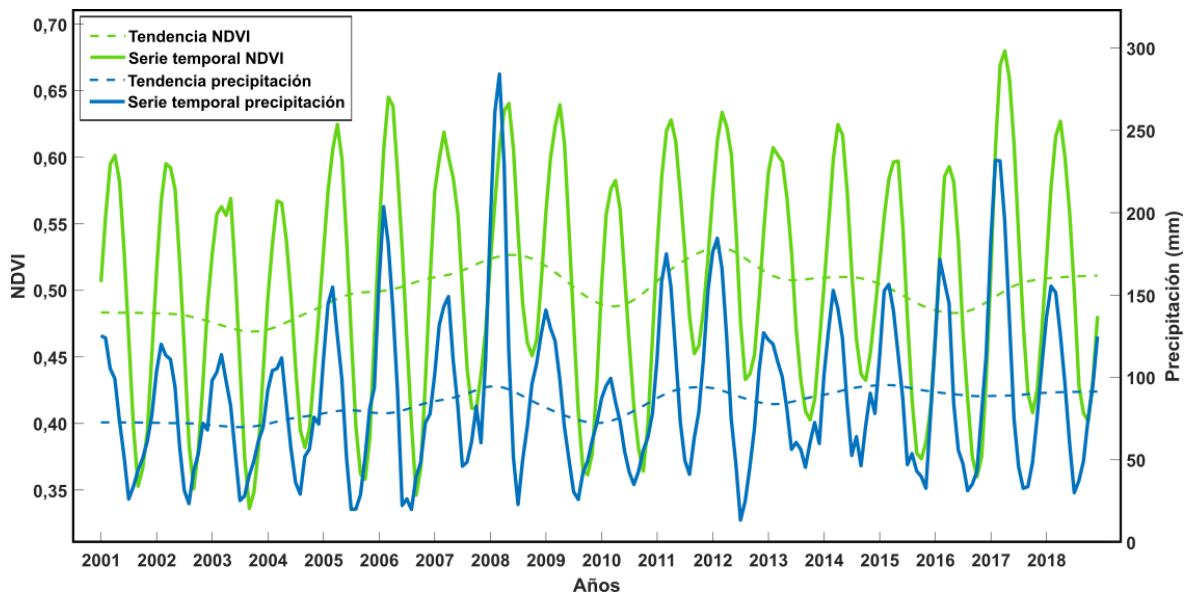
febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (232,3 mm), 2017 (211,1 mm) y 2012 (165,0 mm). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 13 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,55), 2012 (0,54) y 2008 (0,51). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.7.2. Serie temporal del NDVI y precipitación en el Arbustal semideciduo del sur de los Valles

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Arbustal semideciduo del sur de los Valles (AmMn01) se presenta en la figura 21.

Figura 21

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Arbustal semideciduo del sur de los Valles



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Arbustal semideciduo del sur de los Valles (AmMn01), revela que, en el período de estudio, el NDVI presenta un patrón del 18 de diciembre al 18 de junio, con una duración de 183 días. En cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 159 días, desde el 10 de diciembre al 18 de mayo. Los valores más altos de la precipitación, de fecha 18 de febrero, que indican la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (248,1 mm), 2017 (231,7 mm) y 2006 (203,7 mm). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de

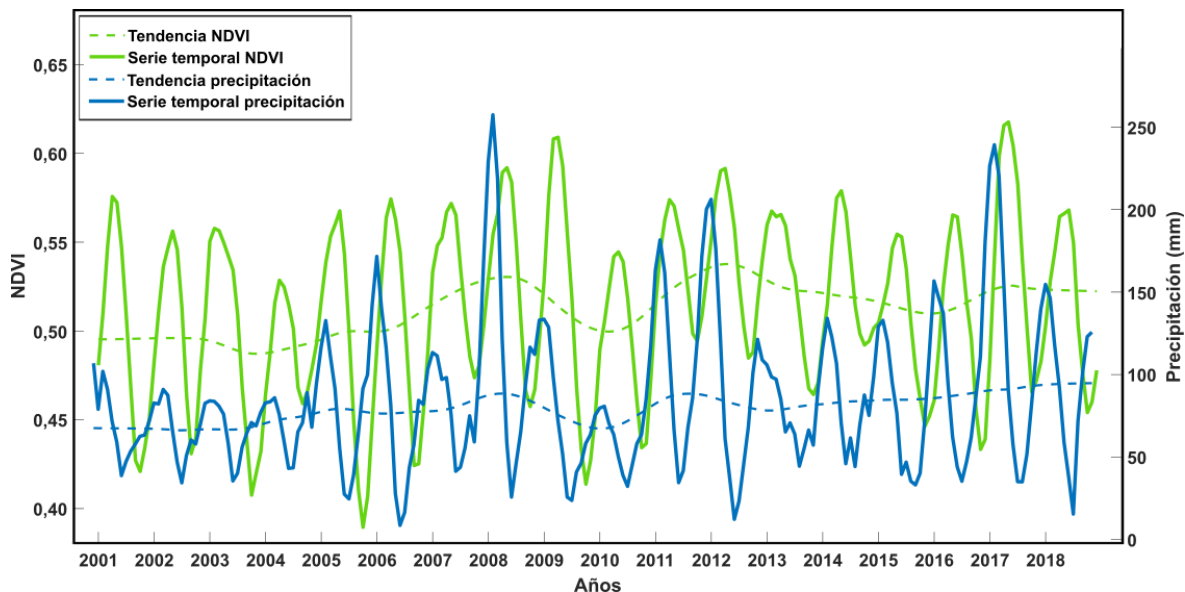
fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,73), 2006 (0,69) y 2008 (0,69). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.7.3. *Serie temporal del NDVI y precipitación en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes*

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02) se presenta en la figura 22.

Figura 22

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AmMn02), revela que, en el período de estudio, el NDVI presenta un patrón del 01 de enero al 15 de julio, con una duración de 195 días. En cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 180 días, desde el 01 de diciembre al 30 de mayo. Los valores más altos de la precipitación, correspondientes al 15 de febrero, que señalan la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (257,5 mm), 2017 (239,3 mm) y 2012 (206,2 mm). Por otra parte, los valores más

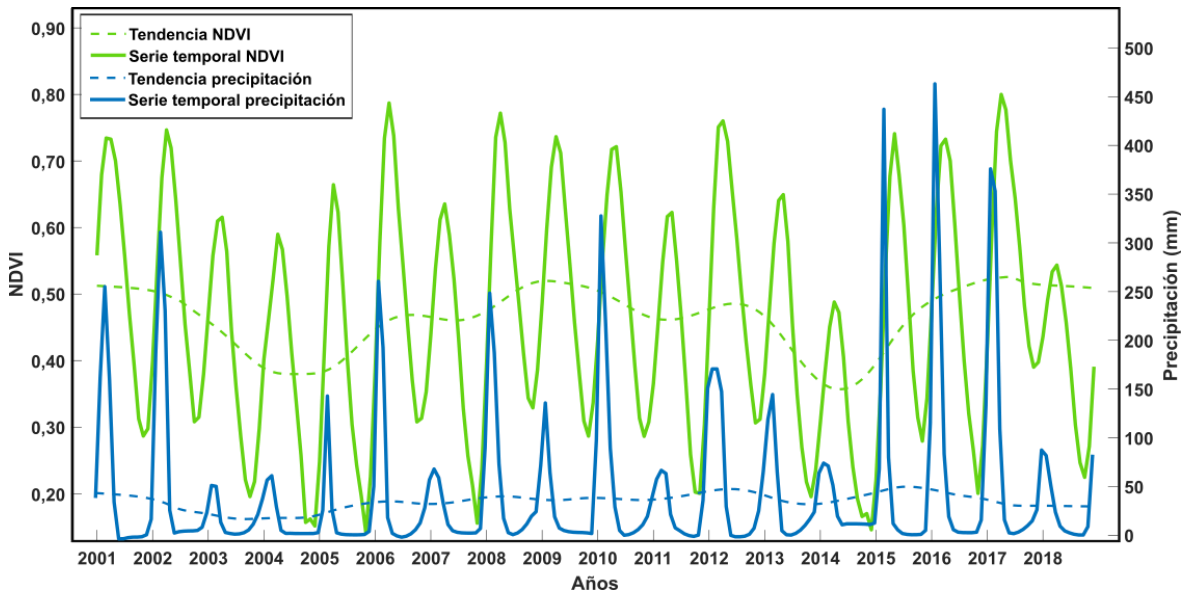
altos del NDVI, de fecha 15 de abril, son más notables en los años 2017 (0,66), 2009 (0,65) y 2008 (0,64). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.7.4. *Serie temporal del NDVI y precipitación en Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo*

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02) se presenta en la figura 23.

Figura 23

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02) revela que, en el período de estudio, el NDVI presentó variaciones periódicas del 14 de enero al 05 de julio, con una duración de 173 días. En cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 78 días, desde el 02 de enero al 21 de marzo. Los valores más altos de la precipitación, de fecha 15 de febrero, que indican la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (463,1 mm), 2017 (375,9 mm) y 2010 (327,6 mm). Por otra parte, los valores más

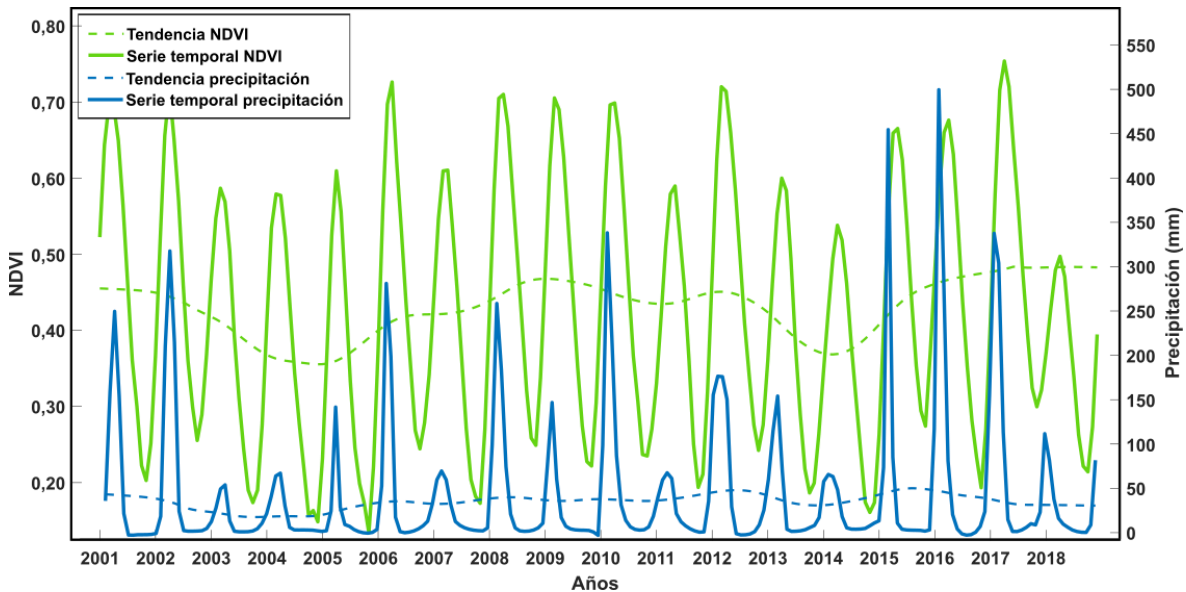
altos del NDVI, de fecha 12 de abril, son más notables en los años 2017 (0,90), 2006 (0,88) y 2008 (0,87). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.7.5. *Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo*

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01) se presenta en la figura 24.

Figura 24

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01) revela que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 02 de enero al 22 de junio, con una duración de 171 días. En cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 78 días, desde el 02 de enero al 21 de marzo. Los valores más altos de la precipitación, de fecha 18 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2016 (499,6 mm), 2015 (454,5 mm) y 2010 (338,1 mm). Por otra parte, los valores más altos del

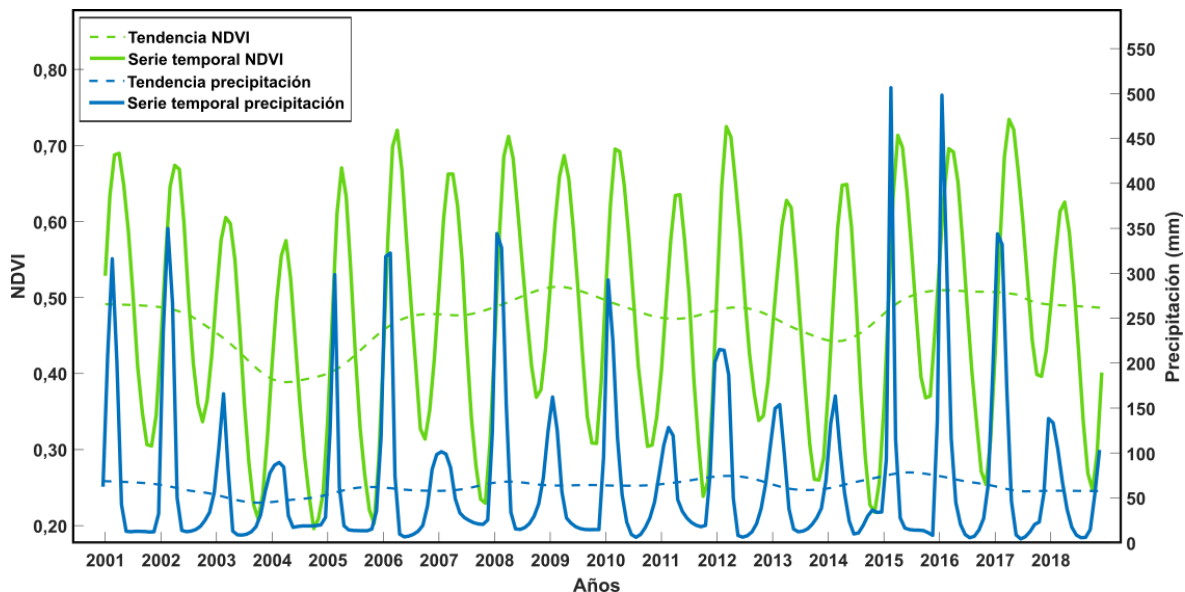
NDVI, de fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,85), 2006 (0,82) y 2012 (0,82). Por otra parte, en las tendencias se observa un comportamiento ascendente conforme avanza el tiempo en el período de estudio.

6.7.6. *Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor*

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BdPn01) se presenta en la figura 25.

Figura 25

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

En la figura 25, la serie temporal del ecosistema Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BdPn01) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 01 de enero al 23 de junio, con una duración de 174 días; en cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 93 días, desde el 02 de enero al 03 de abril. Los valores más altos de la precipitación, de fecha 18 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2015 (506,5 mm), 2016 (498,2 mm) y 2002 (349,8 mm). Por otra parte, los

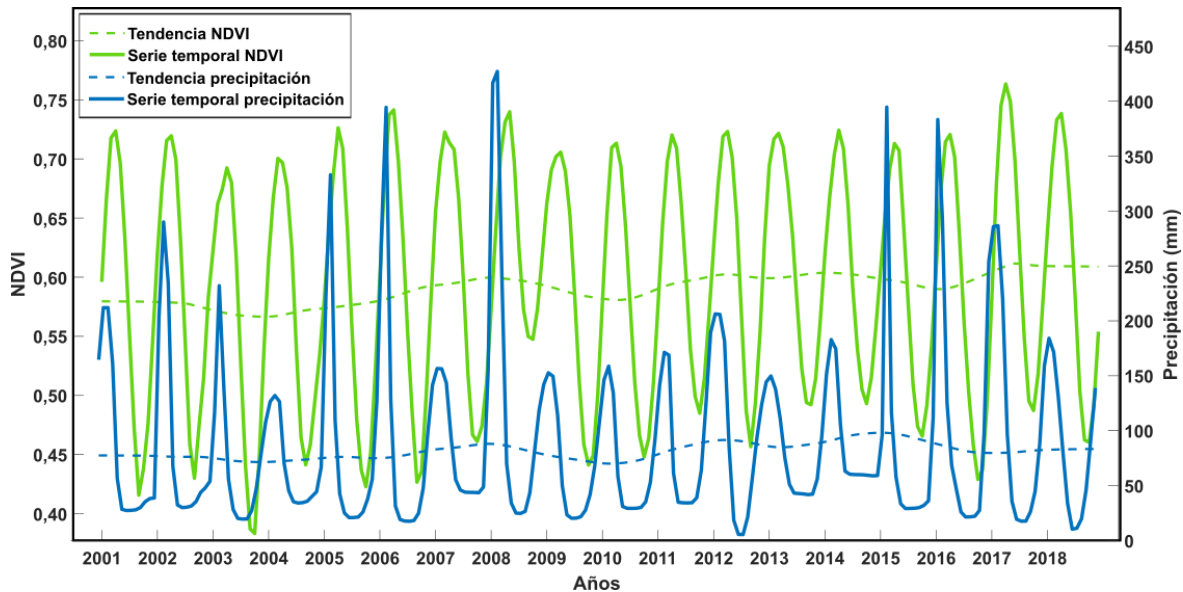
valores más altos del NDVI, de fecha 12 de abril, son más notables en los años 2017 (0,83), 2012 (0,82) y 2006 (0,82). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente conforme en el período de estudio.

6.7.7. *Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor*

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01) se presenta en la figura 26.

Figura 26

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 07 de diciembre al 11 de junio, con una duración de 186 días; en cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 107 días, desde el 26 de diciembre al 14 de abril. Los valores más altos de la precipitación, correspondientes al 15 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (427,1 mm), 2015 (394,6 mm) y 2006 (394,4

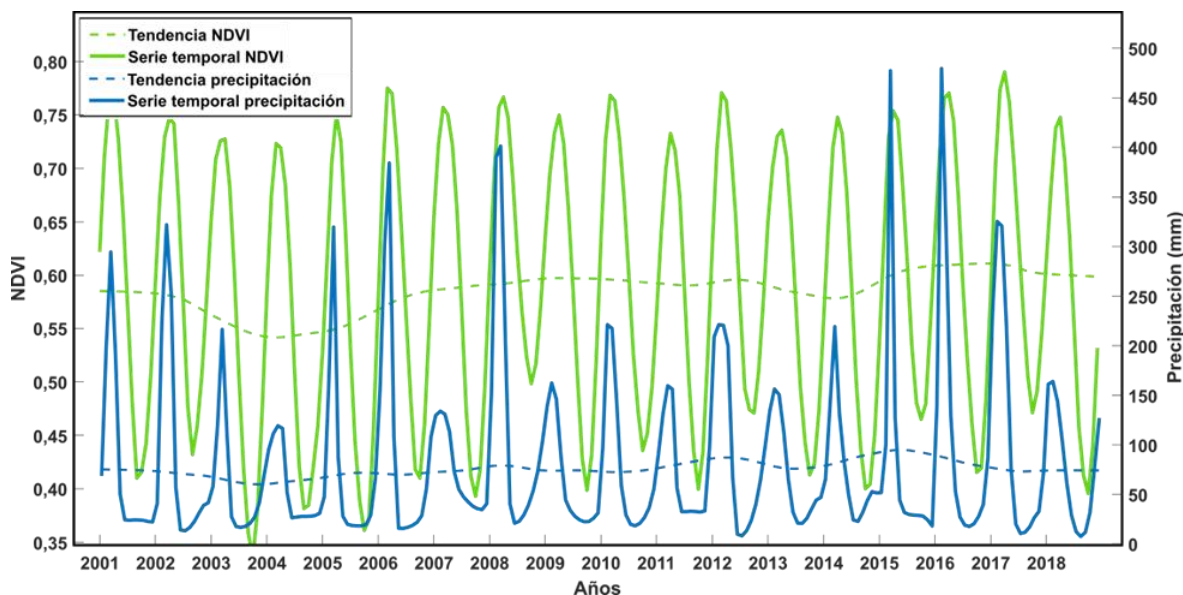
mm). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,81), 2006 (0,79) y 2008 (0,78). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.7.8. Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01) se presenta en la figura 27.

Figura 27

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Bosque semidecuido piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 15 de diciembre al 15 de junio, con una duración de 182 días; en cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 112 días, desde el 24 de diciembre al 15 de abril. Los valores más altos de la precipitación, de fecha 14 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (384,3 mm), 2016 (350,8 mm) y 2017 (323,7 mm). Por otra parte, los

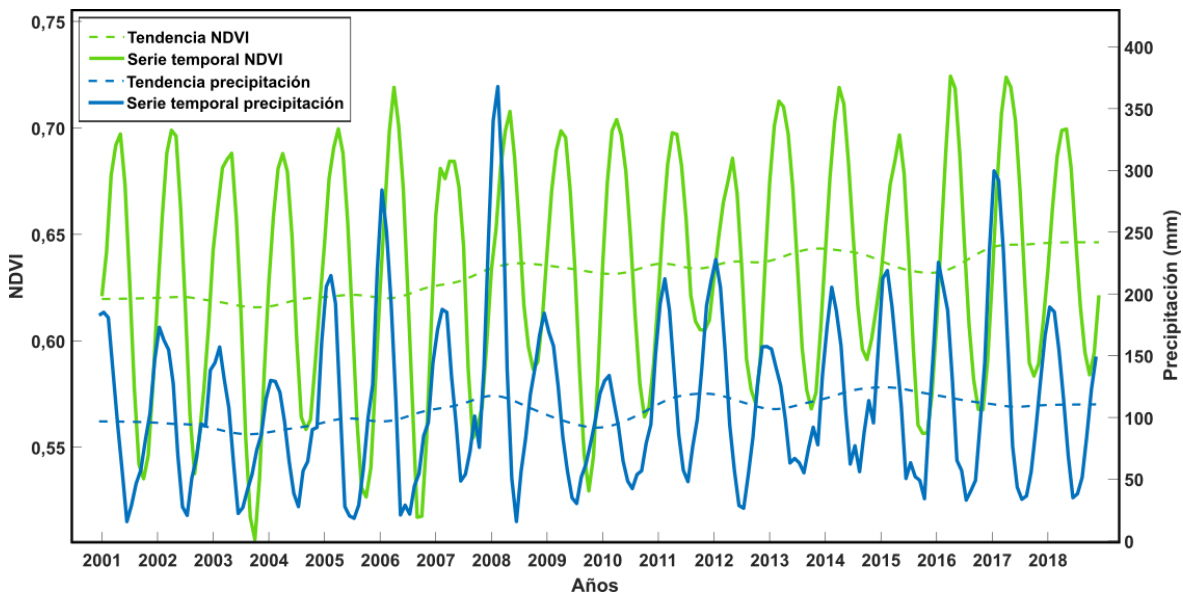
valores más altos del NDVI, de fecha 19 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,84), 2006 (0,82) y 2012 (0,82). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.7.9. Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04) se presenta en la figura 28.

Figura 28

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 24 de diciembre al 28 de junio, con una duración de 186 días; en cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 159 días, desde el 29 de noviembre al 07 de mayo. Los valores más altos de la precipitación, del 10 de febrero, que se relacionan con la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (367,9 mm), 2017 (299,6 mm) y 2006 (284,1 mm). Por otra parte, los

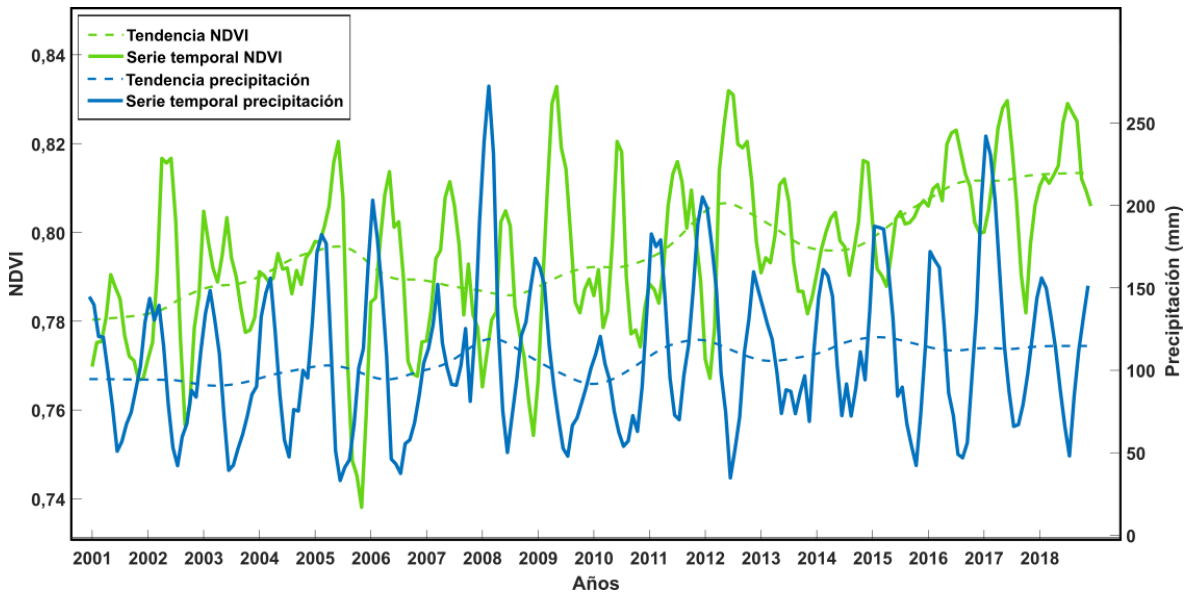
valores más altos del NDVI, de fecha 15 de abril, son más notables en los años 2016 (0,77), 2017 (0,77) y 2006 (0,76). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.7.10. Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02) se presenta en la figura 29.

Figura 29

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Bosque siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 01 de febrero al 03 de agosto, con una duración de 183 días; en cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 165 días, desde el 07 de diciembre al 21 de mayo. Los valores más altos de la precipitación, del 18 de febrero, que se indican la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (272,3 mm), 2017 (242,0 mm) y 2012 (205,1 mm). Por otra parte, los

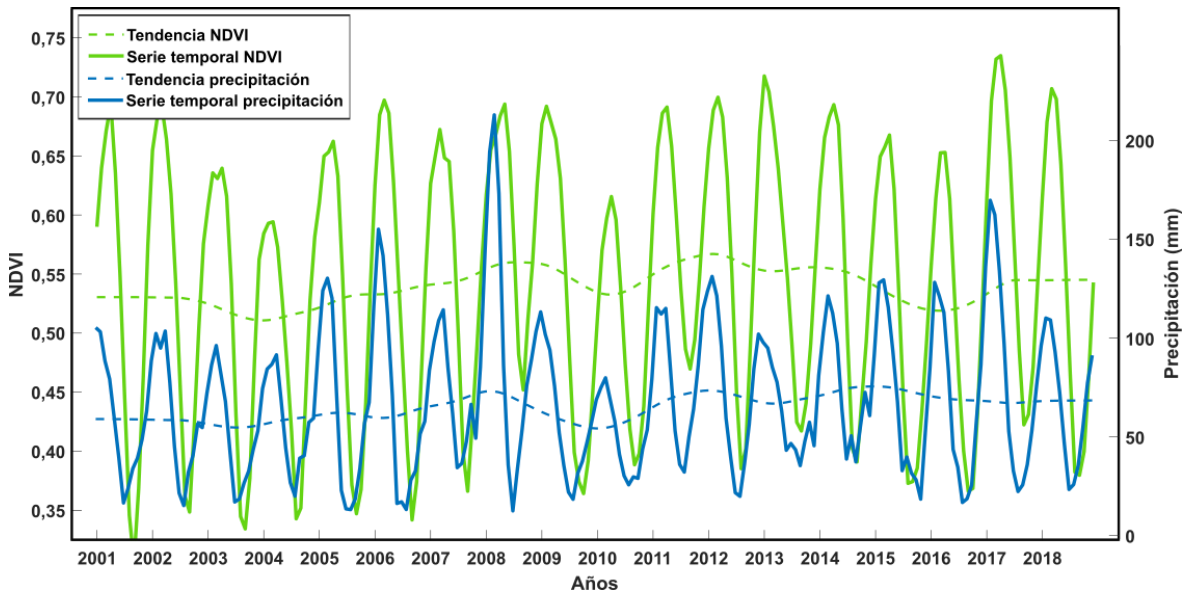
valores más altos del NDVI, de fecha 15 de mayo, son más notables en los años 2009 (0,83), 2012 (0,83) y 2017 (0,82). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.7.11. Serie temporal del NDVI y precipitación en el Bosque y arbustal semidecuido del sur de los Valles

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Bosque y arbustal semidecuido del sur de los valles (BmBn02) se presenta en la figura 30.

Figura 30

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Bosque y arbustal semidecuido del sur de los Valles



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Bosque y arbustal semidecuido del sur de los Valles (BmBn02) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 01 de diciembre al 20 de junio, con una duración de 201 días; en cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 159 días, desde el 14 de diciembre al 22 de mayo. Los valores más altos de la precipitación, del 11 de febrero, que indican la mitad de la estacionalidad, son más visibles en los años 2008 (213,0 mm), 2017 (169,8 mm) y 2006 (155,1 mm). Por otra parte, los valores más altos

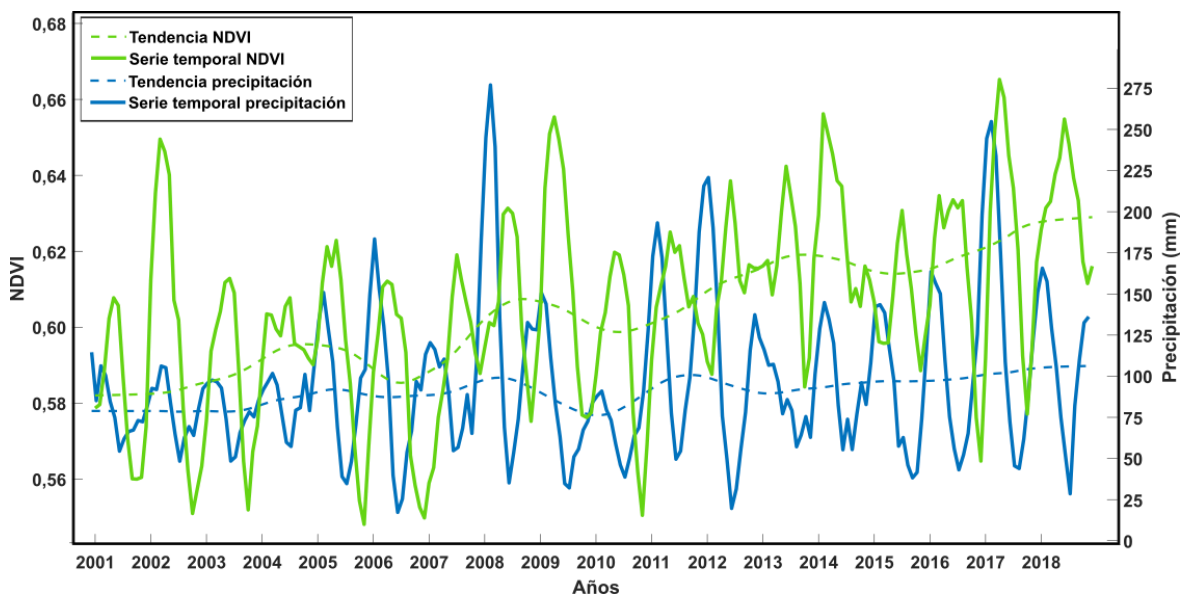
del NDVI, de fecha 18 de marzo, son más notables en los años 2017 (0,78), 2013 (0,76) y 2018 (0,75). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ligeramente ascendente en el período de estudio.

6.7.12. Serie temporal del NDVI y precipitación en el Herbazal del Páramo

La serie temporal del NDVI y la precipitación del ecosistema Herbazal del Páramo (HsSn02) se presenta en la figura 31.

Figura 31

Serie temporal y tendencia del NDVI y precipitación en el Herbazal del Páramo



Nota. El gráfico representa el patrón de la estacionalidad en la serie temporal y el comportamiento de la tendencia del NDVI y precipitación.

La serie temporal del ecosistema Herbazal del Páramo (HsSn02) muestra que, en el período de estudio, el NDVI presentó un patrón del 14 de enero al 25 de julio, con una duración de 192 días; en cambio, en la precipitación, el patrón tuvo una duración de 171 días, desde el 21 de noviembre al 11 de mayo. Los valores más altos de la precipitación, correspondientes al 11 de enero, indican la mitad de la estacionalidad, y son más visibles en los años 2008 (277,0 mm), 2017 (254,8 mm) y 2012 (220,8 mm). Por otra parte, los valores más altos del NDVI, de fecha 15 de mayo, son más notables en los años 2017 (0,68), 2014 (0,67) y 2009 (0,67). Por otra parte, en las tendencias, cronológicamente se observa un comportamiento ascendente en el período de estudio.

6.7.13. Análisis de la tendencia del NDVI y precipitación

El análisis de las tendencias del NDVI y la precipitación, mediante las pruebas de Mann-Kendall y de Theil-Sen, en los ecosistemas de estudio, se presenta en la tabla 8.

Tabla 8

Prueba de Mann-Kendall y Theil-Sen de las tendencias del NDVI y precipitación

Ecosistema	p-valor	NDVI		p-valor	Precipitación	
		Tau	Sen		Tau	Sen
BmPn01	< 0,01	0,736	0,00014	< 0,01	0,490	0,120
AmMn01	< 0,01	0,047	0,00010	< 0,01	0,072	0,075
BdTc01	< 0,01	0,297	0,00024	< 0,01	0,502	0,063
BmBn01	< 0,01	0,613	0,00016	< 0,01	0,371	0,065
BdPn01	< 0,01	0,256	0,00015	< 0,01	0,427	0,056
BsMn04	< 0,01	0,736	0,00014	< 0,01	0,490	0,120
BsMn02	< 0,01	0,628	0,00011	< 0,01	0,539	0,115
BmBn02	< 0,01	0,157	0,00007	< 0,01	0,449	0,064
BdTc02	< 0,01	0,153	0,00014	< 0,01	0,516	0,066
HsSn02	< 0,01	0,807	0,00023	< 0,01	0,632	0,116
AdBn01	< 0,01	0,376	0,00024	< 0,01	0,714	0,107
AsMn02	< 0,01	0,633	0,00021	< 0,01	0,649	0,126

Nota. Esta tabla muestra la prueba de Mann-Kendall, compuesta por el p-valor con un nivel de significancia del 95 %, y el valor Tau positivo. Mientras que la prueba de Theil-Sen indica la pendiente de la tendencia.

El análisis de la tendencia del NDVI y precipitación, demuestra que en todos los ecosistemas el p-valor es inferior al nivel de significancia al 95 % ($\alpha = 0,05$), lo que evidencia que existe una tendencia en las series temporales; asimismo, en la prueba de Mann-Kendall (Tau) se observa que los valores son positivos, es decir, las tendencias son ascendentes. En cuanto a la prueba de Theil-Sen (Sen), en el NDVI, es mayor en los ecosistemas Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01) con 0,00024, Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01) con 0,00024 y Herbazal del Páramo (HsSn02) con 0,00023, mientras que, en la precipitación, los valores más altos se presentan en los ecosistemas Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02), Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04), y Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01) con valores de 0,126, 0,120 y 0,120, respectivamente.

6.8. Análisis espacial del NDVI con la temperatura y precipitación

La meseta y el rango del NDVI – temperatura y del NDVI – precipitación en los ecosistemas de estudio se presenta en la tabla 9.

Tabla 9

Rango y meseta del NDVI con la temperatura y precipitación en los ecosistemas de evaluados

Ecosistema	Área (km ²)	Nro. polígonos evaluados	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
			Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BmPn01	1 360,97	6	4 108	0,0011	4 964	0,0013
AmMn01	622,64	6	4 377	0,0030	7 957	0,0044
BdTc01	462,75	2	2 787	0,0016	3 927	0,0027
BmBn01	413,71	6	5 938	0,0034	5 788	0,0031
BdPn01	330,70	4	3 568	0,0014	4 192	0,0015
BsMn04	262,17	6	3 954	0,0024	4 201	0,0021
BsMn02	223,72	1	4 605	0,0008	4 819	0,0007
BmBn02	131,43	1	7 592	0,0023	9 779	0,0027
BdTc02	125,14	2	5 162	0,0010	5 367	0,0014
HsSn02	63,82	1	4 216	0,0019	4 541	0,0021
AdBn01	55,90	1	2 652	0,0019	2 549	0,0024
AsMn02	48,91	1	3 470	0,0032	3 960	0,0057

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta obtenidos del número de polígonos evaluados. En el caso de un solo polígono, se calculó un solo rango y meseta.

Los ecosistemas presentaron rangos entre 7 592 a 2 652 metros. El modelo que mejor se ajustó a los pares de datos fue el modelo esférico, el cual al partir desde el origen definió un valor de cero para el efecto pepita. Sin embargo, a diferencia de los demás ecosistemas el Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02) exhibió un modelo gaussiano. El rango indica que la dependencia espacial entre el NDVI y la temperatura fue mayor en los ecosistemas Bosque y Arbustal semideciduo del sur de los Valles (BmBn02) con 7 592 metros y Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01) con 5 938 metros. Mientras que, en el NDVI y la precipitación, la relación espacial es mayor en los ecosistemas Bosque y Arbustal semideciduo del sur de los Valles (BmBn02) y Arbustal semideciduo del sur de los Valles (AmMn01) con 9 779 metros 7 957 metros, respectivamente.

En cuanto a la meseta, se observa que la semivarianza es mayor entre NDVI y precipitación, destacando en los ecosistemas Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02) con

0,0057 y Arbustal semidecíduo del sur de los Valles (AmMn01) con 0,0044, los cuales superan a las semivarianzas del NDVI y temperatura en Bosque semidecíduo montano bajo del Catamayo Alamor (BmBn01) con 0,0034 y Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02) con 0,0032.

6.9. Definir lineamientos estratégicos orientados a un manejo integral de los ecosistemas de la provincia de Loja para su adaptación al cambio climático

Los lineamientos estratégicos, para los ecosistemas naturales de estudio de la provincia de Loja se presentan a continuación:

Línea estratégica: Crear estrategias de adaptación de los ecosistemas naturales de la provincia que permitan mantener y recuperar su resiliencia frente a los impactos del cambio climático.

En base a la línea estratégica se definieron los siguientes objetivos específicos, lineamientos estratégicos, resultados y temporalidad que se presentan a continuación:

Objetivo específico 1: Mejorar los modelos climáticos a escala local para proporcionar información precisa sobre los posibles impactos del cambio climático en localidades específicas de los ecosistemas de estudio

Lineamiento estratégico 1: La implementación de estaciones meteorológicas, en coordinación entre el gobierno, la academia, organismos internacionales y comunidades locales, ha permitido recopilar una mayor cantidad de datos de las variables climáticas. Esto, a su vez, ha posibilitado la generación de proyecciones climáticas con mayor detalle en el área de los ecosistemas de estudio.

Resultado 1: La precisión de las proyecciones climáticas a escala local ha permitido a los responsables de la planificación y gestión de territorio implementar acciones oportunas en el mantenimiento de áreas prioritarias de los ecosistemas de estudio, garantizando la integridad de su estructura y funcionamiento.

Temporalidad 1: El tiempo para lograr este objetivo es de cuatro años, considerando que el cambio de autoridades locales y nacionales es de cada cuatro años.

Objetivo específico 2: Implementar medidas de restauración de los ecosistemas de estudio para mejorar su resiliencia frente al cambio climático.

Lineamiento estratégico 2: El diseño de propuestas participativas, en colaboración con las poblaciones y autoridades locales, ha permitido identificar mecanismos apropiados para acceder a fuentes de financiamiento que permitan implementar actividades de conservación y restauración de los ecosistemas de estudio.

Resultado 2: El financiamiento obtenido ha permitido implementar actividades destinadas a mantener la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales de la provincia de Loja antes fenómenos meteorológicos extremos producto del cambio climático. La reforestación y manejo de regeneración con especies forestales apropiadas ha rehabilitado hábitats esenciales para la flora y fauna, mejorando la regulación del microclima, conectividad de paisaje y servicios de los ecosistemas naturales generando mayor bienestar en las poblaciones locales.

Temporalidad 2: Este objetivo tiene un desarrollo de tres períodos, a corto plazo su implementación será de cinco años, a mediano plazo de diez años, y largo plazo de veinte años.

Objetivo específico 3: Implementar el fortalecimiento de capacidades de las poblaciones locales que permita a las generaciones presentes continuar con el proceso de restauración los ecosistemas de estudio.

Lineamiento estratégico 3: Gestionar el intercambio de conocimientos y experiencias entre entidades estatales, organismos internacionales y comunidades locales que se benefician de los ecosistemas de estudio, con el propósito de fortalecer su entendimiento sobre los riesgos y efectos adversos del cambio climático de manera que conserven y manejen sosteniblemente estos ecosistemas para las generaciones futuras.

Resultado 3: El intercambio de conocimientos del estado, organismos internacionales y poblaciones locales sobre los riesgos y efectos adversos del cambio climático ha sensibilizado la conciencia ambiental de las generaciones presentes a largo plazo.

Temporalidad 3: Este objetivo tiene un desarrollo de tres períodos, a corto plazo su implementación será de cuatro años, a mediano plazo de ocho años, y largo plazo de doce años.

7. Discusión

7.1. Relación NDVI con la temperatura en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja

Durante el periodo de estudio, la distribución de los ecosistemas a distintas latitudes, relieves, elevaciones y cercanía al Océano Pacífico, influyeron en las variaciones del ciclo estacional de la temperatura, que osciló entre 159 a 219 días, duración que es a mayor en comparación al NDVI, que se extiende de 159 a 201 días. Las máximas temperaturas acontecidas a la mitad de la estacionalidad, es decir, a mediados de febrero, 30 días antes de la mayor actividad fotosintética, están corroboradas por Wang et al. (2003), donde al evaluar el desfase entre NDVI y temperatura demostró que estas variables se correlacionan positivamente al inicio de la temporada de crecimiento de la vegetación; sin embargo, esta correlación es negativa en la mitad de la estacionalidad de la temperatura. Por otra parte, Yang et al. (2019), al correlacionar el NDVI con la temperatura a nivel global en el período 1982-2015, indica que el aumento de NDVI en relación a la temperatura, debe ser analizado a mayores resoluciones espaciales con el fin de determinar con mayor precisión esta relación.

Las mayores tendencias del NDVI y temperaturas acontecidas simultáneamente en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo, Arbustal desértico del sur de los Valles, y Herbazal del Páramo, y los valores más altos de estas variables registrados en 2016 al 2017, posiblemente están relacionados al fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur. Según Ilba-Yupa et al. (2021), este fenómeno climático alteró la temperatura normal en los meses diciembre a abril, en los años 1968 a 2014, siendo mayor al norte del cantón Saraguro y mayor parte del territorio del cantón Zapotillo de la provincia de Loja. Asimismo, Pan et al. (2019) señala que la relación entre el NDVI y temperatura es compleja, debido a que la temperatura influye en el crecimiento de la vegetación, pero los efectos son más complejos y pueden depender de otros factores ambientales.

La dependencia espacial entre el NDVI con las variables climáticas indica que la meseta y el rango son distintos en cada ecosistema, es decir, la correlación espacial varía de modo independiente en relación a la superficie en cada ecosistema. El modelo esférico, presente en la mayoría de ecosistemas, determinó un efecto pepita de cero, el cual es una característica propia de este modelo con crecimiento rápido desde el origen (Giraldo, 2008), y de alcance corto, el cual describe una variable regionalizada continua (Emery, 2007). Sin embargo, en el ecosistema

Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes, el modelo gaussiano fue el mejor modelo que se ajustó a los pares de puntos muestrales, lo cual se comprueba por lo descrito por Maestre y Gallardo (2008), quienes señalan que el modelo gaussiano grafica adecuadamente la variabilidad espacial de los conjuntos de datos, pero se aleja de la realidad sin alcanzar una meseta estable, por lo que no es recomendable su uso en la predicción de valores en áreas no muestreadas mediante la interpolación por krigging (Webster y Oliver, 2007).

7.2. Relación del NDVI y la precipitación en los ecosistemas naturales de la provincia de Loja

En los ecosistemas de estudio, la estacionalidad de la precipitación mostró variaciones de inicio y final de ciclo de 78 a 180 días, duración que es menor en comparación con la NDVI, que abarca de 151 a 219 días. Las precipitaciones de mayor intensidad en la mitad de la estacionalidad, acontecidas a mediados de febrero, ocurrieron 30 días antes de la mayor actividad fotosintética, 15 de marzo, fecha que contrasta a la evaluada por Haro-Carrión (2020) en los bosques de los Andes Occidentales del sur de Ecuador en el período 1982-2010, correspondiente al mes de junio. Sin embargo, Yang et al. (2019) al evaluar la relación del NDVI con la temperatura y precipitación a escala global, concluyó que las precipitaciones son más importantes en la dinámica de la vegetación, seguidas de la temperatura.

Durante el período de estudio, el ecosistema Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes, Arbustal desértico del sur de los Valles y Herbazal del Páramo, ubicados en el cantón Saraguro, exhibieron una tendencia simultánea de NDVI y precipitación mayor al resto de ecosistemas. Sin embargo, en los bosques y arbustales del Jama Zapotillo, con escasas precipitaciones mostraron tendencia similar al NDVI de los ecosistemas de Saraguro, aspecto que es corroborado por Higgins et al. (2023), donde los ecosistemas que se desarrollan en zonas cálidas y secas su dinámica se relacionan principalmente a la humedad del suelo, mientras que, en los ecosistemas de zonas frías, su dinámica se relaciona a los cambios de temperatura.

Las mayores tendencias de precipitación en el Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Amor y Bosque siempreverde montano del Catamayo Amor con tendencias diferentes en NDVI, se relacionan a lo investigado por Pucha (2019), quien encontró que existe una correlación moderada entre el índice diamétrico de anillos de crecimiento NDVI en el bosque seco, mientras que el índice de crecimiento y el NDVI en el sector San Francisco en la provincia

de Zamora Chinchipe presento una menor relación con las precipitaciones, dependiendo en mayor magnitud de otras variables como nutrientes, topografía e intensidad de luz. Asimismo, Pettorelli et al., (2011) indica que relación entre NDVI y precipitación varía según la especie, su estado de crecimiento y madurez en distintas zonas biogeográficas.

Geoestadísticamente, los conjuntos de datos de NDVI y precipitación representados en los semivariogramas, evidenciaron que el modelo esférico permitió cuantificar la variabilidad espacial de los grupos muestrales con una meseta estable y un rango inferior al área representativa de cada ecosistema, con un efecto pepita de cero, elemento que característico del modelo esférico (Emery, 2007; Giraldo 2008). Sin embargo, los distintos rangos, establecen que la correlación espacial varía en cada ecosistema sin considerar su superficie.

Los pixeles de categoría 3, procedentes de valores con nubosidad, fueron mayores en los ecosistemas Bosque siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes 13,67 % y Herbazal del páramo 9,42 %, ubicados en la Cordillera Oriental de los Andes. Estos porcentajes se difieren de los obtenidos por Maita (2015), que menciona que la nubosidad en esta Cordillera generó porcentajes en esta categoría del 80 al 100%. Sin embargo, esta diferencia posiblemente está relacionada al uso de diferentes índices de vegetación, NDVI y EVI, y resoluciones espaciales. Asimismo, los porcentajes podrían ser el resultado de cantidad de biomasa, sombra que proyectan las hojas y ramas, ángulo del sol y características del suelo influyeron en la reflectancia espectral captada por el sensor satelital (Didan, 2021; Huang et al., 2021).

7.3. Análisis de lineamientos estratégicos para mejorar la adaptación de los ecosistemas naturales de la provincia de Loja al cambio climático

7.3.1. Discusión del lineamiento estratégico uno: mejorar modelos climáticos a escala local

El mejoramiento de un modelo climático global a nivel local conlleva una mayor inversión en la recolección de datos en campo y aumento en el tiempo de procesamiento. Según Bendix et al. (2008b) la ampliación de red de estaciones meteorológicas constituye un factor crucial en el mejoramiento de las proyecciones, debido a la diversidad de temperaturas generadas por la irregular gradiente altitudinal y precipitaciones producto de los sistemas de circulación local. Sin embargo, este aspecto indica la necesidad de encontrar un equilibrio entre una estimación precisa de la sensibilidad climática (Bastiaansen et al., 2021) que permita reducir la incertidumbre y mejorar las predicciones (Iles et al., 2020).

En Ecuador, las proyecciones climáticas del Plan de Adaptación al Cambio Climático se desarrollaron en base a modelos climáticos una resolución espacial de 25 – 50 kilómetros; considerando principios físicos, descartando el incremento de resolución por método dinámico y estadístico de reducción de escala, para evitar la incertidumbre en las proyecciones. Sin embargo, el Plan establece la colecta de datos meteorológicos con mayor detalle en el sector patrimonio natural, que permita desarrollar proyecciones climáticas más precisas (MAATE, 2023), de modo que sirvan de herramienta de planificación en medidas de adaptación y conservación efectivas más a nivel local (Secretaría Nacional de Planificación, 2023).

7.3.2. Discusión del lineamiento estratégico dos: restauración de los ecosistemas de estudio

La degradación y vulnerabilidad de los ecosistemas de estudio, amenazados por fenómenos meteorológicos extremos, establecen acciones urgentes de restauración. Ecuador, como signatario del Acuerdo de París, cumple compromisos en mitigación y adaptación para combatir los efectos perjudiciales del cambio climático. En base a la Primera Contribución Determinada, en el componente adaptación, busca “incrementar la capacidad de adaptación, promover la, resiliencia al clima y reducir el riesgo ante los efectos del cambio climático” (MAE, 2019), sin embargo, evidencia que su capacidad limitada en la implementación de acciones en este componente (MAE, 2019).

La gestión y captación de recursos económicos de la Autoridad Ambiental Nacional, bajo el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas (Naciones Unidas, 1992), establece la cooperación de países desarrollados para proteger y recuperar los ecosistemas en compensación por su mayor contaminación a nivel global. La formulación de propuestas de financiamiento, conlleva a implementar la capacitación de los sectores interesados, en relación a mecanismos, instrumentos y herramientas que permitan consolidar la ejecución de proyectos de adaptación a mediano y largo plazo; sin embargo, los complejos procedimientos para la captación de recursos y la falta de entendimiento en la generación de propuestas viables por parte de actores privados y públicos generan incertidumbre en la consecución del este propósito. Las estrategias de cooperación técnica internacional en la capacitación y fortalecimiento de capacidades, juega un rol importante en la elaboración y consolidación de propuestas proveniente de diferentes fuentes de financiamiento (MAAE, 2021).

7.3.3. Discusión del lineamiento estratégico tres: fortalecimiento de capacidades

El fortalecimiento de la conciencia de poblaciones locales enfrenta diferentes obstáculos. Las políticas de estado en la cuidar de flora y fauna a través de áreas protegidas, aunque son una herramienta necesaria, necesitan ser amplificadas mediante la educación ambiental. La misma debe formar parte del sistema educativo y debe ser fomentada de igual manera en entidades particulares y estatales; sin embargo, el acceso limitado a la información sobre el cambio climático, la tecnología, y de la falta recursos económicos constituyen una barrera en el fortalecimiento de este proceso de concienciación. Según Llambí y Garces (2021), indican que las poblaciones de los Andes existen un vacío de conocimiento de amenazas del cambio climático, y del bienestar que genera los servicios de los ecosistemas, por lo que es necesario dar énfasis a la adaptación de los ecosistemas como eje transversal en todas las actividades de desarrollo social, político, económico y ambiental.

8. Conclusiones

- El uso del NDVI permitió cuantificar la dinámica de los ecosistemas naturales en base a la temperatura y precipitación. Cronológicamente, la mitad estacionalidad presentó un patrón repetitivo en las variables de estudio, de orden: temperatura-precipitación-NDVI.
- El mayor aumento de temperatura, evidenciado en las tendencias de los ecosistemas Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo, Bosque y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo y Herbazal del Páramo refleja que estos ecosistemas están en riesgo de perder su normal funcionamiento y provisión de servicios ecosistémicos.
- Las dependencias espaciales entre el NDVI con la temperatura y precipitación, establecen una relación compleja de estas variables a una determinada escala espacial; donde la variación del NDVI posiblemente esté relacionado con otras variables climáticas, orográficas y factores que modifican del clima, donde coexisten las diversas comunidades vegetales de los ecosistemas de estudio.
- Los lineamientos estratégicos constituyen un marco importante para la gestión, planificación, coordinación y ejecución de proyectos encaminados a reducir la vulnerabilidad y a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas naturales y de las poblaciones locales de la provincia de Loja ante fenómenos meteorológicos extremos relacionados al cambio climático.

9. Recomendaciones

- Aplicar mayores resoluciones espaciales del NDVI, complementados con otros índices de vegetación, como el índice mejorado (EVI) y el índice de clorofila verde (GCI); de manera que mejoren el análisis de la dinámica de las comunidades de especies vegetales que conforman los ecosistemas de estudio.
- Considerar el uso de nuevas variables como el viento, la heliofanía, el suelo y la productividad primaria neta; que incrementen el conocimiento científico de la interacción de estas variables de estudio con la dinámica de los ecosistemas de la provincia de Loja.
- Fomentar el uso de la geoestadística como herramienta de predicción espacial; que permita, mediante el uso de métodos de interpolación determinísticos y estocásticos, desarrollar predicciones óptimas relacionados al ámbito ambiental y forestal.

10. Bibliografía

- Balatsky, A., Balatsky, G., y Borysov, S. (2015). Resource demand growth and sustainability due to increased world consumption. *Sustainability*, 7(3), 3430–3440. <https://doi.org/10.3390/su7033430>
- Bastiaansen, R., Dijkstra, H. A., y von der Heydt, A. S. (2021). Estimaciones multivariante de la sensibilidad climática de equilibrio a partir de simulaciones de calentamiento transitorio de corta duración. *Cartas de Investigación Geofísica*, 48(1). <https://doi.org/10.1029/2020gl091090>
- Bendix, J., Rollenbeck, R., Gottlicher, D., Naub, T., y Fabian, P. (2008a). Seasonality and diurnal pattern of very low clouds in a deeply incised valley of the eastern tropical Andes (South Ecuador) as observed by a cost/effective WebCam system. *Meteorological Applications* 15: 103-114 p.
- Bendix J., Rollenbeck, R., Richter, M., Fabian, P., y Emck, P. (2008b). Climate. En Beck E., Bendix J., Kottke I., Makeschin F., Mosandl R. (Eds.), *Gradients in a tropical mountain ecosystem of Ecuador* (pp 63-73). *Ecological Studies Berlin*, Al.
- Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., y Karger, D. N. (2022). Global climate-related predictors at kilometre resolution for the past and future. <https://doi.org/10.5194/essd-2022-212>
- Chilès, J.-P., y Delfiner, P. (2012). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. Wiley. Concepts of Regionalised Variables and Variogram Modelling. (2009). En *Geostatistics with Applications in Earth Sciences* (pp. 78–94). Springer Netherlands
- Climatologías de alta resolución para las superficies terrestres de la Tierra (<https://chelsea-climate.org/>)
- Davis, C. L., Hoffman, M. T., y Roberts, W. (2017). Long-term trends in vegetation phenology and productivity over Namaqualand using the GIMMS AVHRR NDVI3g data from 1982 to 2011. *Suid-Afrikaanse Tydskrif Vir Plantkunde [South African Journal of Botany]*, 111, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.007>
- Didan, K. (2021). MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A1.061>
- Eklundh, L., y Jönsson, P. (2015). TIMESAT: A Software Package for Time-Series Processing and Assessment of Vegetation Dynamics. En Kuenzer, C., Dech, S., Wagner, W. (Eds.), *Remote Sensing Time Series* (pp 141-158). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6_7
- Emery, X. (2007). *Apunte de Geoestadística*. Facultad de Matemáticas: Universidad de Chile.
- FAO. (2021). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. Informe principal*. Roma.

- FAO y PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Fischer, R., Taubert, F., Müller, M. S., Groeneveld, J., Lehmann, S., Wiegand, T., y Huth, A. (2021). Accelerated forest fragmentation leads to critical increase in tropical forest edge area. *Science Advances*, 7(37). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg7012>
- Giraldo, R. (2002). Introducción a la Geoestadística. Teoría y Aplicación. Universidad Nacional de Colombia.
- Giraldo, A. (2008). Métodos geoestadísticos para el análisis de datos ecológicos espacialmente explícitos.
- Haro-Carrión, X., Waylen, P. R., y Southworth, J. (2020). Spatiotemporal changes in vegetation Greenness across Continental Ecuador: A Pacific-Andean-Amazonian Gradient, 1982–2010. *Journal of Land Use Science*, 16(1), 18-33. <https://doi.org/10.1080/1747423x.2020.1866705>
- Higgins, S. I., Conradi, T., y Muhoko, E. (2023). Shifts in vegetation activity of terrestrial ecosystems attributable to climate trends. *Nature Geoscience*, 16(2), 147-153. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-01114-x>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., y Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Ilbay-Yupa, M., Lavado-Casimiro, W., Rau, P., Zubieta, R., y Castellón, F. (2021). Updating regionalization of precipitation in Ecuador. *Theoretical And Applied Climatology*, 143(3-4), 1513-1528. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03476-x>
- Iles, C. E., Vautard, R., Strachan, J., Joussaume, S., Eggen, B. R., y Hewitt, C. D. (2020). The benefits of increasing resolution in global and regional climate simulations for European climate extremes. *Geoscientific Model Development*, 13(11), 5583–5607. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-5583-2020>
- INAMHI. (2017). Isoyetas medias anuales de la serie histórica 1981 – 2010. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Ecuador.
- INAMHI. (2017). Isotermas medias anuales de la serie histórica 1981 – 2010. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Ecuador.
- Ingerson, A. (2011). Carbon storage potential of harvested wood: summary and policy implications. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(3), 307–323. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9267-5>
- IPCC. (2014). Cambio climático: informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo. Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (Eds.).

- IPCC. (2018). Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (Ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (Eds.)].
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Karger, D. N., Schmatz, D. R., Dettling, G., y Zimmermann, N. E. (2020). High-resolution monthly precipitation and temperature time series from 2006 to 2100. *Scientific Data*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00587-y>
- Karger, D. N., Wilson, A. M., Mahony, C., Zimmermann, N. E., y Jetz, W. (2021). Global daily 1 km land surface precipitation based on cloud cover-informed downscaling. *Scientific Data*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01084-6>
- Kleemann, J., Zamora, C., Villacis-Chiluisa, A. B., Cuenca, P., Koo, H., Noh, J. K., Fürst, C., y Thiel, M. (2022). Deforestation in Continental Ecuador with a Focus on Protected Areas. *Land*, 11(2), 268. <https://doi.org/10.3390/land11020268>
- Kottke, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., y Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259-263 p.
- Llambí, L.D. y Garcés, A. 2021. Adaptación al cambio climático en los Andes: Vacíos y prioridades para la gestión del conocimiento. CONDESAN. Quito-Ecuador.
- Maestre, F., y Gallardo, A. (2008). Introducción de Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones. Editorial DYKINSON, S.L.
- Maita, J. (2015). *Dinámica espacio temporal del Índice de vegetación Mejorado (EVI) en los Ecosistemas del Sur del Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad del Azuay]. Dspace de la Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4933>
- Manabe, S. (2019). Role of greenhouse gas in climate change. *Tellus A*, 71(1), 1620078. <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1620078>
- Massey, R., Berner, L.T., Foster, A.C., Goetz, S.J., y Vepakomma, U. (2023). Remote Sensing Tools for Monitoring Forests and Tracking Their Dynamics. En Girona, M.M., Morin, H., Gauthier, S., Bergeron, Y. (Eds.), *Boreal Forests in the Face of Climate Change*. Advances in Global Change Research (pp 637-655). Springer, Cham.

- Mateu, J., y Giraldo, R. (2022). Introduction to geostatistical functional data analysis. En *Geostatistical Functional Data Analysis* (pp. 1–25). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119387916.ch1>
- Ministerio del Ambiente. (2003). Texto Unificado de la Legislación ambiental (TULAS). Libro VI de la Calidad Ambiental. Anexo 1. Norma de calidad Ambiental y Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Registro Oficial Edición Especial 2. 31 de marzo del 2003
- Ministerio del Ambiente. (2008). Proyecto Socio Bosque. Acuerdo Ministerial 169 del 14 de noviembre de 2008. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático de Ecuador 2012 – 2025. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2013). Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2018). Estadísticas del Patrimonio Natural del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito - Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2019). Primera Contribución Determinada a nivel nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Ministerio del Ambiente y Agua. (2021). Estrategia Nacional de Financiamiento Climático. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2023). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Ecuador. (2022 – 2027). Ministerio del Ambiente, Agua, y Transición Ecológica (MAATE). Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Mapa interactivo del MAATE. (ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/)
- Montero, J.-M., Fernández-Avilés, G., y Mateu, J. (2015). *Spatial and Spatio-Temporal Geostatistical Modeling and Kriging*. Wiley.
- Mutis, A. P. (2018). El Neo-Extractivismo en la Economía Latinoamericana. Efectos sobre la Desigualdad y el Crecimiento. En C. Midaglia, G. Ordóñez, y E. Valencia (Eds.), *Políticas sociales en América Latina en los inicios del siglo XXI: innovaciones, inercias y retrocesos* (pp 33–74). CLACSO.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*.
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.
- Neill, D., y Jørgensen, P. (1999). Climates. En Jørgensen P. y León-Yáñez S. (Eds.), *Catalogue of the vascular plants of Ecuador* (pp. 8-13). Missouri Botanical Garden Press.

- Noh, J. K., Echeverria, C., Gaona, G., Kleemann, J., Koo, H., Fürst, C., y Cuenca, P. (2022). Forest Ecosystem Fragmentation in Ecuador: Challenges for Sustainable Land Use in the Tropical Andean. *Land*, 11(2), 287. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/land11020287>
- Oliver, M.A. (2010). An Overview of Geostatistics and Precision Agriculture. En: Oliver, M. (Eds.), *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer, Dordrecht. Oliver, M., y Webster, R. (2015). *Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging*. Springer International Publishing.
- Pan, S., Zhao, X., y Yue, Y. (2019). Spatiotemporal changes of NDVI and correlation with meteorological factors in northern china from 1985-2015. *E3S web of conferences*, 131, 01040. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913101040>
- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jedrzejewska, B., Lima, M., y Kausrud, K. (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate research*, 46(1), 15–27. <https://doi.org/10.3354/cr00936>
- Phillips, O.L., Aragão, L.E., Lewis, S.L., Fisher, J.B., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Malhi, Y.S., Monteagudo, A.L., Peacock, J., Quesada, C.A., van der Heijden, G.M., Almeida, S.S., Amaral, I.L., Arroyo, L., Aymard, G.A., Baker, T.R., Bánki, O.S., Blanc, L., Bonal, D., Brando, P.M., Chave, J., de Oliveira, A.C., Cardozo, N.D., Czimczik, C.I., Feldpausch, T.R., Freitas, M.A., Gloor, E., Higuchi, N., Jimenez, E.M., Lloyd, G., Meir, P., Mendoza, C., Morel, A.C., Neill, D.A., Nepstad, D.C., Patiño, S., Peñuela, M.C., Prieto, A., Ramírez, F., Schwarz, M.P., Silva, J., Silveira, M., Thomas, A.S., Steege, H.T., Stropp, J., Vasquez, R., Zelazowski, P., Dávila, E.A., Andelman, S.J., Andrade, A., Chao, K., Erwin, T.L., Di Fiore, A., C., E.H., Keeling, H.C., Killeen, T.J., Laurance, W.F., Cruz, A.P., Pitman, N.C., Vargas, P.N., Ramírez-Angulo, H., Rudas, A., Salamão, R., Silva, N., Terborgh, J.W., y Torres-Lezama, A. (2009). Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, 323, 1344 - 1347. <https://doi.org/10.1126/science.1164033>
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía*. Instituto de Investigación Científico de Francia para la Cooperación y el Desarrollo, Colegio de Geógrafos del Ecuador y Corporación Editora Nacional.
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos*. Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica - CEDIG. Quito, Ecuador.
- Prentice K.C. (1990). Bioclimatic distribution of vegetation for general circulation model studies. *Journal of Geophysical Research* 95, 11811-11830.
- Programa de Sistemas de Datos de Ciencias de la Tierra de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>).
- Pucha, F. (2019). *Correlación entre el NDVI y el crecimiento anual de especies forestales al Sur de Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad de Salzburgo]. Research Gate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34662.57922>

- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D., y Harlan, J. (1974). Monitoring the Vernal Advancements and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. NASA/GSFC Final Report. NASA, Greenbelt, MD, USA.
- Runtuwuwu, E., y Syahbuddin, H. (2005). Global Analysis of the Relationship between Precipitation and Vegetation Dynamics derived from NOAA/AVHRR-NDVI (Analysis Global Dinamika Curah Hujan Dan Vegetasi Berdasarkan Indeks Vegetasi NOAA/AVHRR). *Agromet*, 19(1), 1-11.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2023). Guía para la formulación/actualización de Planes de Ordenamiento Territorial-PDOT. Proceso 2023-2027. Gobierno del Ecuador.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025. Quito, Ecuador.
- Sierra, R. 2013. Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends. Quito, Ecuador.
- Udivia Zambrano, K.Y. (2020). *Análisis de la dinámica espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (ndvi) y su relación con patrones climáticos globales en el páramo ecuatorial entre el año 2001 y 2018* [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital – EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21251>
- United Nations. (2022). World Population Prospects 2022. Summary of Results. Department of Economic and Social Affairs and Population Division. New York, United Nations.
- Viera, M.A. (2002). *Geoestadística Aplicada*. Instituto de Geofísica. (T. y. Ministerio de Ciencia, Ed.) México DF.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villarreal-Veloz, J., Zapata-Ríos, X., Uvidia-Zambrano, K., y Borja-Escobar, C. (2023). Spatio-temporal description of the NDVI (MODIS) of the Ecuadorian tussock grasses and its link with the Hydrometeorological Variables and Global Climatic Indices. *Sustainability*, 15(15), 11562. <https://doi.org/10.3390/su151511562>
- Wang, J., Rich, P. M., y Price, K. P. (2003b). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal Of Remote Sensing*, 24(11), 2345-2364. <https://doi.org/10.1080/01431160210154812>
- Webster, R., y Oliver, M. (2007). *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons.
- Yang, Y., Wang, S., Bai, X., Tan, Q., Li, Q., Wu, L., Tian, S., Hu, Z., Li, C., y Deng, Y. (2019). Factors Affecting Long-Term Trends in Global NDVI. *Forests*, 10(5), 372. <https://doi.org/10.3390/f10050372>
- Yengoh, G., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A., y Tucker, C. (2016). Use of the normalized difference vegetation index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: Current status, future trends, and practical considerations. Springer International Publishing.

11. Anexos

Anexo 1

Rangos y mesetas del Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BmPn01	982,19	7 955	0,0017	14 171	0,0030
	155,19	4 985	0,0007	4 092	0,0006
	120,45	3 028	0,0011	3 447	0,0014
	42,53	1 961	0,0007	1 977	0,0007
	40,52	3 771	0,0014	3 619	0,0013
	20,09	2 948	0,0008	2 478	0,0009
Promedio	226,83	4 108	0,0011	4 964	0,0013
Valor máximo	982,19	7 955	0,0017	14 171	0,0030
Valor mínimo	20,09	1 961	0,0007	1 977	0,0006

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta, así como el valor máximo y mínimo obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio.

Anexo 2

Rangos y mesetas del Arbustal semideciduo del sur de los Valles

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
AmMn01	184,48	3 333	0,0012	9 683	0,0034
	139,67	4 168	0,0035	16 248	0,0082
	134,21	5 711	0,0028	7 891	0,0045
	96,57	3 994	0,0020	6 231	0,0034
	40,85	4 967	0,0070	4 806	0,0064
	26,86	4 091	0,0013	2 886	0,0005
Promedio	103,77	4 377	0,0030	7 957	0,0044
Valor máximo	184,48	5 711	0,0070	16 248	0,0082
Valor mínimo	26,96	3 333	0,0012	2 886	0,0005

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta, así como el valor máximo y mínimo obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio.

Anexo 3

Rangos y mesetas del NDVI del Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BdTc01	314,97	3 366	0,0020	5 464	0,0039
	147,78	2 208	0,0012	2 390	0,0015
Promedio	231,38	2 787	0,0016	3 927	0,0027
Valor máximo	314,97	3 366	0,0020	5 464	0,0039
Valor mínimo	147,78	2 208	0,0012	3 927	0,0015

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta, así como el valor máximo y mínimo obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio.

Anexo 4

Rangos y mesetas del NDVI del Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo Alamor

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BmBn01	160,91	8 802	0,0043	7 285	0,0039
	136,43	7 777	0,0055	6 736	0,0046
	34,35	1 656	0,0011	4 642	0,0024
	29,18	6 558	0,0072	5 032	0,0055
	26,82	5 747	0,0013	6 130	0,0013
	26,02	5 088	0,0008	4 903	0,0006
Promedio	68,95	5 938	0,0034	5 788	0,0031
Valor máximo	160,91	8 802	0,0072	7 285	0,0055
Valor mínimo	26,02	1 656	0,0008	4 642	0,0006

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta, así como el valor máximo y mínimo obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio.

Anexo 5

Rangos y mesetas del Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BdPn01	192,99	4 200	0,0014	4 137	0,0014
	82,23	4 712	0,0022	7 556	0,0027
	29,16	2 719	0,0008	2 645	0,0008
	26,32	2 640	0,0013	2 431	0,0009
Promedio	82,68	3 568	0,0014	4 192	0,0015
Valor máximo	192,99	4 712	0,0022	7 556	0,0027
Valor mínimo	26,32	2 640	0,0008	2 431	0,0008

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta, así como el valor máximo y mínimo obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio.

Anexo 6

Rangos y mesetas del Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BsMn04	99,00	3 003	0,0009	4 036	0,0012
	49,05	4 912	0,0014	6 019	0,0019
	45,29	4 071	0,0038	3 412	0,0032
	27,06	2 452	0,0012	3 105	0,0010
	21,56	2 575	0,0008	3 415	0,0007
	20,21	6 710	0,0061	5 219	0,0047
Promedio	43,70	3 954	0,0024	4 201	0,0021
Valor máximo	99,00	6 710	0,0061	6 019	0,0047
Valor mínimo	20,21	2 452	0,0008	3 105	0,0007

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta, así como el valor máximo y mínimo obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio.

Anexo 7

Rango y meseta del NDVI del Arbustal siempreverde montano del sur de la Cordillera Oriental de los Andes

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BsMn02	223,72	4 605	0,0008	4 819	0,0007

Nota. La tabla muestra el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en el área representativa de los ecosistemas de estudio.

Anexo 8

Rango y meseta del Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BmBn02	131,43	7 592	0,0023	9 779	0,0027

Nota. La tabla muestra el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en el área representativa de los ecosistemas de estudio.

Anexo 9

Rangos y mesetas del Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
BdTc02	86,96	7 444	0,0015	7 908	0,0022
	38,18	2 880	0,0005	2 826	0,0006
Promedio	62,57	5 162	0,0010	5 367	0,0014
Valor máximo	86,96	7 444	0,0015	7 908	0,0022
Valor mínimo	38,18	2 880	0,0005	2 826	0,0006

Nota. La tabla muestra el promedio del rango y meseta, así como el valor máximo y mínimo obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio.

Anexo 10

Rango y meseta del Herbazal del Páramo

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
HsSn02	63,82	4 216	0,0019	4 541	0,0021

Nota. La tabla muestra el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en el área representativa de los ecosistemas de estudio.

Anexo 11

Rango y meseta del Arbustal desértico del sur de los Valles

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
AdBn01	55,90	2 652	0,0019	2 549	0,0024

Nota. La tabla muestra el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en el área representativa de los ecosistemas de estudio.

Anexo 12

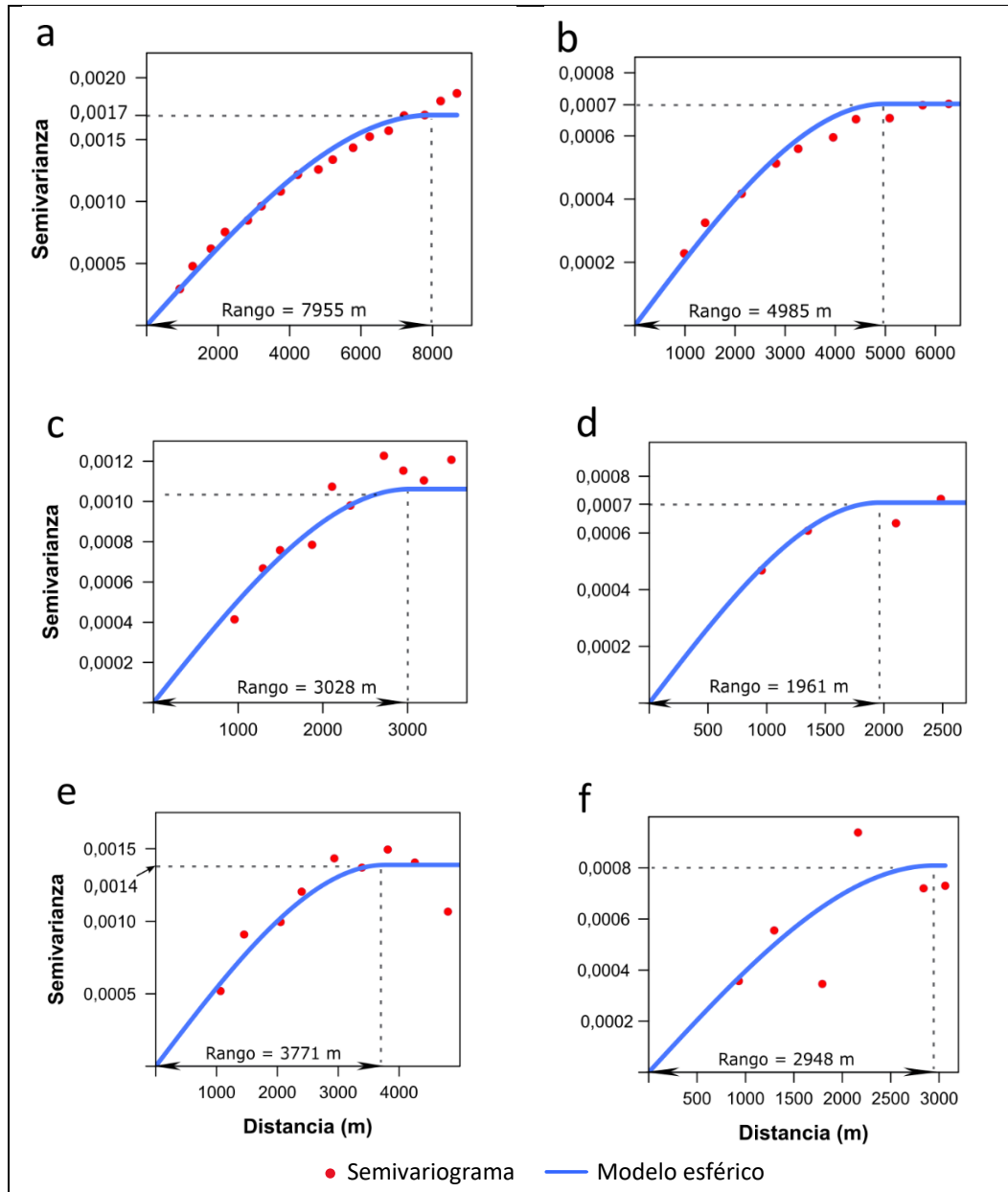
Rango y meseta del NDVI del Arbustal siempreverde montano del sur de los Andes

Ecosistema	Área (km ²)	NDVI - Temperatura		NDVI - Precipitación	
		Rango (m)	Meseta	Rango (m)	Meseta
AsMn02	48,91	3 470	0,0032	3 960	0,0057

Nota. La tabla muestra el rango y meseta obtenidos del modelo gaussiano en el área representativa de los ecosistemas de estudio.

Anexo 13

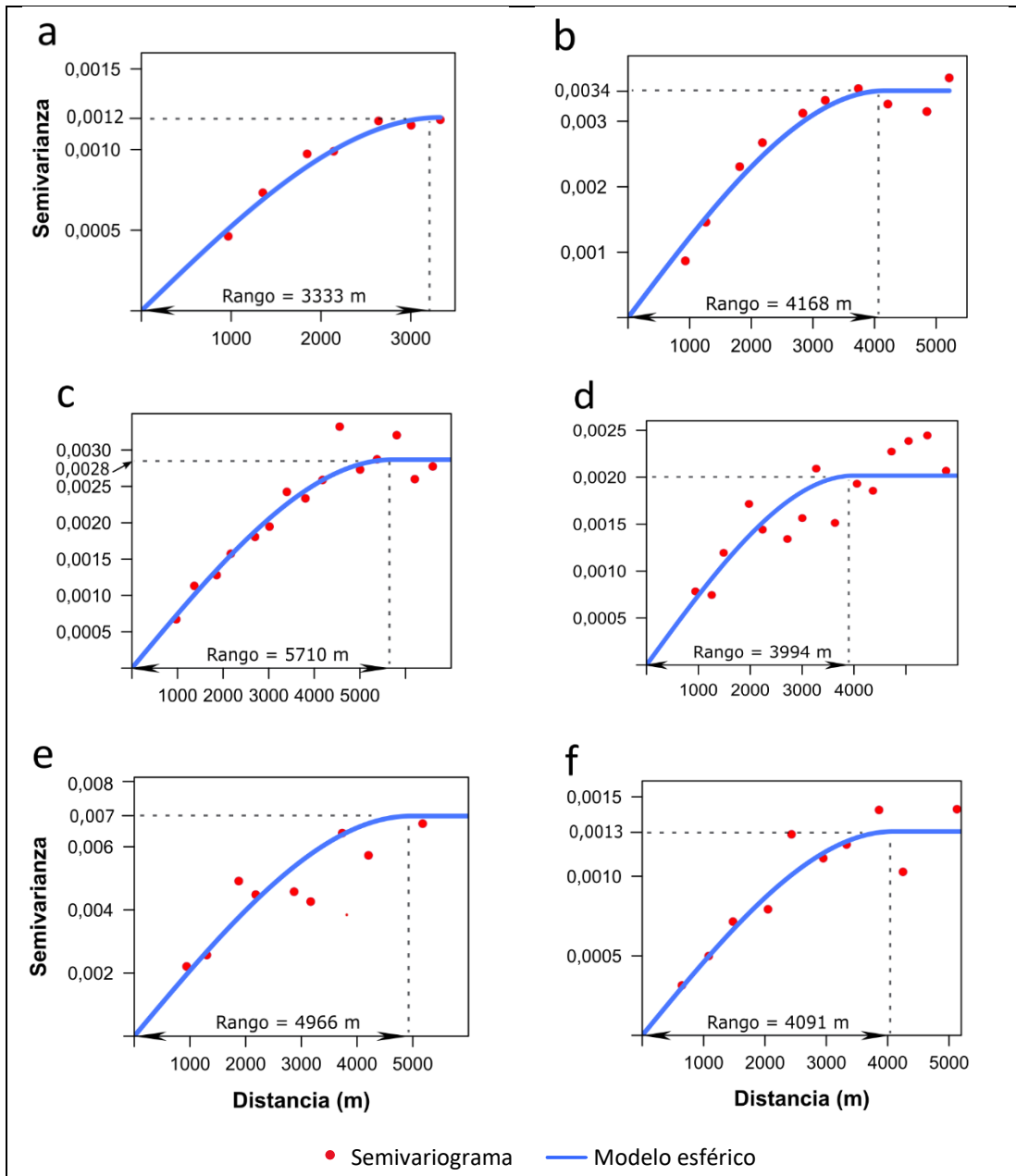
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque semidecيدو piemontano del Catamayo Alamor (BmPn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 982,12 km², b) 155,19 km², c) 120,45 km², d) 42,53 km², e) 40,52 km², y f) 20,09 km².

Anexo 14

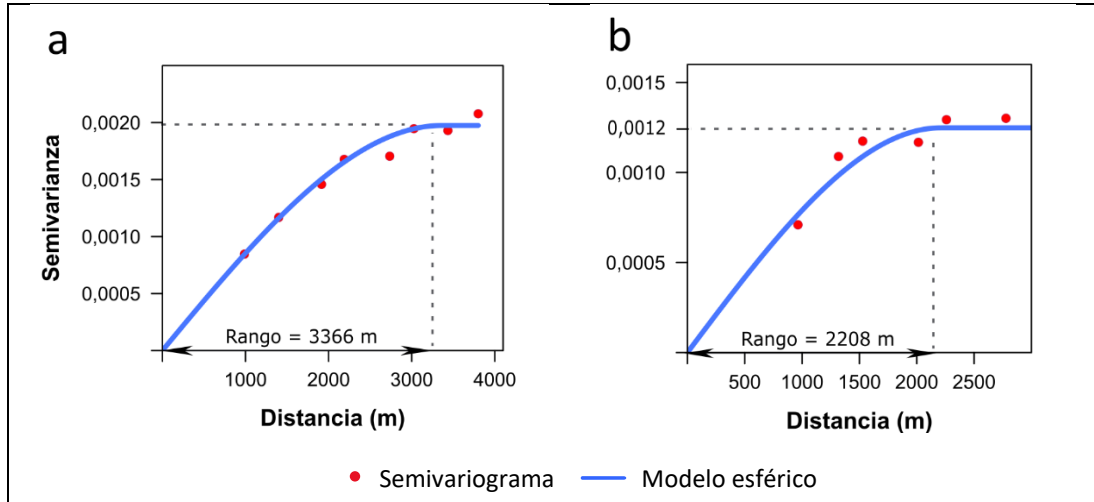
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Arbustal semidecidual del sur de los Valles (AmMn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 184,48 km², b) 139,67 km², c) 134,21 km², d) 96,57 km², e) 40,85 km², y f) 26,86 km².

Anexo 15

Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01)

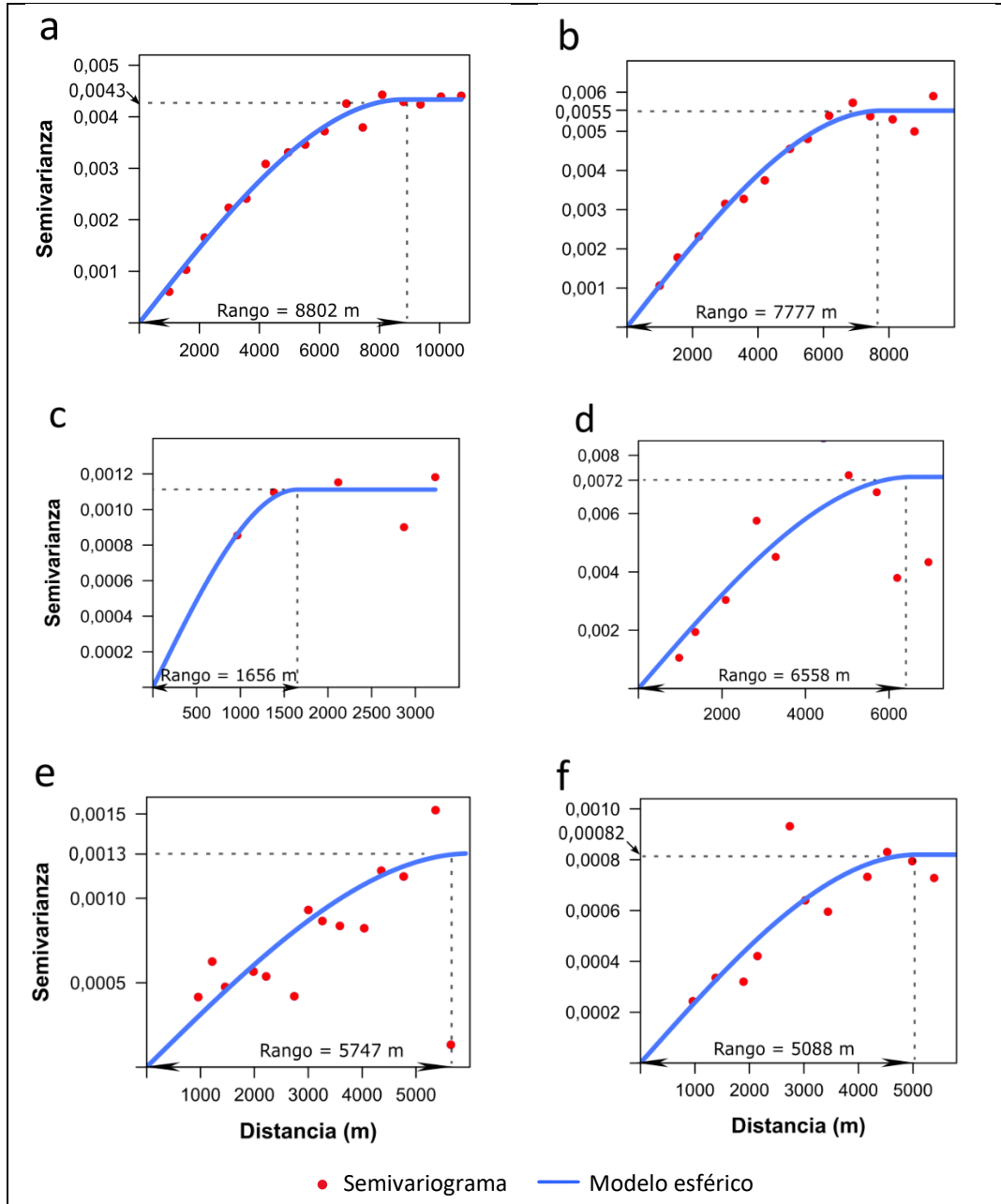


Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 314,97 km², y b) 147,78 km².

Anexo 16

Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque semidecidual montano bajo del Catamayo

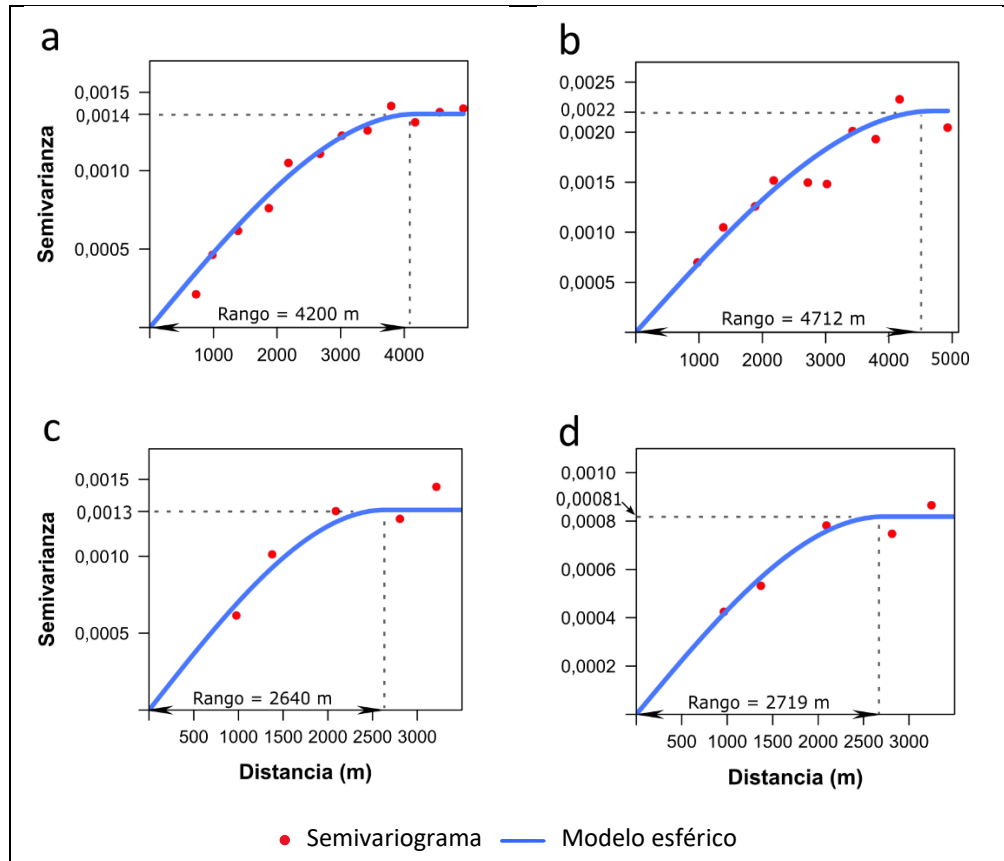
Alamor (BmBn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 160,91 km², b) 136,43 km², c) 34,35 km², d) 29,18 km², e) 26,82 km², y f) 26,02 km².

Anexo 17

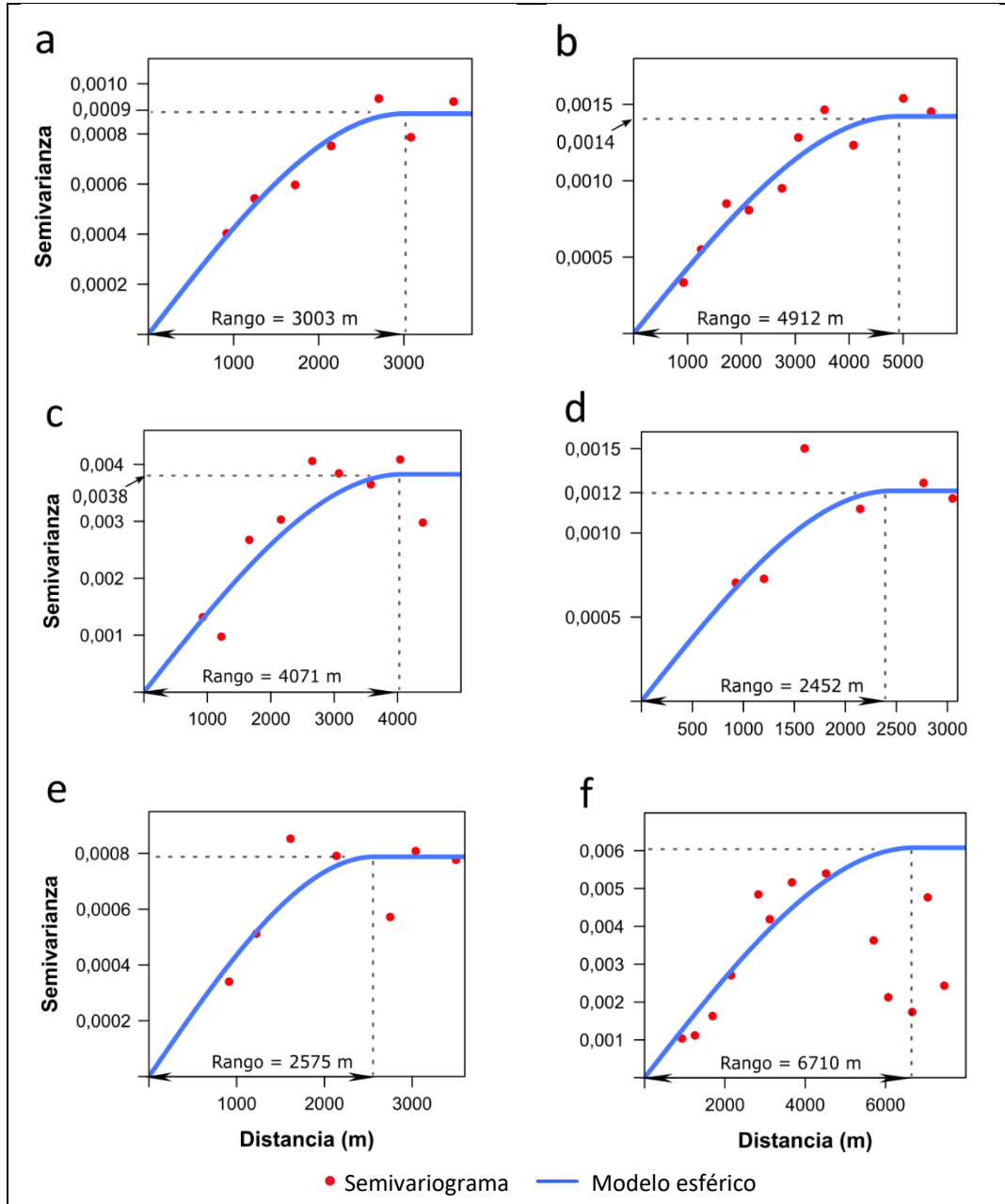
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BdPn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 192,99 km², b) 82,23 km², c) 29,16 km², d) 26,32 km².

Anexo 18

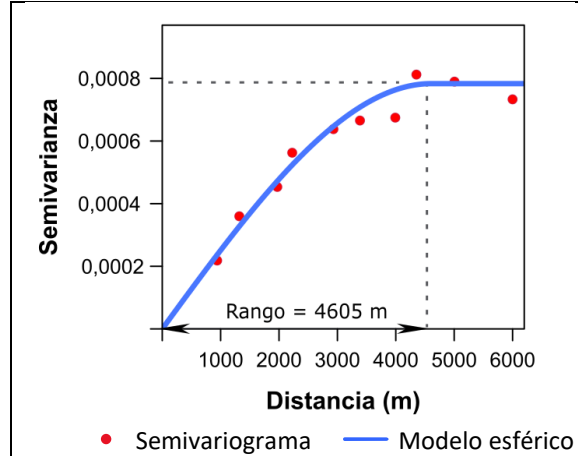
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 99,00 km², b) 49,05 km², c) 45,29 km², d) 27,06 km², e) 21,56 km², y f) 20,21 km².

Anexo 19

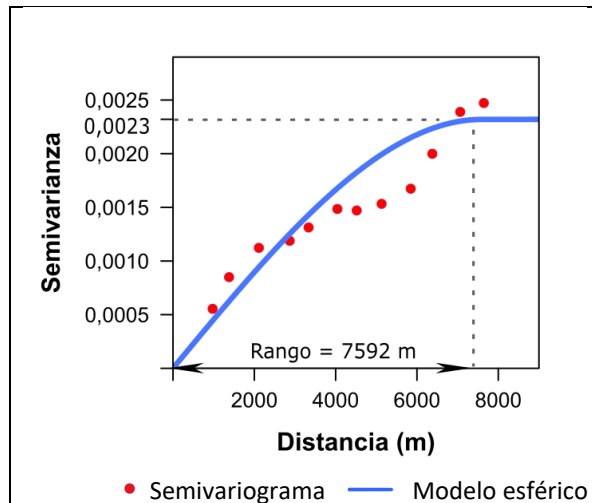
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 223,72 km².

Anexo 20

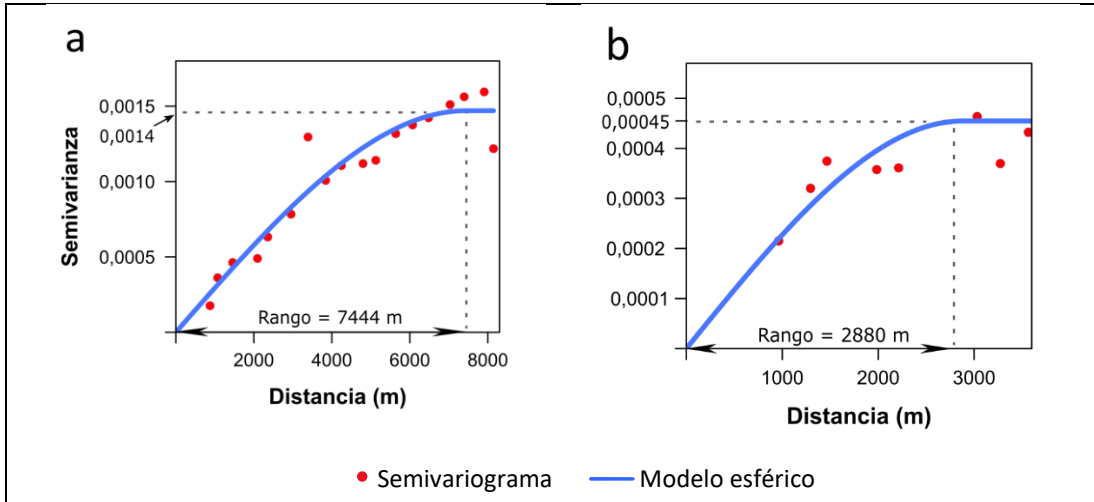
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque y arbustal semidecidual del sur de los Valles (BmBn02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 131,43 km².

Anexo 21

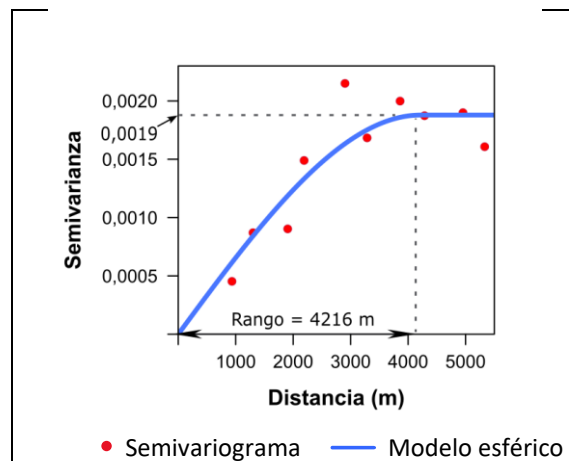
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 86,96 km², y b) 38,18 km².

Anexo 22

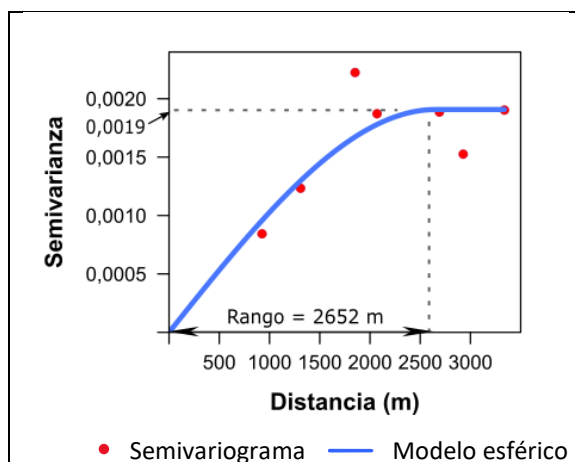
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Herbazal del Páramo (HsSn02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 63,82 km².

Anexo 23

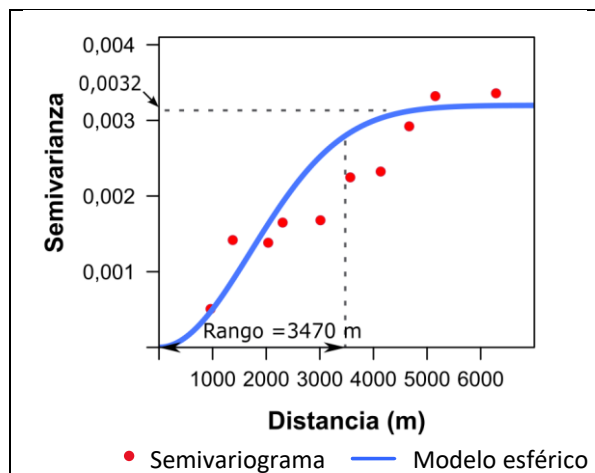
Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 55,90 km².

Anexo 24

Semivariogramas del NDVI con la temperatura en el Bosque siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02)

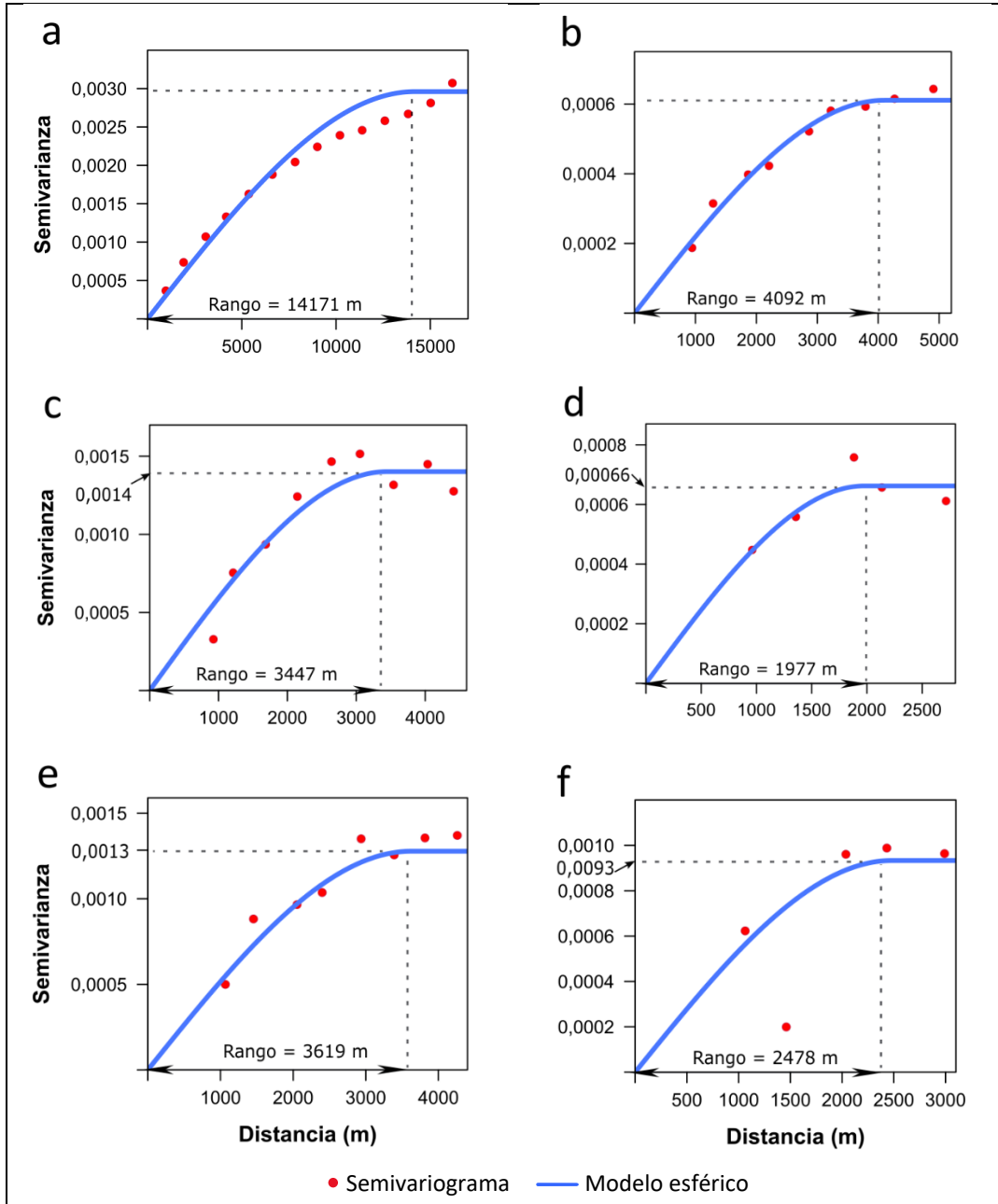


Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo gaussiano en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 48,91 km².

Anexo 25

Semivariogramas del NDVI con precipitación en el Bosque semideciduo piemontano del Catamayo Alamor

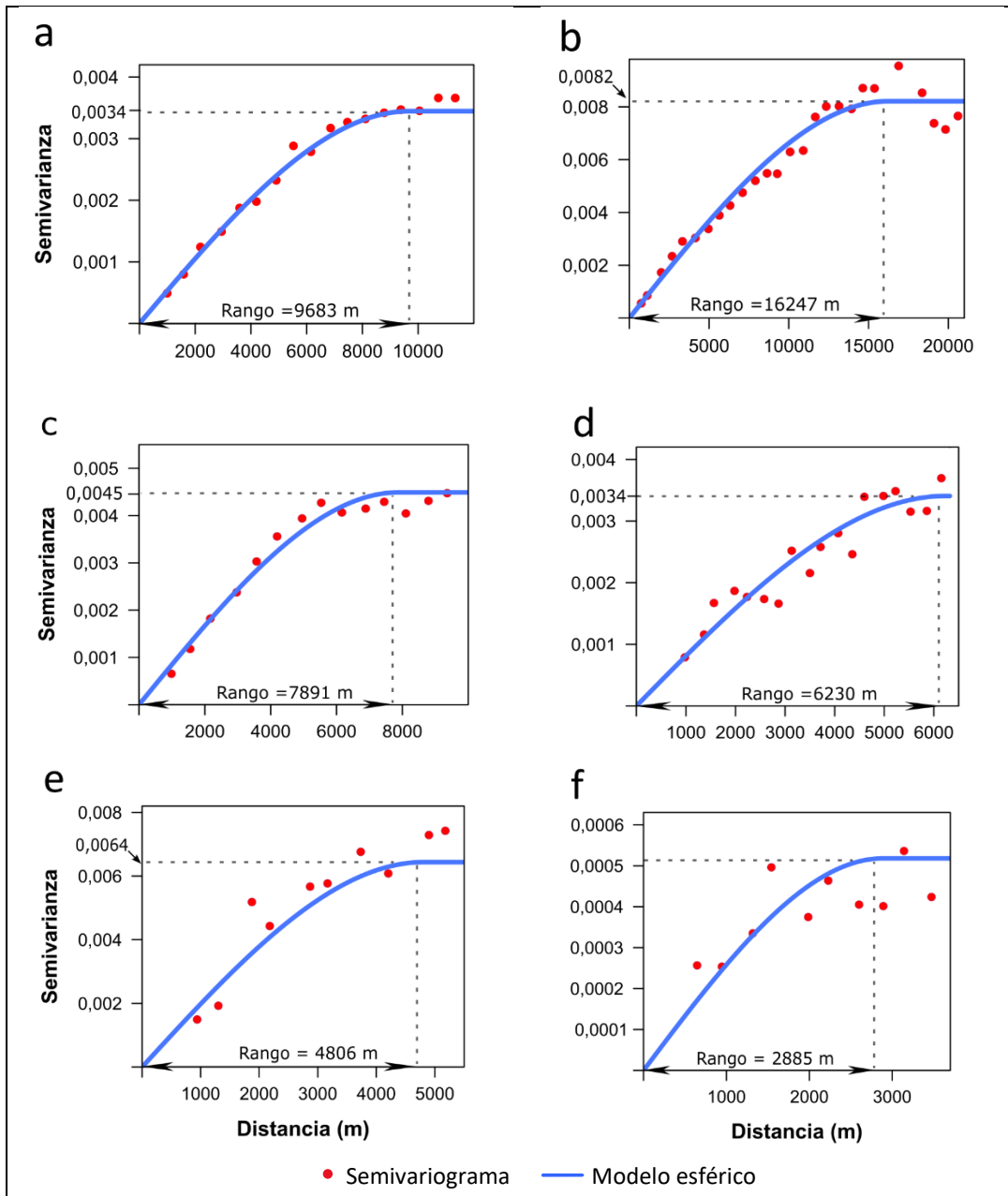
(BmPn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 982,12 km², b) 155,19 km², c) 120,45 km², d) 42,53 km², e) 40,52 km², y f) 20,09 km².

Anexo 26

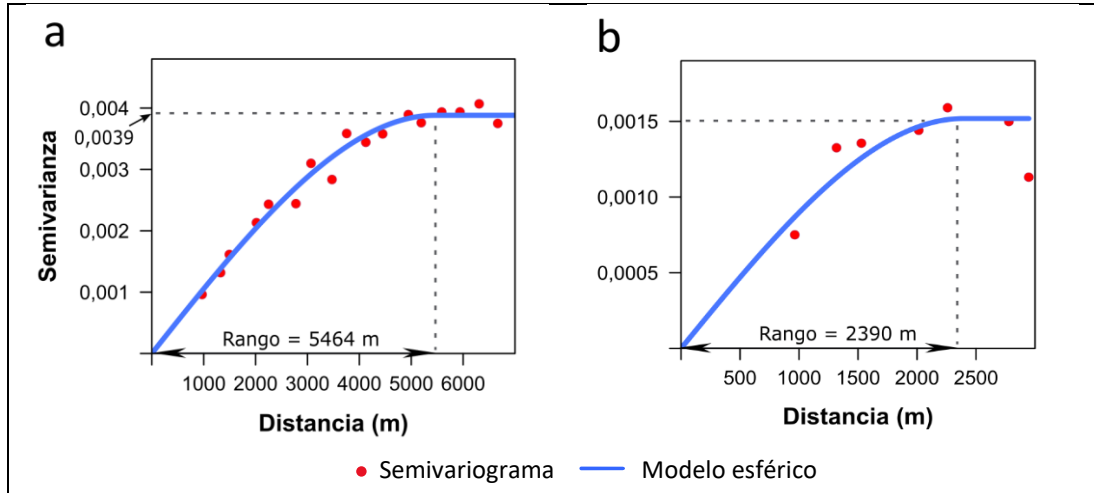
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Arbustal semidecidual del sur de los Valles (AmMn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 184,48 km², b) 139,67 km², c) 134,21 km², d) 96,57 km², e) 40,85 km², y f) 26,86 km².

Anexo 27

Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc01)

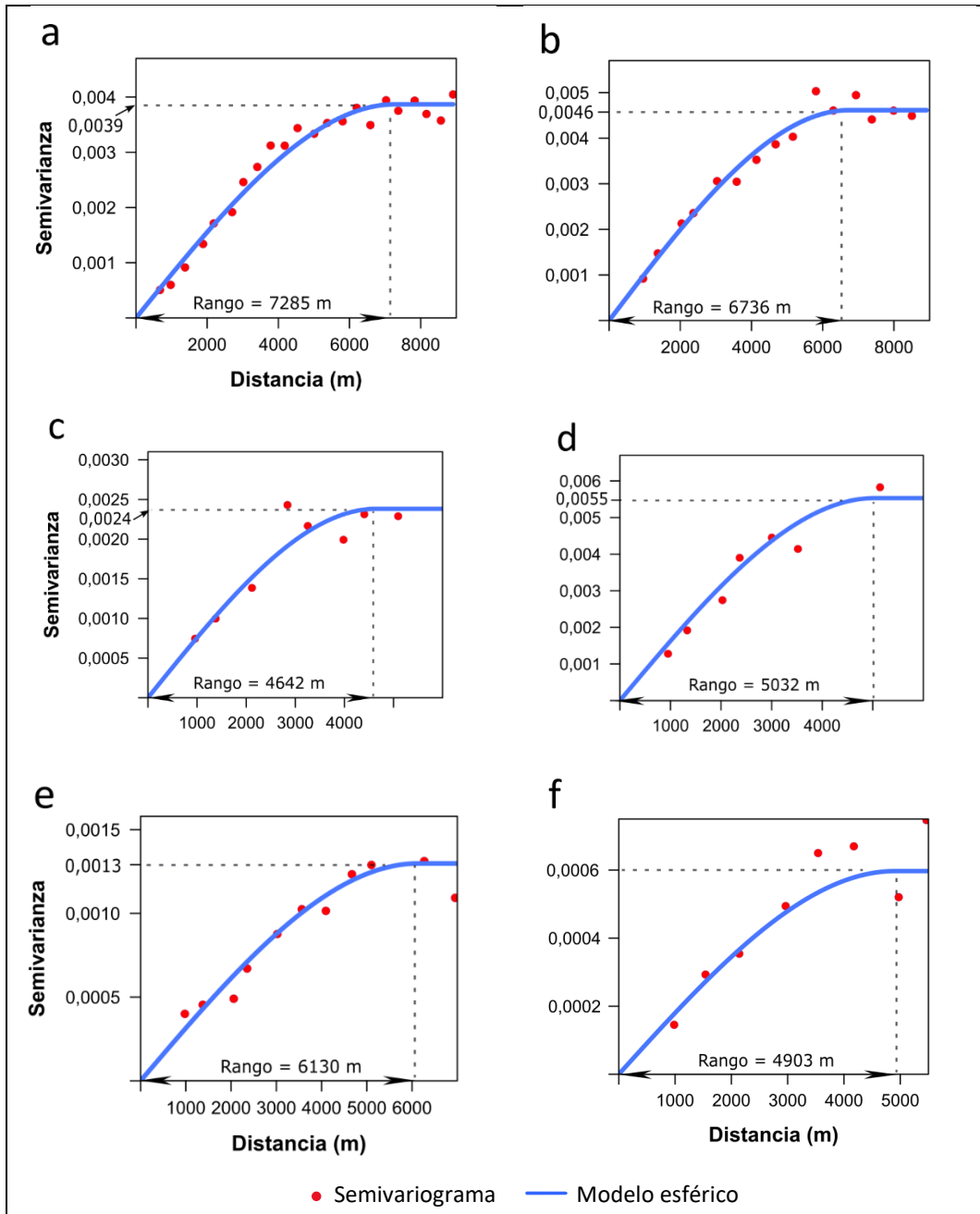


Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 314,97 km², y b) 147,78 km².

Anexo 28

Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque semidecidual montano bajo del Catamayo

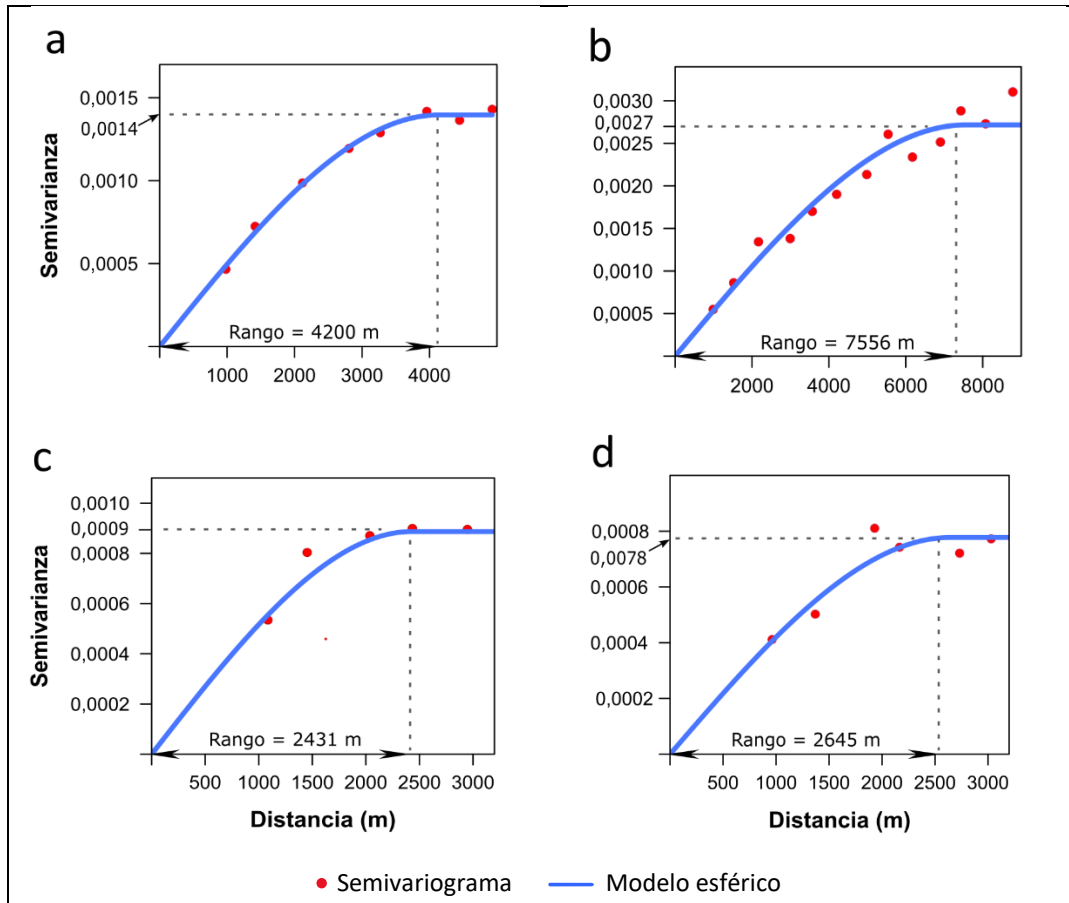
Alamor (BmBn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 160,91 km², b) 136,43 km², c) 34,35 km², d) 29,18 km², e) 26,82 km², y f) 26,02 km².

Anexo 29

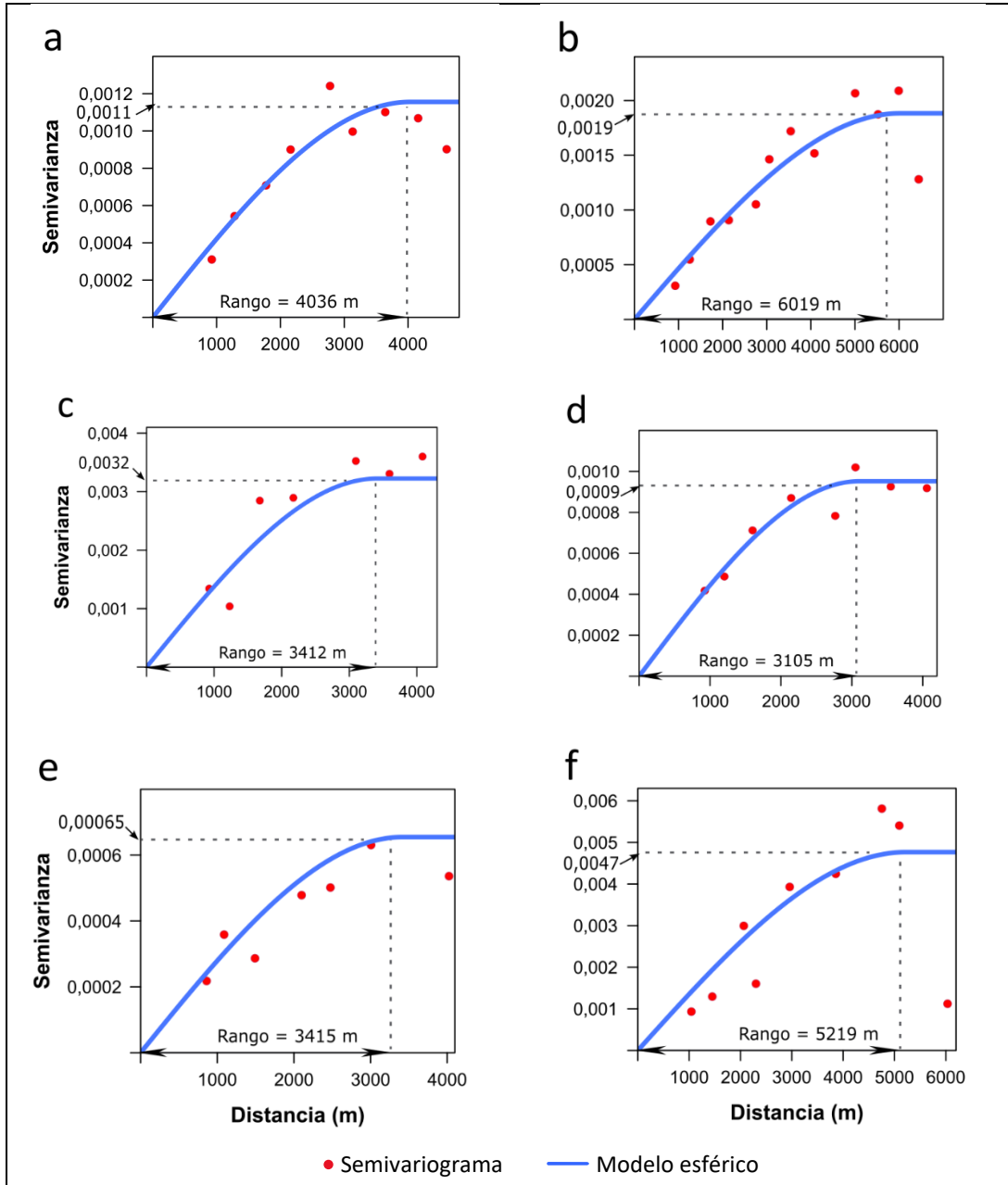
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque deciduo piemontano del Catamayo Alamor (BdPn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 192,99 km², b) 82,23 km², c) 29,16 km², d) 26,32 km².

Anexo 30

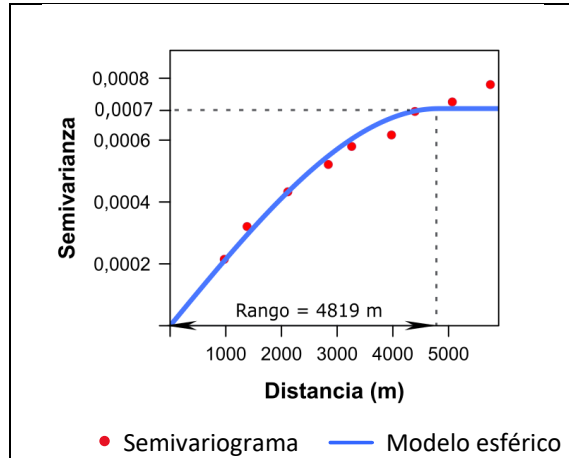
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque siempreverde montano del Catamayo Alamor (BsMn04)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 99,00 km², b) 49,05 km², c) 45,29 km², d) 27,06 km², e) 21,56 km², y f) 20,21 km².

Anexo 31

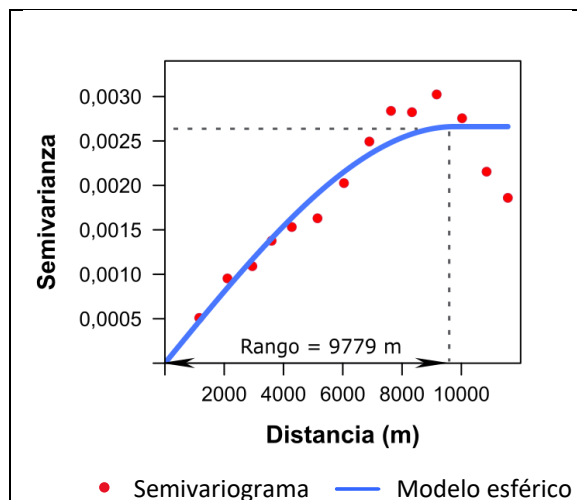
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 223,72 km².

Anexo 32

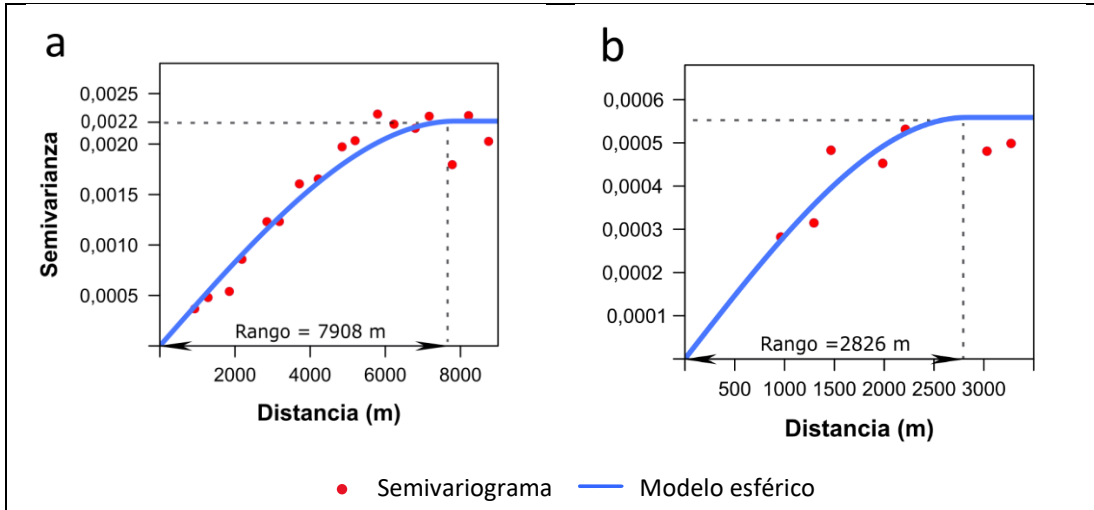
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles (BmBn02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 131,43 km².

Anexo 33

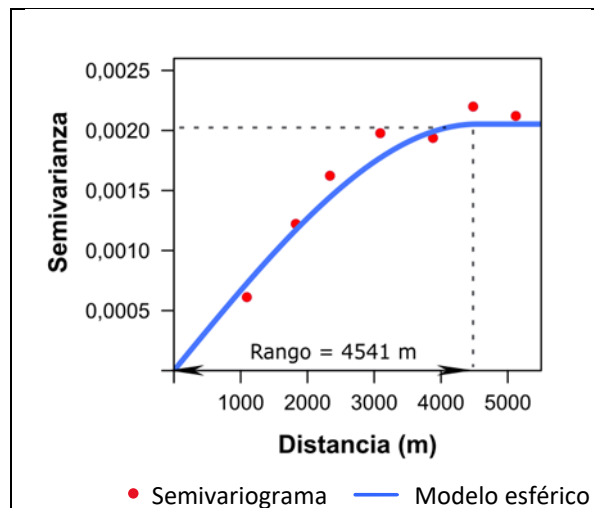
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque bajo y arbustal deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo (BdTc02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de a) 86,96 km², y b) 38,18 km².

Anexo 34

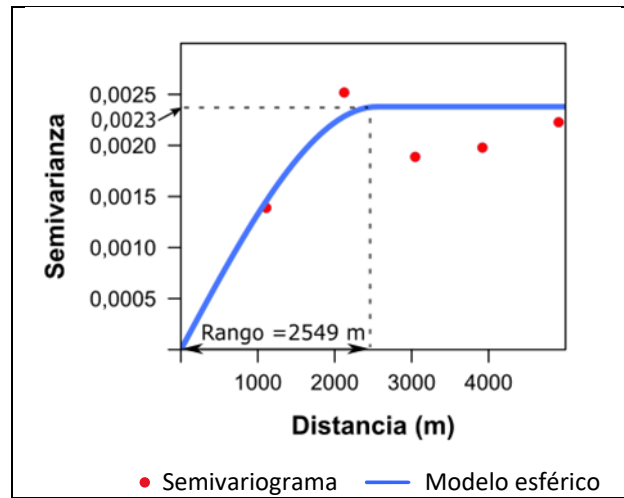
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Herbazal del Páramo (HsSn02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 63,82 km².

Anexo 35

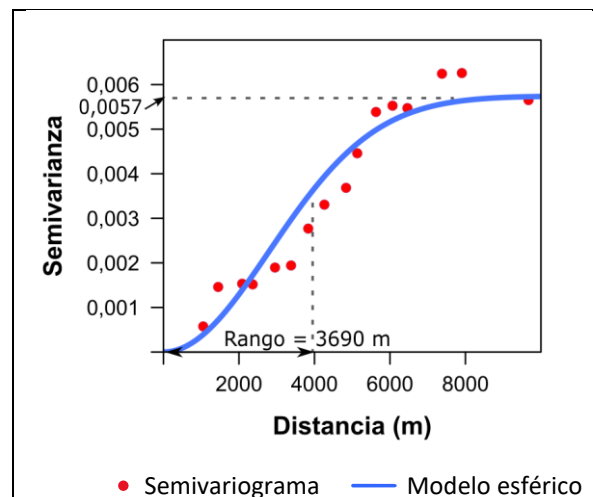
Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo esférico en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 55,90 km².

Anexo 36

Semivariogramas del NDVI con la precipitación en el Bosque siempreverde montano del sur de los Andes (AsMn02)



Nota. Este gráfico representa el semivariograma y el rango y meseta obtenidos del modelo gaussiano en las áreas representativas del ecosistema de estudio con superficies de 48,91 km².

Anexo 37

Certificación de traducción del resumen.

Lic. Larry Palacio

Con cédula de identidad 1103982987, certificado como traductor e intérprete en la Senecyt con registro **MDT-3104-CCL-279678**,

C E R T I F I C O:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen de la tesis, "**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADO Y SU RELACIÓN CON VARIABLES CLIMÁTICAS EN LOS ECOSISTEMAS NATURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA**", cuya autoría de Raúl Geovanny García Mendieta, con cédula 1103217889, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Se autoriza a los interesados hacer uso de la misma para los trámites que crean convenientes.

Emitida en Loja, a los 8 días del mes de marzo de 2024.

Atentamente



Lic. Larry Palacio

Licenciado en Ciencias de la Educación mención Idioma Inglés