

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Sequías meteorológicas en la Reserva Paisajista Nor  
Yauyos Cochabamba utilizando el Índice de Precipitación  
Estandarizado (SPI)**

Engels Ulises Carrasco Orihuela

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Elizabeth Guisella Machuca Manrique  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 24 de octubre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN LA RESERVA PAISAJISTA NOR YAUYOS COCHAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO (SPI)

**Autores:**

1. Engels Ulises Carrasco Orihuela – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 25 SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **ASESORA**

Elizabeth Guisella Machuca Manrique

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por permitirme llegar hasta este punto, además de darme salud para lograr mis objetivos, por bendecirme cada día y guiar mis pasos.

También, agradecer a la Universidad Continental, principalmente a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, nuestra alma mater que nos brindó conocimientos y la oportunidad de crecer profesionalmente.

A la Ing. Elizabeth Guisella Machuca Manrique, por el tiempo de asesoramiento, recomendaciones y críticas que me brindó durante el desarrollo de la investigación, sin su aporte no hubiese sido posible culminarlo.

Finalmente, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), por la base de datos y los pobladores de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, por la transmisión de conocimiento empírico sobre las sequías.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Peleg y Ela, por su amor, trabajo, apoyo incondicional y sacrificio a lo largo de todos estos años. A mis tres hermosos hijos Zoe, Pele y Soledad por ser la inspiración de mi vida. A mis hermanas Deysi, Itati y Shirley por estar siempre presentes, por su gran apoyo moral además de ser gran ejemplo de perseverancia y constancia.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| ASESORA .....                                      | ii  |
| AGRADECIMIENTOS .....                              | iii |
| DEDICATORIA .....                                  | iv  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....                          | v   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                            | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                             | ix  |
| RESUMEN .....                                      | x   |
| ABSTRACT .....                                     | xi  |
| INTRODUCCIÓN .....                                 | xii |
| CAPITULO I .....                                   | 13  |
| PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....                    | 13  |
| 1.1 Planteamiento y formulación del problema ..... | 13  |
| 1.1.1 Planteamiento del problema .....             | 13  |
| 1.1.2 Formulación del problema .....               | 18  |
| 1.2 Objetivos .....                                | 19  |
| 1.2.1 Objetivo general .....                       | 19  |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....                  | 19  |
| 1.3 Justificación e importancia .....              | 20  |
| 1.4 Descripción de variables .....                 | 21  |
| CAPÍTULO II .....                                  | 23  |
| MARCO TEÓRICO .....                                | 23  |
| 2.1 Antecedentes de la investigación .....         | 23  |
| 2.1.1 Artículos .....                              | 23  |
| 2.1.2 Tesis .....                                  | 25  |
| 2.2 Bases teóricas .....                           | 26  |
| 2.2.1 Precipitación .....                          | 26  |
| 2.2.2 Sequía .....                                 | 33  |
| 2.2.3 Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas .....   | 47  |
| 2.3 Definición de términos básicos .....           | 57  |
| CAPÍTULO III .....                                 | 60  |
| METODOLOGÍA .....                                  | 60  |
| 3.1 Método y alcances de la investigación .....    | 60  |

|  |     |
|--|-----|
| 3.1.1 Método de la investigación.....  | 60  |
| 3.1.2 Alcances de la investigación.....  | 60  |
| 3.2 Diseño de la Investigación .....   | 61  |
| 3.2.1 Tipo de diseño de investigación.....   | 61  |
| 3.3 Población y muestra.....   | 61  |
| 3.3.1 Población.....   | 61  |
| 3.3.2 Muestra.....   | 61  |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....  | 67  |
| 3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....  | 67  |
| 3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....   | 67  |
| 3.5 Procedimiento.....   | 67  |
| 3.5.1 Procedimiento según objetivos .....  | 81  |
| CAPÍTULO IV .....  | 84  |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 84  |
| 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....   | 84  |
| 4.1.1 Objetivo 1: Características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 3 meses en las estaciones meteorológicas de las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos cochas. .... | 84  |
| 4.1.2 Objetivo 2: Características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 6 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochás. ....                                  | 94  |
| 4.1.3 Objetivo 3: Características de las sequías según el SPI para la escala de 9 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochás. ....  | 103 |
| 4.2 Discusión de resultados .....  | 110 |
| 4.2.1 Sequias según el SPI para la escala de tiempo de 3 meses en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta .....  | 110 |
| 4.2.2 Sequias según el SPI para la escala de tiempo de 6 meses en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta .....  | 112 |
| 4.2.3 Sequias según el SPI para la escala de tiempo de 9 meses en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta .....  | 113 |
| CONCLUSIONES.....  | 117 |
| RECOMENDACIONES.....   | 118 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 119 |
| ANEXOS .....   | 123 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Sequía normaliza en América Latina y el Caribe .....   | 15 |
| Figura 2.  | Mapa de precipitación anual esperada para una sequía esperada de 1 en dos años.  | 16 |
| Figura 3.  | Mapa de precipitación anual esperada para una sequía esperada de 1 en 100 años.  | 17 |
| Figura 4.  | Proceso de Bergeron-Findeisen .....  | 28 |
| Figura 5.  | Proceso de colisión- coalescencia .....  | 30 |
| Figura 6.  | Diagrama esquemático de ENSO, colores rojos a naranja representan temperaturas cálidas y de amarillo a verde indican temperaturas frías, la banda azul es la termoclina con una temperatura aproximada de 20° C. a) El Niño; b) Condiciones normales y c) La Niña. ....  | 35 |
| Figura 7.  | Efectos climáticos de deforestación tropical en el ciclo hidrológico. Caso 1, áreas cubiertas con bosques concentran valores bajo de albedo proporcionando la energía suficiente para la fotosíntesis y transpiración (perdida de calor latente que enfría la superficie. Caso 2, áreas deforestadas presentan valores más altos de albedo, suelos desnudos reducen la absorción de la energía en la superficie, la pérdida de calor latente se reduce severamente y la superficie se calienta. .... | 37 |
| Figura 8.  | Figura 8. Desarrollo de la sequía.....   | 39 |
| Figura 9.  | Impactos de la sequía en diferentes sectores.....  | 41 |
| Figura 10. | Esquema de un evento de sequia .....   | 47 |
| Figura 11. | Mapa Provincial de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.....  | 48 |
| Figura 12. | Mapa Distrital de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas .....  | 49 |
| Figura 13. | Distribución mensual acumulada de la precipitación (mm) en las estaciones de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.....  | 10 |
| Figura 14. | Distribución mensual acumulada de la precipitación en las Estaciones de Vilca, Tanta y Carania de la RPNYC.....  | 55 |
| Figura 15. | Distribución anual acumulada de la precipitación en las Estaciones de Carania, Vilca y Tanta de la RPNYC .....   | 56 |
| Figura 16. | Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.....   | 66 |
| Figura 17. | Identificación y caracterización de eventos secos .....  | 78 |
| Figura 18. | Flujograma metodológico para la caracterización de la sequía en la RPNYC ..  | 79 |
| Figura 19. | Cálculo del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) en la RPNYC. ....  | 80 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 20. | Variación temporal del SPI- 3 para las Estaciones Meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta (1964 – 2019).....  | 84  |
| Figura 21. | Frecuencia absoluta de las categorías de las sequias según el SPI para la escala de tiempo de 3 meses.....   | 85  |
| Figura 22. | Frecuencia relativa de las sequias según el SPI para la escala de 3 meses ....   | 86  |
| Figura 23. | Intensidad media de las sequias presentadas para la escala temporal de 3 meses, periodo 1964 – 2019.....   | 87  |
| Figura 24. | Variación temporal de las sequias para la escala temporal de 6 meses presentadas en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta, periodo 1964 – 2019. .... | 94  |
| Figura 25. | Frecuencia absoluta de las categorías de las sequias según el SPI para la escala de tiempo de 6 meses.....   | 95  |
| Figura 26. | Frecuencia relativa de las sequias según el SPI para la escala de 6 meses por estación. ....   | 96  |
| Figura 27. | Intensidad media de las sequias presentadas para la escala temporal de 6 meses, periodo 1964 – 2019.....   | 97  |
| Figura 28. | Variación temporal de las sequias para la escala temporal de 9 meses presentadas en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta, periodo 1964 – 2019. .... | 103 |
| Figura 29. | Frecuencia absoluta de las categorías de las sequias según el SPI para la escala de tiempo de 9 meses.....   | 104 |
| Figura 30. | Frecuencia relativa de las sequias según el SPI para la escala de 9 meses.....   | 105 |
| Figura 31. | Intensidad media de las sequias presentadas para la escala temporal de 9 meses, periodo 1964 – 2019.....   | 106 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Tabla 1.  | Operacionalización de la variable .....  | 21  |
| Tabla 2.  | Fenómenos reflejados por índices de precipitación estandarizados (SPI) de duración específica y sus aplicaciones.....                      | 45  |
| Tabla 3.  | Principales unidades geomorfológicas de la RPNYC .....   | 50  |
| Tabla 4.  | Zonas de vida en la RPNYC.....   | 51  |
| Tabla 5.  | Pisos ecológicos de Canchayllo .....   | 52  |
| Tabla 6.  | Información de las estaciones meteorológicas en estudio.....   | 55  |
| Tabla 7.  | Clasificación del SPI o IPE .....  | 75  |
| Tabla 8.  | Valores de SPI de la sequia .....  | 76  |
| Tabla 9.  | Magnitud de la severidad de la sequia .....  | 77  |
| Tabla 10. | Resultados parciales para el cálculo del SPI3, estación Carania .....  | 82  |
| Tabla 11. | Resultados obtenidos del SPI 3 para la estación de Carania (1964- mayo de 1965)<br>82  |     |
| Tabla 12. | Valor mínimo del SPI para la escala de 3 meses (1964 – 2019).....  | 88  |
| Tabla 13. | Duración, Intensidad máxima y magnitud de las sequias para la escala de 3 meses en la estación Meteorológica de Carania (1964 - 2019)..... | 89  |
| Tabla 14. | Duración, Intensidad máxima y magnitud de las sequias para la escala de 3 meses en la estación Meteorológica de Vilca (1964 - 2019) .....  | 91  |
| Tabla 15. | Duración, Intensidad máxima y magnitud de las sequias para la escala de 3 meses en la estación Meteorológica de Tanta (1964 - 2019).....   | 92  |
| Tabla 16. | Valor mínimo del SPI para la escala de 6 meses .....   | 97  |
| Tabla 17. | Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía para la escala de 6 meses, Estación Carania 1964 – 2019.....                          | 98  |
| Tabla 18. | Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía para la escala de 6 meses, Estación Vilca 1964 – 2019 .....                           | 99  |
| Tabla 19. | Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía para la escala de 6 meses, Estación Tanta 1964 – 2019.....                            | 101 |
| Tabla 20. | Intensidad máxima del SPI para la escala de 9 meses .....  | 106 |
| Tabla 21. | Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía de la estación meteorológica Carania.....   | 107 |
| Tabla 22. | Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía de la estación meteorológica Vilca .....  | 108 |
| Tabla 23. | Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía en la Estación meteorológica de Tanta.....  | 109 |

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo describir las sequías meteorológicas en la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas utilizando el índice de precipitación estandarizado (SPI), para ello se utilizó datos de precipitación mensual acumulada de las estaciones de Carania (Car), Vilca (V) y Tanta (T) desde 1964 a 2019, los datos fueron procesados para la obtención del SPI a escalas de tres meses, seis meses y nueve meses; Los resultados muestran para la escala de tres meses 101 episodios para Car, 109 para V, y 102 para T, de intensidades moderada, severa y extrema, la intensidad media fue -1.60 para V, -1.68 para Car y -1.76 para T; la intensidad máxima fue -2.78 para Car, -3.24 para V, y -3.4 para T; se registraron 10 episodios de severidad extremadamente fuerte en Car, 13 en V y 9 en T. Para la escala de 6 meses se obtuvo 134 eventos para Car, 109 V y 112 T; la intensidad media fue -1.464 para Car, -1.490 para V, y -1.495 para T; el valor extremo alcanzado fue -2.80 para Car, -3.60 para V y -5.07 para T; se presentaron 14 episodios de severidad extremadamente fuerte en Car, 9 en V y 10 en T. El SPI para la escala de 9 meses, indico 109 episodios para Car, 80 para V y 122 para T; la intensidad media fue -1.48 para T, -1.55 para V y -1.59 para Car; los valores extremos de sequía fueron -3.34 para Car, -2.85 para V y -2.48 para T; se presentaron 10 episodios de severidad extremadamente fuerte en Car, 9 en V y 15 en T.

Palabras claves: Sequía, severidad, intensidad, precipitación mensual acumulada

## ABSTRACT

The objective of the research was to describe the meteorological droughts in the Nor Yauyos Cochas Landscape Reserve using the standardized precipitation index (SPI), for which cumulative monthly precipitation data from the Carania (Car), Vilca (V) and Tanta stations (T) from 1964 to 2019, the data was processed to obtain the SPI at scales of 3 months, 6 months and 9 months; The results show, for the 3-month escalation, 101 episodes for Car, 109 for V, and 102 for T, of moderate, severe, and extreme intensities. The mean intensity was -1.60 for V, -1.68 for Car, and -1.76 for T; the maximum intensity was -2.78 for Car, -3.24 for V, and -3.4 for T; 10 extremely severe episodes were recorded in Car, 13 in V and 9 in T. For the 6-month escalation, 134 events were obtained for Car, 109 V and 112 T; the mean intensity was -1.464 for Car, -1.490 for V, and -1.495 for T; the extreme value reached was -2.80 for Car, -3.60 for V and -5.07 for T; 14 episodes of extremely strong severity occurred in Car, 9 in V and 10 in T. The SPI for the 9-month escalation indicated 109 episodes for Car, 80 for V and 122 for T; the average intensity was -1.48 for T, -1.55 for V and -1.59 for Car; the extreme values of sequence were -3.34 for Car, -2.85 for V and -2.48 for T; 10 extremely severe episodes occurred in Car, 9 in V and 15 in T.

Keywords: Drought, severity, intensity, accumulated monthly precipitation

## INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida, recurso insustituible, irremplazable y único; cuando dejemos este mundo terrenal, nuestras particulares y, moléculas se disolverán en ella (1). La disponibilidad del agua afecta a muchos países, siendo los países ubicados en zonas áridas y semiáridas los que sufren la carencia de este líquido elemento. Sin embargo, se sabe que a lo largo de la historia zonas húmedas experimentaron problemas de falta de agua y que estas afecto su desarrollo y en ciertos casos la caída de algunas culturas. Hablar del agua como parte del ciclo hidrológico, es hablar también de las precipitaciones; las cuales presentan variaciones en tiempo y espacio; pero que en el contexto actual y futuro es un fenómeno que preocupa a la comunidad mundial por los impactos económicos, sociales y ecológicos.

La sequía es definida como la escasez de precipitaciones durante un período prolongado que puede ser una temporada o más, lo que resulta en una deficiencia de agua que causa condiciones adversas en la vegetación, las personas, los animales y el medio ambiente. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ha reportado que se tuvo 10 eventos de sequía en los últimos 37 años. Estas sequías se presentaron en distintos años y la más severa fue el año 1992 que afecto a 16 departamentos (2).

La Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas se encuentra ubicada en la parte central de los Andes peruanos, en los Departamentos de Lima y Junín; otorga servicios ecosistémicos (SE), como la producción de agua, alimentos, regulación de ciclos entre otros, sin embargo, la oferta de estos SE es sensible frente a los cambios del clima, según el IPCC, el cambio climático también afectaría a las zonas altoandinas con el incremento de la temperatura, disminución de las precipitación anual, cambios en el régimen de lluvias, aumento de la intensidad, con consecuencias de la escasez de agua, reducción del rendimiento agrícola y pecuario.

La investigación tuvo como objetivo determinar las sequias meteorológicas en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cocha para ello el informe se ha dividido en cuatro capítulos: el primer capítulo describe el problema, los objetivos y la descripción de las variables; el segundo aborda los antecedentes de la investigación y el marco teórico; el tercer capítulo se enfoca en la metodología que se utilizó para alcanzar los objetivos planteados y el cuarto capítulo se describe los hallazgos encontrados.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

#### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

##### 1.1.1 Planteamiento del problema

Desde tiempos inmemoriales, la sequía y la escasez de agua han sido factores determinantes para el desarrollo humano; las grandes hambrunas han propiciado la movilización de pueblos enteros y en ocasiones han causado la desaparición de grandes civilizaciones; se tienen evidencia que la cultura Mochica desapareció alrededor de año 650 d.C. producto de estos fenómenos asimismo, las sequias azotaron en los años 820, 860, y 910 a los Mayas hasta derrumbar la civilización (3); pero también la sequía ha sido el motor del desarrollo tecnológico; al impulsar los avances científicos para mejorar la gestión y uso adecuado del agua (4).

Las causas se deben a alteraciones de los patrones de circulación atmosférica que ocasiona el calentamiento desigual de la corteza terrestre y de las masas de agua, manifestado en fenómenos como el Niño; asimismo la quema de combustible fósiles, la deforestación, el cambio de uso del suelo, y la actividad antrópica (4). Por otro lado, el cambio climático viene afectando a todas las regiones del planeta de manera distinta. Los modelos climáticos, señalaron diferencias robustas en las características regionales del clima entre un calentamiento global de 1,5 °C y 2.0 °C con un nivel de confianza alto y de la probabilidad de sequía y de déficits de precipitaciones en algunas regiones con nivel de confianza alto. Además, la severidad de eventos para América del Sur, sobre todo para países cercanos al trópico, con *confianza alta*, manifiesta que el número de días secos va a aumentar, así como las frecuencias de sequías (5).

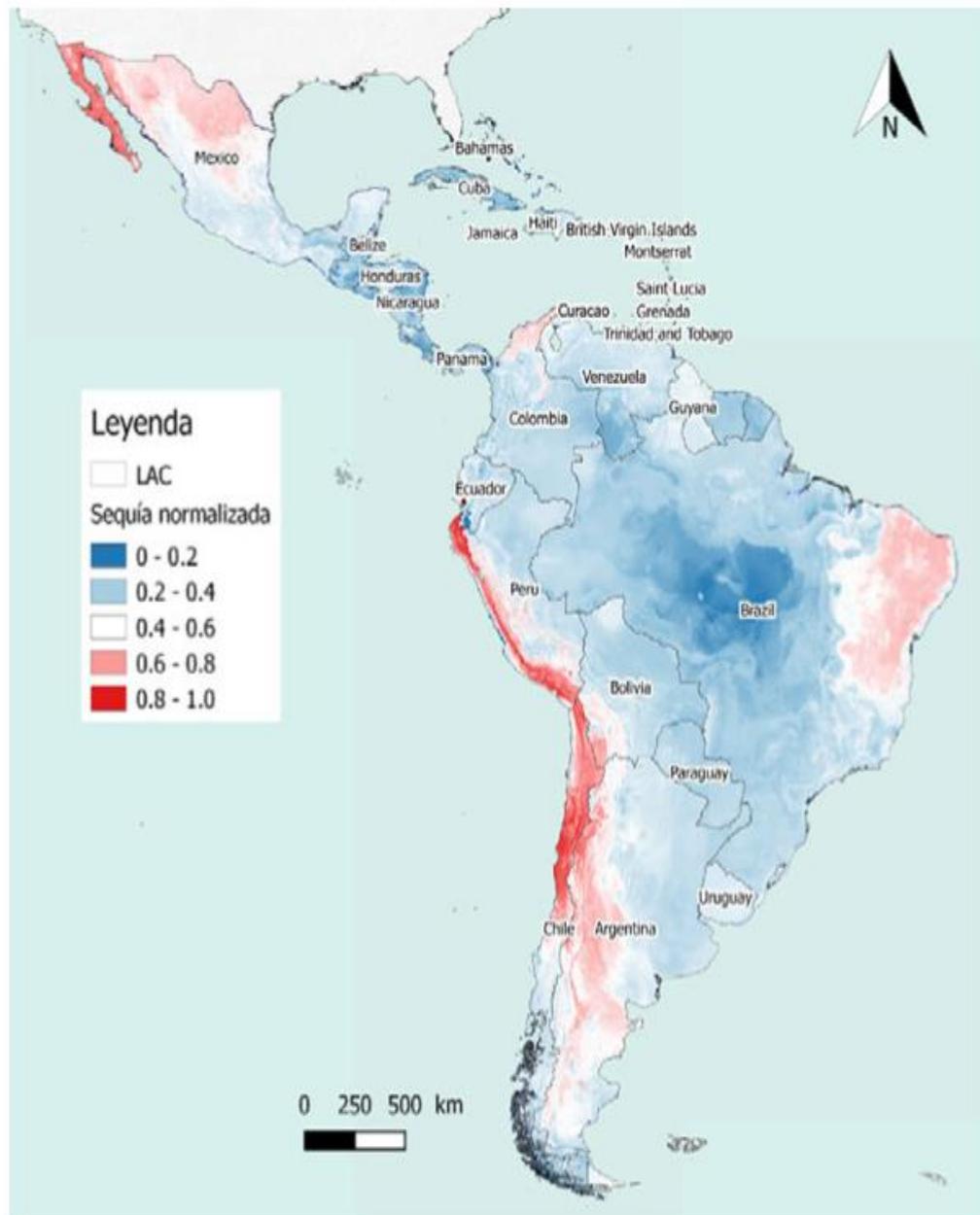
La sequía, tiene dos indicadores distintos, uno es el aumento en el número de días secos, un indicador de la aridez y referido al aumento de la frecuencia de sequías. El informe del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), define tres tipos de sequías: la sequía meteorológica (déficit de precipitación), la sequía hidrológica (déficit de caudales de ríos), y la sequía agrícola y ecológica (déficit de agua en el suelo), y afirman con alta confianza que aumentará la duración de las sequías especialmente sequías agrícolas y ecológicas que se refiere a la humedad del suelo (6).

En la actualidad, la escasez del agua afecta aproximadamente al 40% de la población mundial y según las predicciones de las Naciones Unidas y del banco Mundial, la sequía podría poner a 700 millones de personas en riesgo de desplazarse para 2 030. Además, el mismo informe menciona que, a lo largo del siglo XX, el uso mundial de

agua creció por encima de la tasa de aumento de la población. En consecuencia, el crecimiento de la población y el desarrollo económico están impulsando la creciente demanda de agua en todo el mundo. Mientras tanto, el cambio climático está disminuyendo el suministro de agua o haciendo que las lluvias sean cada vez más erráticas en muchos lugares (7).

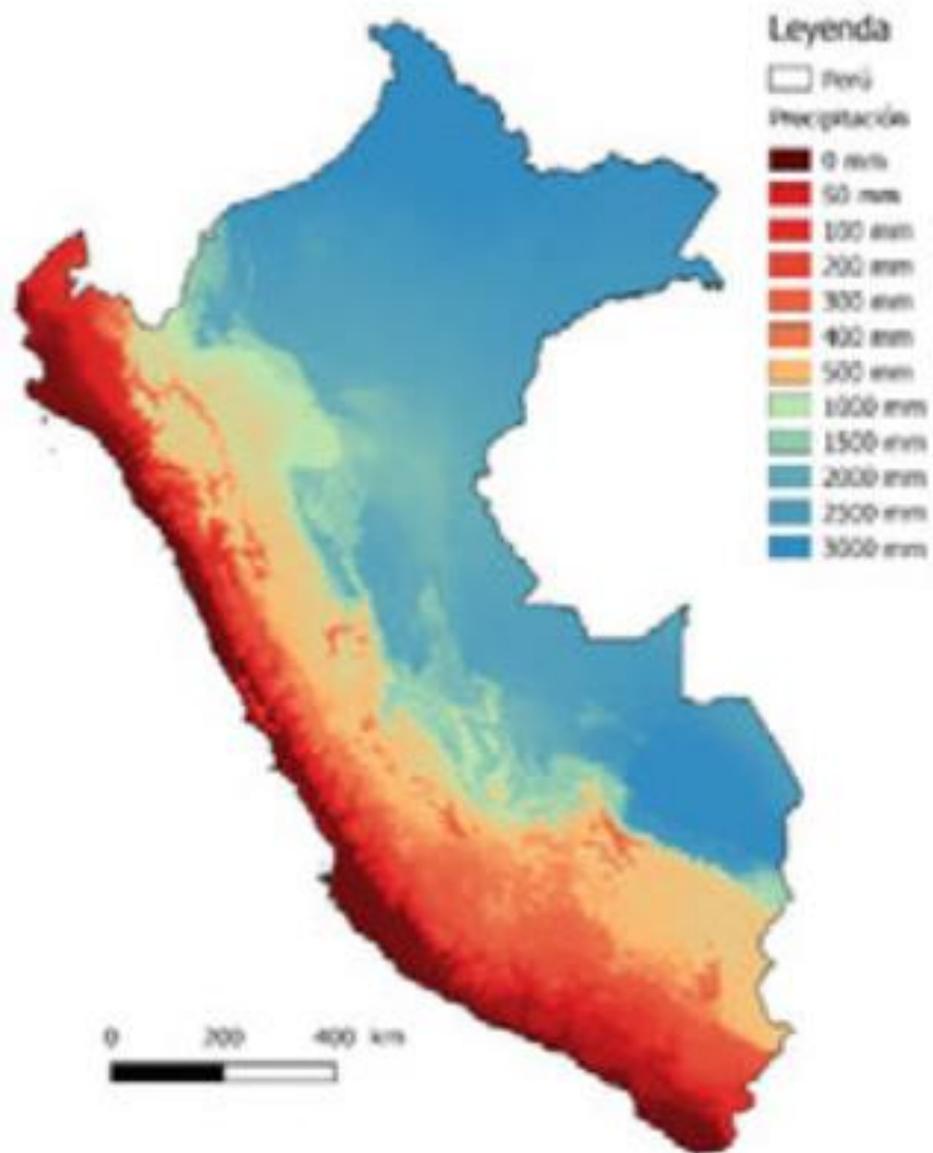
Las políticas públicas se ajustan a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para lograr la sostenibilidad económica, ambiental y social. Sin embargo, los recursos naturales son amenazados por eventos climáticos extremos y la actividad antropogénica que ejercen presión sobre los recursos provocando deforestación, erosión y desertificación volviéndose estas vulnerables ante el déficit de agua. En América Latina y el Caribe (ALC) entre 2005 y 2015, las pérdidas agrícolas equivalen a USD\$ 22 000 millones, y el 60% de las pérdidas fueron ocasionadas por la sequía. En definitiva, las sequías afectan el anhelado desarrollo sostenible en tres de sus objetivos (ODS2, ODS6 y ODS15) (8).

Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), señala que América Latina y el Caribe son altamente vulnerables a las sequías por su gran extensión de tierras secas; en este sentido evaluaron la frecuencia de sequías pasadas y a partir de ella obtuvieron la sequía centenaria normalizada, es decir lo que se espera para una sequía extrema en cien años en promedio, respecto a su normalidad. De acuerdo al mapa (figura 1) la diagonal que cruza América del Sur, el noreste de Brasil, noreste de México, Guajira colombiana coloreadas en rojo muestran mayor exposición potencial a la ocurrencia de sequías extrema (9). En la leyenda se muestra a mayor valor más alta es la diferencia entre la precipitación de un año normal y la sequía centenaria. Con respecto a escala nacional en la figura 2, se presenta la cantidad de lluvia que se espera para una sequía que ocurre una vez cada dos años y en la figura 3, una en 100 años.

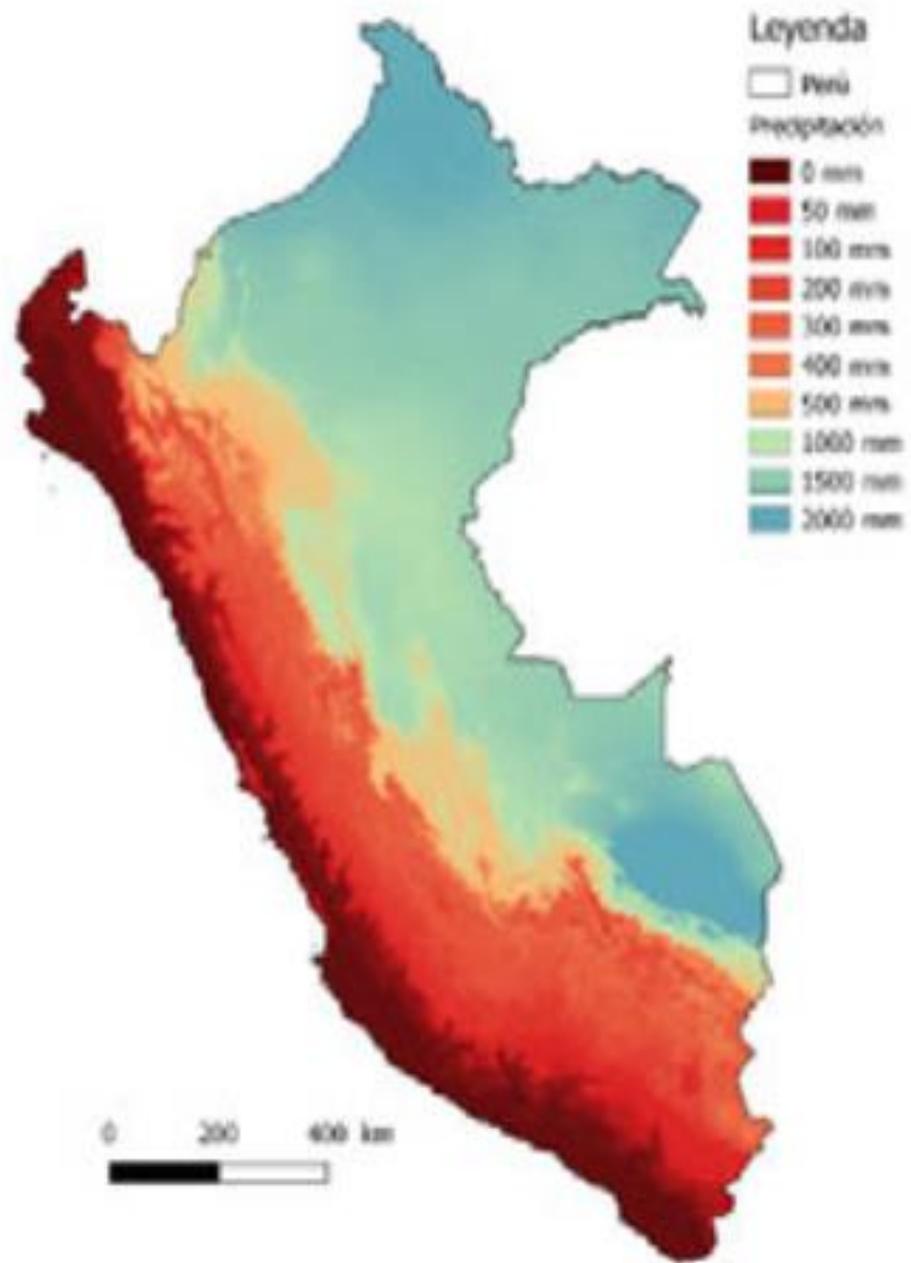


**Figura 1.** Sequía normaliza en América Latina y el Caribe

**Fuente:** (9)



**Figura 2.** Mapa de precipitación anual esperada para una sequía esperada de uno en dos años.  
**Fuente: (9)**



**Figura 3.** Mapa de precipitación anual esperada para una sequía esperada de uno en cien años.  
**Fuente: (9)**

En el Perú, los episodios de sequías son uno de los desastres naturales, que ocasiona enormes pérdidas económicas, principalmente en el sector agrícola por su recurrencia continua, que son catalogadas como severas, este fenómeno tiene influencia en la zona centro y sur del país. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ha reportado que se tuvo 10 eventos de sequía en los últimos 37 años. Estas sequías se presentaron en distintos años y la más severa fue el año 1992 que afectó a 16 departamentos (2).

La Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas se encuentra ubicada en la parte central de los Andes peruanos, en los Departamentos de Lima y Junín; otorga servicios ecosistémicos (SE), como la producción de agua, alimentos, regulación de ciclos entre otros, sin embargo, la oferta de estos SE es sensible frente a los cambios del clima, según el IPCC, el cambio climático también afectaría a las zonas altoandinas con el incremento de la temperatura, disminución de las precipitación anual, cambios en el régimen de lluvias, aumento de la intensidad, con consecuencias de la escasez de agua, reducción del rendimiento agrícola y pecuario.

Investigadores han desarrollado diferentes tipos de índices de sequía para evaluar su intensidad, duración, severidad y frecuencia; asimismo la sequía puede ser hallada a diferentes escalas de tiempo tales como: 1 mes, 3 meses, 6 meses, 9 meses, 12 meses, 24 meses y 48 meses. Por otro lado, los índices reconocidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) son variados, cada uno muestra fortalezas y debilidades, por ejemplo, se tiene el índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI), Índice de la Anomalía de la Precipitación (RAI), Deciles, Índice de Humedad del Cultivo (CMI), índice de Bhalme y Mooly (BMDI), Índice de Precipitación estandarizada (SPI) entre otros. El SPI ampliamente utilizado en muchos países requiere solo datos de precipitación de por lo menos 30 años, puede evaluar la sequía a diferentes escalas de tiempo y puede identificar varios tipos de sequía.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Problema general**

¿Cómo se presentan las sequías meteorológicas en la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas analizadas con el índice de precipitación estandarizado (SPI)?

### **1.1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Qué características tienen las sequías según el SPI para la escala de tiempo de tres meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas?
- ¿Qué características tienen las sequías según el SPI para la escala de tiempo de seis meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas?
- ¿Qué características tienen las sequías según el SPI para la escala de tiempo de nueve meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Determinar las sequías meteorológicas en la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas analizadas con el índice de precipitación estandarizado (SPI)

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de tres meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas
- Determinar las características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de seis meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas
- Determinar las características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de nueve meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas

### 1.3 Justificación e importancia

**Justificación académica,** la importancia del estudio de las sequías originadas por la escasez de las precipitaciones, radica en comprender este fenómeno a lo largo del periodo estudiado (1964-2019), ya que la distribución de la precipitación que es responsable de las sequías es irregular en el tiempo y en el espacio. Además, la investigación aportará generando más conocimiento y apoyo para nuevas investigaciones en el mundo académico.

**Justificación Social,** la población de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (RPNYC), se dedica al sector primario, es decir la agricultura (papa, cebada, habas y maíz, principalmente), la ganadería (vacunos, ovinos, caprinos y camélidos sudamericanos) y la piscicultura (trucha), asimismo estas actividades económicas son dependientes de los cambios de las precipitaciones que pueden ocasionar graves trastornos e impactos en sus actividades, en la población y en el consumo del recurso agua. El estudio contribuirá con los responsables de políticas para el uso adecuado del agua en los diferentes sectores.

**Justificación ambiental,** tanto la litósfera, atmósfera y la biósfera están ligadas a la abundancia o escasez de agua. El agua interactúa con la energía solar para determinar el clima, transforma y transporta las sustancias físicas y químicas necesarias para toda forma de vida en la tierra, por lo tanto, influye en los ecosistemas. La investigación es un tema relevante por ser la RPNYC un proveedor de servicios ecosistémicos (SE) para los pobladores del lugar y los visitantes. Asimismo, los efectos del cambio climático se han intensificado en estos últimos años en todo el mundo, algunas zonas se han vuelto más secas y otras más húmedas. Es de importancia entonces porque tiene que ver en la resolución de problemas en el campo de la hidrología, la climatología, agricultura y ecología.

**Justificación metodológica,** la presente investigación utilizó el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), ampliamente usado en Canadá, Venezuela, Chile, Argentina y China para describir y comparar sequías a diferentes escalas de tiempo, el único parámetro necesario es la precipitación de por lo menos 30 años de observaciones, esto constituye una ventaja ya que en el territorio peruano se instalaron primero estaciones pluviométricas y recién por los años 2000 estaciones climáticas y últimamente estaciones automáticas.

## 1.4 Descripción de variables

**Tabla 1. Operacionalización de la variable**

| Variable      |                  | Definición conceptual   | Dimensiones | Subdimensiones      | Índice                 | Indicador                                    |
|---------------|------------------|---|-------------|---------------------|------------------------|--|
| Independiente | Tiempo histórico | El tiempo se percibe, por ello los expertos señalan que es una construcción mental y subjetiva; se determina por su duración y sucesión de eventos.                           | Años        | Enero               |                        | Número de años<br>Número de meses            |
|               |                  |   |             | Febrero             |                        |  |
|               |                  |   |             | Marzo               |                        |  |
|               |                  |   |             | Abril               |                        |  |
|               |                  |   |             | Mayo                |                        |  |
|               |                  |   |             | Junio               |                        |  |
|               |                  |   |             | Julio               |                        |  |
|               |                  |   |             | Agosto              |                        |  |
|               |                  |   |             | Setiembre           |                        |  |
|               |                  |   |             | Octubre             |                        |  |
|               |                  |   |             | Noviembre           |                        |  |
|               |                  |   |             | Diciembre           |                        |  |
| Dependiente   | Sequía           | Esta referido a las precipitaciones considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción. | Frecuencia  | Frecuencia relativa |                        | Número de eventos de acuerdo a la intensidad |
|               |                  |   |             | Frecuencia absoluta |                        |  |
|               |                  |   | Duración    |                     |                        | Meses  |
|               |                  |   |             |                     |                        |  |
|               |                  |   | Intensidad  | Sequía moderada     | $-1.5 < SPI \leq -1.0$ | SPI < -1                                     |
|               |                  |   |             | Sequía severa       | $-2.0 < SPI \leq -1.5$ |  |
|               |                  |   |             | Sequía extrema      | $SPI \leq -2.0$        |  |
|               |                  |   | Severidad   | Leve                | -1 a -1.99             | $\sum_{j=1}^x SPI_{ij} < -1$                 |
|               |                  |   |             | Poco fuerte         | -2 a -2.99             |  |
|               |                  |   |             | Fuerte              | -3 a -3.99             |  |

|  |  |  |  |                       |            |  |
|--|--|--|--|-----------------------|------------|--|
|  |  |  |  | Muy fuerte            | -4 a -4.99 |  |
|  |  |  |  | Extremadamente fuerte | < a -5     |  |

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Artículos

El artículo **“Evaluation of trends and multivariate frequency analysis of droughts in three meteorological subdivisions of western Indian”**, los autores señalaron que las regiones de Rajasthan occidental, Sairashtra Kutch y Marathwada se ven afectadas por frecuentes sequías, siendo necesario una planificación y gestión eficaz de estas. Las sequías meteorológicas fueron modeladas utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) a una escala de tiempo de 6 meses para un periodo de tiempo de 110 años (1896-2005). Las tendencias de la serie de tiempo del SPI se evaluaron mediante la prueba de tendencia no paramétrica de Mann-Kendall para tres sub periodos de tiempo; 1896-1931, 1932-1966 y 1967-2005. Los resultados muestran para el periodo total, tendencia ascendente a largo plazo en las series de tiempo de SPI para las tres regiones. Sin embargo, se observa tendencia descendente estadísticamente significativa durante el periodo 1932-1966 en el mes de junio, lo que indica un incremento de número de sequías durante este periodo (10).

El artículo **“Trends and behavior of meteorological drought (1901-2008) over Indian region using standardized precipitation-evapotranspiration index”**, utilizaron datos mensuales del índice de precipitación-evapotranspiración (SPEI) estandarizados para las cuadrículas ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ) del periodo 1901-2008 para determinar el patrón espacial de la tendencia temporal en la sequía meteorológica durante el periodo del monzón de verano en la India. Los datos del SPEI fueron convertidos en duración, magnitud y tipos de ocurrencia de la sequía para identificar el escenario general de sequía. Asimismo, se utilizó el método no paramétrico (prueba de Mann-Kendall) para probar la tendencia monótona en cada nivel de la cuadrícula, mientras que la magnitud se estimó mediante el método de Sen. Los autores encontraron tendencia creciente en duración y magnitud de la sequía durante el monzón en parte de la región oriental, central y nororiental de la India mientras que las partes de la costa occidental, la región occidental árida y el norte de la India mostraron tendencia significativamente decreciente. El análisis de series de tiempo de la lluvia y la evapotranspiración potencial (PET) indico que el aumento de la sequía es debido a las disminuciones de las precipitaciones en la parte oriental de la India, mientras que la

disminución de la sequía en la región árida occidental es debida principalmente a la disminución del PET (11).

El artículo **“Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index”**, utilizó series de tiempo mensuales de datos de precipitación (1981-2003) de 160 estaciones, se utilizó el SPI a escala de tiempo de tres meses. Este SPI fue interpolado para representar patrones espaciales de sequía meteorológica y su severidad durante los años típicos de sequía y lluvias. Además, se realizó el análisis de correlación para evaluar la utilidad del SPI para cuantificar el efecto de la sequía en la productividad de granos alimenticios. El trabajo también evaluó las series de tiempo de SPI para determinar el riesgo de sequía en Gujarat (India) (12).

El artículo **“Intensity- duration-Frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index”**, el objetivo del estudio fue analizar las características de la sequía y desarrollar mapas en la cuenca del río Karoon, Irán. El Índice de precipitación estandarizado (SPI) fue utilizado para evaluar las sequías, para ello se obtuvieron datos provenientes de 29 estaciones meteorológicas en el interior o adyacentes al área de estudio del periodo 1972-1999. Se Calculó el SPI para 3, 6 y 12 meses; después de determinar los periodos secos y húmedos, se identificó las características históricas de las sequías y se trazaron mapas de distribución espacial de las sequías utilizando Sistema de Información Geográfica (GIS). Sobre la base de las distribuciones de frecuencia, las duraciones y magnitudes de las sequías se calcularon los periodos de retorno para 5, 10, 20, 50 y 100 años. Las relaciones de escala de tiempo, duración-frecuencia (TDF) y escala de tiempo-magnitud-frecuencia (TMF) también fue desarrollado. Los mapas de distribución espacial de sequías muestran que las condiciones extremas dominan la región sureste de la cuenca (13).

El artículo **“Assessment and Characterization of Meteorological Drought using Standardized Precipitation Index in the Upper Luni River Basin, Rajasthan”**, se centró en la caracterización de la sequía meteorológica en la región superior de Luni de Rajasthan enfatizando el análisis en el inicio, persistencia y la gravedad de la sequía. El SPI fue evaluado para la escala de 3 meses en 6 distritos de la región durante el periodo 1979-2008, con los resultados obtenidos se elaboró mapas mensuales de las 42 estaciones. Los mapas de sequía presentaron patrones espaciales de sequía meteorológica, su probabilidad de ocurrencia en diferentes meses, severidad y persistencia. Los resultados de la caracterización de la sequía revelaron que la

probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en la región varía de 0 a 50% con mayor probabilidad de ocurrencia de sequía en los meses de julio y agosto (14).

El artículo **“Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México”**, realizó el análisis temporal y espacial de la sequía para el periodo 1961-2012 para 14 estaciones del área de estudio para las escalas de 3, 6, 12 y 24 meses; la investigación utilizó datos de precipitación, temperatura mínima y máxima. Se calcularon dos índices de sequía: (1) el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y (2) el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI). Los resultados indicaron que las sequías en el área de estudio han alterado su patrón de ocurrencia y se presenta con mayor frecuencia, intensidad y duración en las últimas décadas del estudio. Se identificó dos periodos de sequías extremas de 1999 a 2004 y de 2011 en adelante (15).

El artículo **“Estudio de la Sequía meteorológica en localidades de los Llanos de Venezuela mediante el Índice de Precipitación Estandarizado”**, utilizó datos históricos de precipitación de tres estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ubicadas en los estados de Anzoátegui, Guárico y portuguesa. Para la identificación y descripción del fenómeno utilizó el Índice de Precipitación estandarizado (SPI), resaltando en su intensidad, duración, magnitud y frecuencia de ocurrencia. Los resultados mostraron variaciones temporales en los indicadores de intensidad y magnitud. La magnitud máxima y relevante fue registrada en El Tigre con 10,15 (categoría extremadamente fuerte) durante el año 2014. Asimismo, el evento de sequía ocurrido desde inicio del periodo pre-húmedo (abril del 2001 a inicios (febrero y marzo) de 2002, constituye en el evento más intenso que se haya registrado en la mayoría del territorio nacional para el periodo (16).

### **2.1.2 Tesis**

La tesis **“Análisis de sequías meteorológicas, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), en el periodo (1964-2018) en la región de Puno”**, utilizó datos de 48 estaciones pluviométricas. La metodología consistió en hacer el Análisis Exploratorio de Datos (AED) de los registros pluviométricos; asimismo, utilizó el método de vector regional para identificar los índices de relación entre estaciones para la formación de regiones homogéneas, los test estadísticos de Mann Kendall y Cusum determinó las tendencias del comportamiento y posteriormente se empleó el SPI para la escala de 1 mes (condiciones de humedad del suelo) y 3 meses (precipitación estacional) para determinar la duración, severidad e intensidad. El resultado del análisis

regional basados en el SPI presentó patrones de sequías meteorológicas en todas estaciones pluviométricas agrupadas en ocho regiones homogéneas; la región 1 evidenció valores extremos en el SPI-1, las regiones 2, 5, 6 y 7 se observa predominancia de valores extremos en el SPI-3, mientras que para las regiones 3, 4 y 8 hay predominio de valores extremos tanto para SPI-1 y SPI-3. Además, identificó sequías extremas con intensidad extrema en los años: 1976, 1982, 1983, 1988, 1989, 1990, 1992, 2008, 2020 y 2016 (17).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Precipitación**

Es la humedad que ingresa a la atmósfera como resultado de la evaporación del agua de la superficie terrestre, es transportada por los flujos de aire; se condensa y vuelve a caer como precipitación en la superficie de la tierra. La precipitación puede ser en estado líquido o sólido. Dependiendo del mecanismo de desarrollo y estructura de las nubes, la precipitación puede ser continuo y esta es producido predominantemente a partir de estratocúmulos, mientras que una precipitación pesada es producida por cumulonimbos y a menudo por nubes nimbo estratos y las lloviznas es producido por nubes estratos (18).

Hasta el 90% del vapor de agua se concentra en la capa de la troposfera hasta 5 km, luego disminuye rápidamente con la altitud. La renovación de la humedad atmosférica es de 9 a 10 días.

#### **2.2.1.1 Mecanismos de la precipitación**

##### **Proceso Bergeron-Findeisen**

Este proceso se basa en dos hechos:

- a. Coexistencia de vapor de agua, cristales de hielo y gotas de agua líquida súper enfriadas y,
- b. Diferentes valores de presión de vapor de saturación.

En este caso, las nubes frías donde la temperatura ambiente está por debajo del punto de congelación, los productos de condensación pueden ser tanto agua líquida como cristales de hielo. Por debajo de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  todos los productos son cristales de hielo y toda la nube está helada. Entre  $0^{\circ}\text{C}$  -  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el agua y el

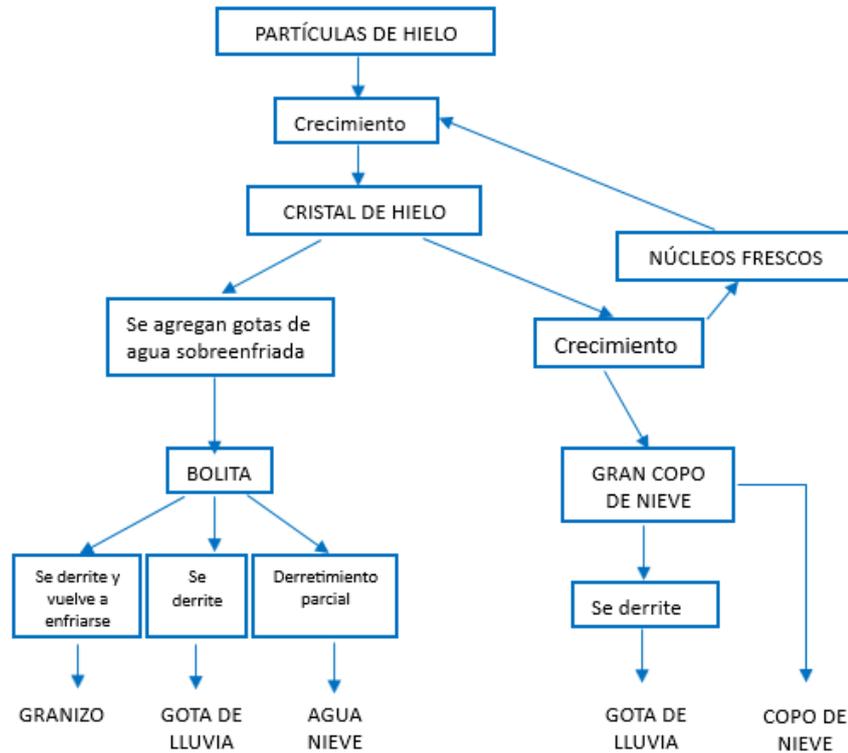
hielo coexisten formando una nube mixta. En nubes mixtas, la fase de crecimiento inicial depende de la coexistencia de hielo y agua y las gotas de agua súper enfriadas se congelan cuando:

- i. Están perturbados o,
- ii. Entran en contacto con un núcleo congelado.

Los núcleos que forman gotas de agua superan en número a los núcleos que forman cristales de hielo, los cuales pueden estar rodeados por miles a cientos de miles de gotas de agua super enfriada. Así cuando se elevan las corrientes de aire ascendentes cae muy por debajo de  $-20^{\circ}\text{C}$  y las gotas super enfriadas se congelan. Este único cristal de hielo tiene la capacidad de convertir la totalidad de la nube en una nube de hielo, esto es porque la presión de vapor de saturación sobre el hielo es menor que sobre el agua a la misma temperatura. Esto significa que cuando el aire está saturado con respecto al agua, está super saturado con respecto al hielo. A una temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  la presión de vapor se traduce en una humedad relativa del 100 por ciento (saturación) para el aire que rodea a las gotitas de agua y una humedad relativa del 110 por ciento (super saturación) del aire que rodea a los cristales de hielo. En respuesta a las condiciones super saturadas el agua migra hacia los cristales de hielo y la deposición comienza en los cristales de hielo (núcleos de sublimación), los cristales de hielo crecen y se juntan para formar copos de nieve. La deposición elimina el vapor de agua de las nubes, y por lo tanto reduce la humedad relativa por debajo del 100 por ciento y las gotas se vaporizan. Bajo estas condiciones, los copos de nieve crecen a expensas de las gotas de agua super enfriadas. Además, los cristales en crecimiento pueden entrar en contacto con gotas de agua líquida super enfriadas, que se congelarán sobre o alrededor de los cristales inmediatamente. Este tipo de proceso de crecimiento se conoce como riming. Riming es el mecanismo primario de la formación de granizo (19).

A medida que los cristales se hacen más grandes y pesados, comienzan a caer y a medida que caen también aumentan en número porque pequeñas astillas se desprenden de los grandes cristales dendríticos y actúan como núcleos frescos. Así todo el proceso se repite de nuevo. Si las temperaturas del aire están por debajo del punto de congelación la mayor parte de los cristales alcanzan la superficie terrestre en forma de copos de nieve. Si el aire debajo de la nube está por encima del punto de congelación, los copos de nieve se derriten y llegan al suelo como gotas de agua. Sin embargo, es posible que el proceso no siempre

funcione. La lluvia en las regiones tropicales se observa solo desde las nubes a unos 2 km de profundidad, donde la temperatura en la parte superior de la nube es superior a 0 °C. En estas condiciones, es imposible que se desarrollen cristales de hielo para que funcione el proceso Bergeron-Findeisen (19).



**Figura 4.** Proceso de Bergeron-Findeisen

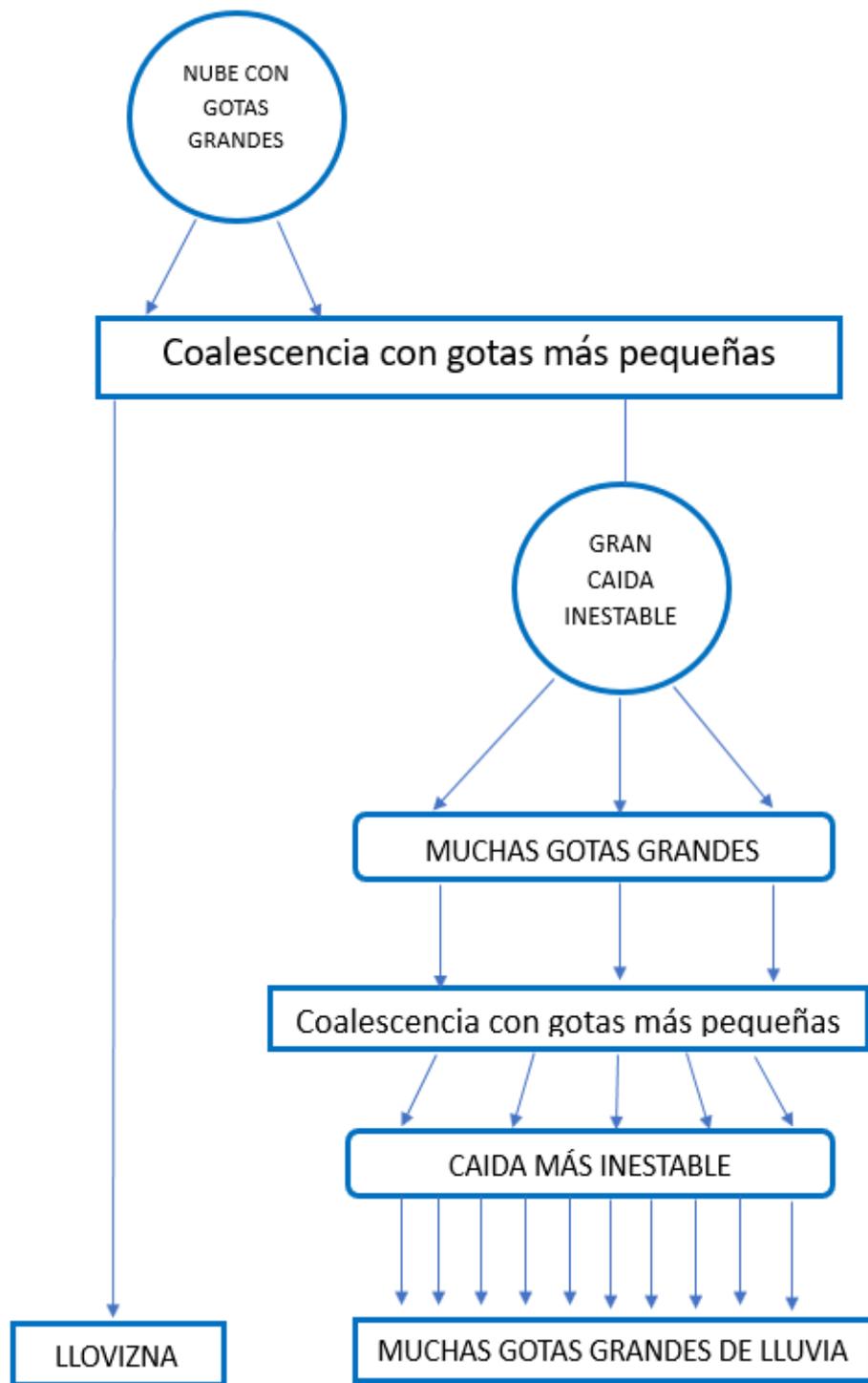
**Fuente:** (19)

Fue propuesto por George Simpson y Mason, se basa en el hecho que las nubes contienen una variedad de tamaños de gotas de agua. Las gotas uniformemente pequeñas tienden a moverse a la misma velocidad en la nube, pero se mezclan con gotas más grandes y de movimiento lento que se han formado alrededor de núcleos higroscópicos, esto fomentara colisiones y fusiones. Estas ideas fueron modificadas por Langmuir, quien señalo que las velocidades terminales de las gotas que caen están directamente relacionadas con sus diámetros. Asimismo, los diámetros están determinados por el tamaño de los núcleos de condensación. Las gotas que han crecido en grandes núcleos de condensación se vuelven más grandes. Las gotas más grandes tendrán una velocidad terminal más alta que las más pequeñas y, por lo tanto, chocarán con ellas. Las gotas de lluvia o cristales de hielo a menudo se adhieren después de chocar y, por lo

tanto, crecen al chocarse y juntarse. Las gotas más grandes luego caen más rápido, ya que superan la resistencia del aire con mayor facilidad. Al caer más rápido son capaces de alcanzar aún más rápidamente otras gotas y cristales. Para que exista una colisión, son necesarias varias condiciones.

- a. Las gotas más pequeñas deben estar cerca del eje de caída de la gota más grande, de lo contrario, seguirá la corriente de aire alrededor de la gota que cae y no habrá impacto. A medida que descenden las gotas más grandes producen una corriente de aire que expulsa las partículas pequeñas de su camino.
- b. Los cristales de hielo que chocan rebotan entre sí cuando tienen forma plana y están secos y fríos. En otras palabras, las gotas que chocan pueden rebotar entre sí ya que hay poca tensión superficial.
- c. Incluso en caso de colisión, el crecimiento solo se producirá si las dos gotas se fusionan. Esto ocurrirá si; (i) las gotas son de tamaños considerablemente diferentes y (ii) la electricidad atmosférica está presente para mantener unidas las gotas. Si una gota cargada negativamente choca con una gota de carga positiva, su atracción eléctrica los unirá.

La colisión continua, por lo tanto, conduce a la coalescencia que resulta en muchas grandes gotas inestables que en una mayor interrupción produce varias gotas grandes y su continua coalescencia y mayor interrupción conduce a muchas gotas más grandes.



**Figura 5.** Proceso de colisión- coalescencia

**Fuente:** (19)

### 2.2.1.2 Tipos de precipitación

**Llovizna.** La llovizna consiste en pequeñas gotas de lluvia de 0.2 a 0.5 mm de diámetro que se desplazan muy lentamente hacia la superficie del suelo. La cantidad de precipitación resultante de la llovizna es muy pequeña, acumulándose como máximo al tiempo de 1 mm/h (18).

**Lluvia.** Es el nombre que se le da a toda precipitación líquida que no sea llovizna. La mayoría de las gotas de lluvia se originan como copos de nieve y se derriten en su camino hacia abajo cuando encuentran aire que está por encima de 0 °C. Debido a que la lluvia se origina en nubes más gruesas que tienen bases más altas, las gotas de lluvia viajan más lejos que la llovizna y crecen. Cuando el diámetro aumenta más de 5 mm, las gotas tienden a romperse (18).

**Nieve.** Es el nombre general para la precipitación de cristales de hielo opacos y semi opacos en forma de cristales individuales, pequeños gránulos o escamas formados por agregación de cristales. La nieve comienza como cristales de hielo que forman una nube cuando el vapor de agua se congela alrededor de partículas sólidas diminutas en los niveles medio y superior de la atmósfera, donde las temperaturas están muy por debajo de 0 °C. Los cristales de hielo individuales se unieron gradualmente, formando copos de nieve. Una vez que los copos de nieve son lo suficientemente pesados caen al suelo. Los cristales de hielo se forman en una amplia gama de formas dependiendo de la temperatura y la humedad de la masa de aire circundante. La condición ideal para las temperaturas de la nieve es cercana y justo por debajo de cero, en lugar de temperaturas más frías. Esto es porque cuanto más caliente esté la nieve, más humedad contendrá, por lo tanto, serán copos más grandes; y debido a que una temperatura cercana a 0 °C permitirá que la nieve se derrita, se vuelven a congelar y se combinan en copos más grandes. Una combinación de nieve intensa y vientos fuertes provoca ventiscas. Un fenómeno asociado es el desvanecimiento, cuando la nieve intensa y las nubes bajas por múltiples reflejos hacen que el suelo y el cielo sean indistinguibles (18).

**Lluvia helada.** En condiciones invernales, cuando las temperaturas en el nivel de las nubes están por debajo de cero, cualquier gota de agua que cae de las nubes se enfriará mucho. Esto significa que es probable que se congelen tan

pronto como encuentren una capa de aire más fría o una superficie cuya temperatura sea inferior a 0 °C. La precipitación que se congela en cualquiera de estas formas se llama lluvia helada. El mayor peligro asociado con la lluvia helada es la acumulación de hielo en las aeronaves y barcos (18).

**Gránulos de hielo.** Los gránulos de hielo también llamados aguanieve, son en realidad lluvia de gotas heladas. Se congelan cuando caen de una masa de aire caliente a través de una capa fría. Este tipo de precipitación se desarrollan de una manera similar a la lluvia helada; la única diferencia es que la capa superficial del aire es tan profunda que la lluvia cae congelada antes de golpear el suelo. El agua nieve es diferente de la lluvia helada; el agua nieve rebota al chocar con el suelo mientras que la lluvia helada no lo hace (18).

**Glaseado.** Las gotas grandes super enfriadas golpean el suelo por debajo del punto de congelación, tienden a extenderse al impactar antes de congelar la superficie con una capa de hielo transparente conocida como glaseado. Este tipo de hielo puede producir condiciones peligrosas que dificulta mucho caminar o conducir.

**Granizo.** El granizo es un trozo de hielo redondeado o irregular que tiene capas concéntricas como una estructura interna de cebollas. El granizo se desarrolla dentro de tormentas eléctricas intensas a medida que las fuertes corrientes de convección transportan hacia arriba los gránulos de hielo, hacia tramos medios y superiores de una nube de tormenta. A lo largo del camino, los gránulos de hielo crecen al recolectar gotitas de agua. Finalmente, los granizos se vuelven demasiado pesados para ser sostenidos por corrientes ascendentes convectivas y caen a tierra. Las piedras de granizo son los suficientemente grandes como para sobrevivir al viaje al suelo en forma de hielo, a pesar de que las temperaturas de la superficie están muy por encima del punto de congelación.

**Gránulos de nieve.** Los gránulos de nieve son partículas esféricas blancas opacas de hielo de menos de 1 cm de diámetro. Ellos son crujientes y fáciles de triturar en contraste con los gránulos de hielo y el granizo que son hielos duros.

**Escarcha.** Cuando las gotas muy pequeñas super enfriadas golpean el suelo bajo cero °C, tienden a congelarse inmediatamente al impacto, atrapando aire entre ellos. Por lo tanto, la escarcha se acumula como depósito de hielo opaco,

blanco y cristales de textura rugosa. El hielo escarchado se acumula más rápidamente en condiciones frías y húmedas en la superficie expuesta al viento.

### **2.2.2 Sequía**

La sequía es definida como un déficit de humedad severo por debajo de los niveles esperados que restringe algún tipo de actividad (20). Sin embargo, no se debe confundir la sequía con conceptos relacionados a la aridez, ya que en esta la escasez de precipitaciones es una característica permanente del entorno climático, mientras que la desertificación es debido a una mala gestión (21). Según la World Meteorological Organization (WMO), la sequía se define como una desviación acumulativa respecto a las condiciones normales o previstas de precipitación. El déficit de precipitación puede presentarse en poco tiempo o tardar meses en presentarse ocasionando la disminución del caudal de los ríos, de los embalses o la altura de las aguas subterráneas. Entonces la sequía son las condiciones de sequedad climática que es lo suficientemente severa como para reducir la humedad del suelo y los niveles de agua por debajo del mínimo necesario para sostener las plantas, los animales y el sistema económico. En otras palabras, se puede decir que la sequía es la escasez de precipitaciones durante un período prolongado que puede ser una temporada o más, lo que resulta en una deficiencia de agua que causa condiciones adversas en la vegetación, las personas, los animales y el medio ambiente dentro de un espacio geográfico.

#### **2.2.2.1 Factores que influyen para la generación de la sequía**

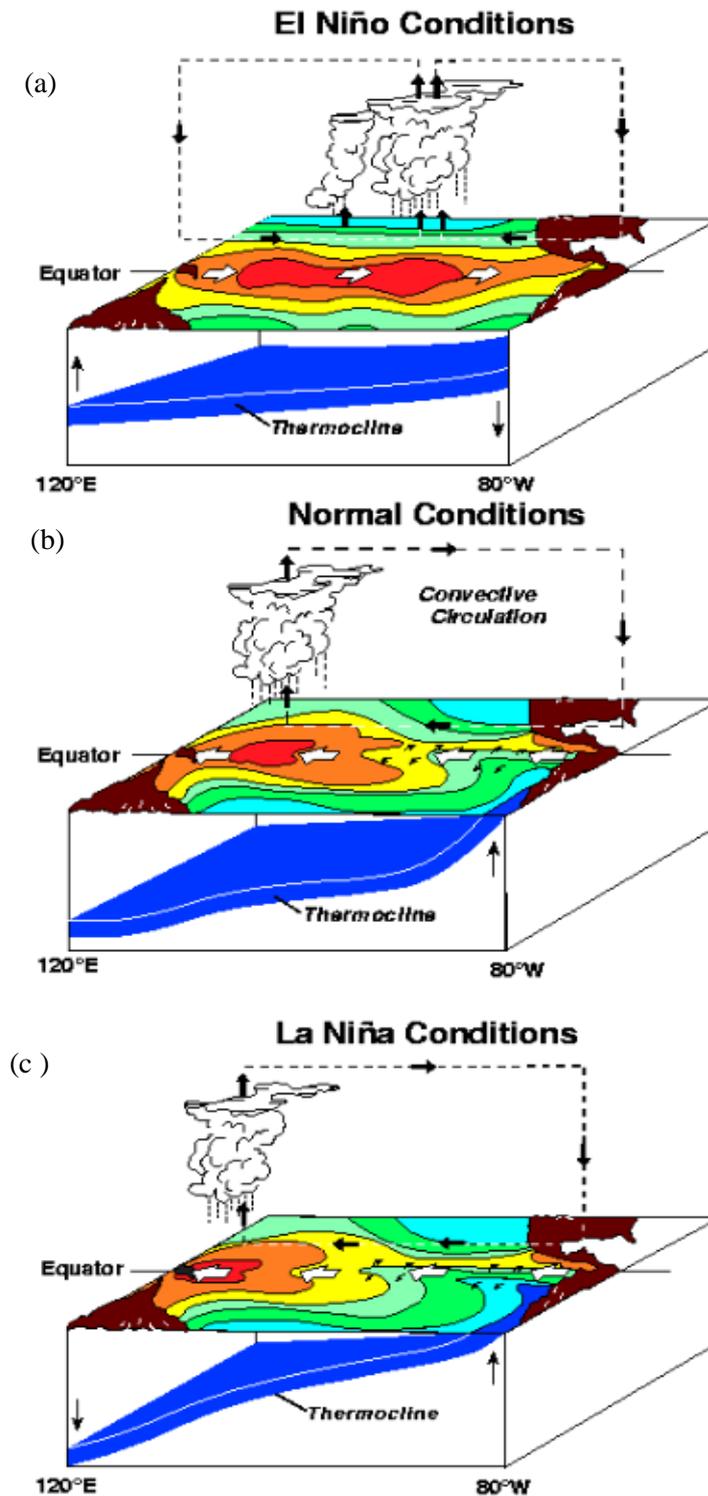
##### **a. Factores de origen natural**

**La circulación general atmosférica**, su comportamiento está asociado al de los océanos; es así cualquier modificación en la temperatura ya sea en la superficie del mar o continental en la región tropical comprendida entre los 30° de latitud Norte y Sur, tiene como resultado cambios de la presión del aire y de los sistemas de los vientos alisios que finalmente pueden alterar la precipitación (22). Además, en esta región se presenta la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), en la cual los vientos alisios forman un cinturón de baja presión donde convergen masas de aire cálido y húmedo, la ZCIT tiene movimiento estacional que determina entrada de masas de aire con diferentes condiciones de humedad y temperatura, las cuales van a influir en la estacionalidad de las lluvias.

**La variabilidad espacial**, las precipitaciones se ha incrementado, en algunas regiones mientras en otras ha disminuido. El cambio del patrón de la temperatura superficial (TSM) ha afectado la precipitación tropical, a ello se suma el debilitamiento de los vientos alisios, originando la disminución de las lluvias en América Central, el sudoeste latinoamericano y la península Ibérica, en España y Portugal desde 1960, los registros señalan que las precipitaciones han decrecido en 90 mm por década (23). El Grupo Intergubernamental del Cambio Climático señaló en el 2013, que posiblemente la disminución de las precipitaciones dando como resultado sequías en las zonas subtropicales, sean debido a las alteraciones de la zona de convergencia del Pacífico Sur.

**Los eventos ENOS**, este fenómeno se origina en el Pacífico tropical, sin embargo, su impacto es global. Tiene dos fases, El Niño (EN) y la Niña (LN), la primera es la fase positiva (cálida) y la segunda negativa (fría); conocidas también como anomalías climáticas a gran escala y son responsables de las variaciones climáticas en las diferentes regiones del mundo a través de las tele conexiones atmosféricas y oceánicas. El ENOS se caracteriza por el fortalecimiento (debilitamiento) de los vientos alisios, profundización (levantamiento) de la termoclina en el pacífico tropical (figura 6).

Los resultados de las lluvias del Perú para un periodo analizado (1965-2007) mostraron que solo durante los eventos de El Niño y La Niña fuertes se observaba anomalías significativas de la precipitación en la vertiente hidrográfica del Pacífico y la del Lago Titicaca, incremento de las lluvias en el norte durante El Niño fuerte mientras que disminución de la precipitación en la región sur andina y aumento en La Niña fuerte (24).



**Figura 6.** Diagrama esquemático de ENSO, colores rojos a naranja representan temperaturas cálidas y de amarillo a verde indican temperaturas frías, la banda azul es la termoclina con una temperatura aproximada de 20° C. a) El Niño; b) Condiciones normales y c) La Niña.

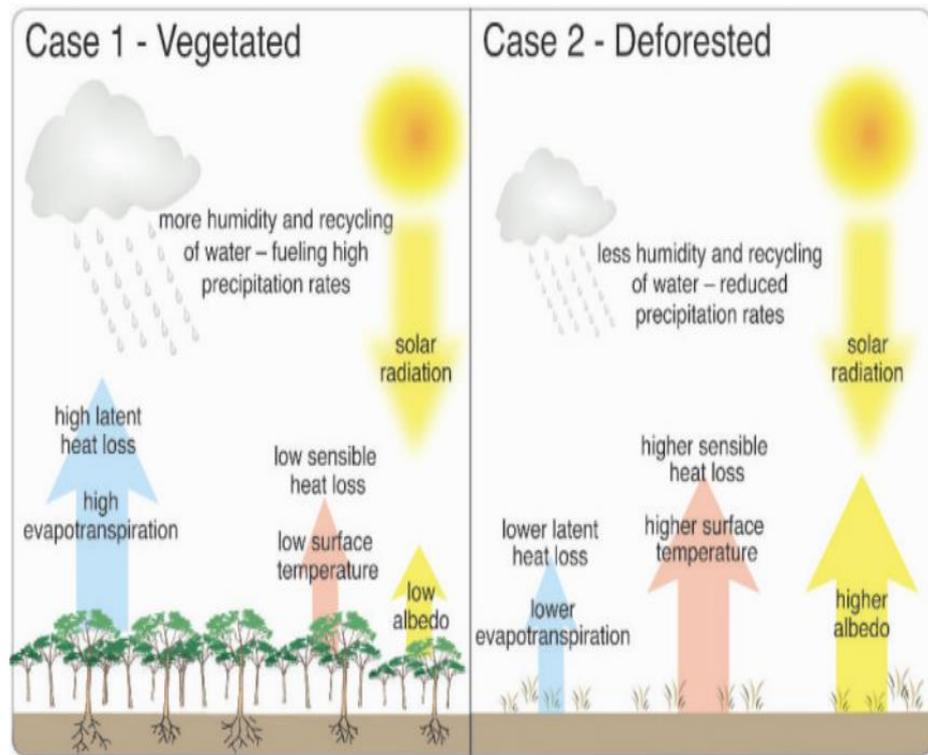
Fuente: (25)

**El relieve de la cordillera de los Andes**, las montañas actúan como una barrera natural entre los sistemas de alta presión (Anticiclón del Atlántico Sur y Anticiclón del Pacífico Sur) que transporta la humedad del océano Atlántico y de la región central de la cuenca del río Amazonas hacia los Andes orientales provocando puntos calientes de precipitación desde Colombia hasta Bolivia. Sin embargo, existen pasos bajo de la cordillera que permiten el paso de vientos fuertes descendentes desde la Amazonia provocando que sectores ubicados a sotavento sean muy secos.

#### **b. Factores de origen antropogénico**

**Concentración de gases de efecto invernadero**, los estudios han demostrado que las actividades humanas influyen sobre el cambio climático, la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmosfera se ha incrementado en casi 50% en referencia a la época de la revolución industrial como consecuencia de la quema de combustible fósil y la deforestación (26). El aumento de la temperatura media global de 0.5°C a 1.3°C en la superficie del 1951 a 2010, probablemente sea debido al incremento de las emisiones de GEI, la Comisión Económica para América Lantina y el Caribe en el 2015 señala que es probable que las sequías empeoren.

**Cobertura vegetal**, es de gran importancia dentro del ciclo hidrológico, porque es clave en la circulación continua del agua en el suelo-vegetación-atmósfera que determinan el balance de energía, carbono y solutos de los ecosistemas. Sin embargo, las actividades como la agricultura y la urbanización vienen ocasionando la deforestación y los cambios de uso del suelo provocando la degradación, erosión y desertificación de amplios territorios, convirtiéndolos en muy susceptibles y vulnerables a la deficiencia del agua, los suelos bajo estas condiciones modifican sus propiedades físicas limitando su capacidad de retener y almacenar humedad, (figura 7) (22).



**Figura 7.** Efectos climáticos de deforestación tropical en el ciclo hidrológico. Caso 1, áreas cubiertas con bosques concentran valores bajo de albedo proporcionando la energía suficiente para la fotosíntesis y transpiración (perdida de calor latente que enfría la superficie. Caso 2, áreas deforestadas presentan valores más altos de albedo, suelos desnudos reducen la absorción de la energía en la superficie, la pérdida de calor latente se reduce severamente y la superficie se calienta.

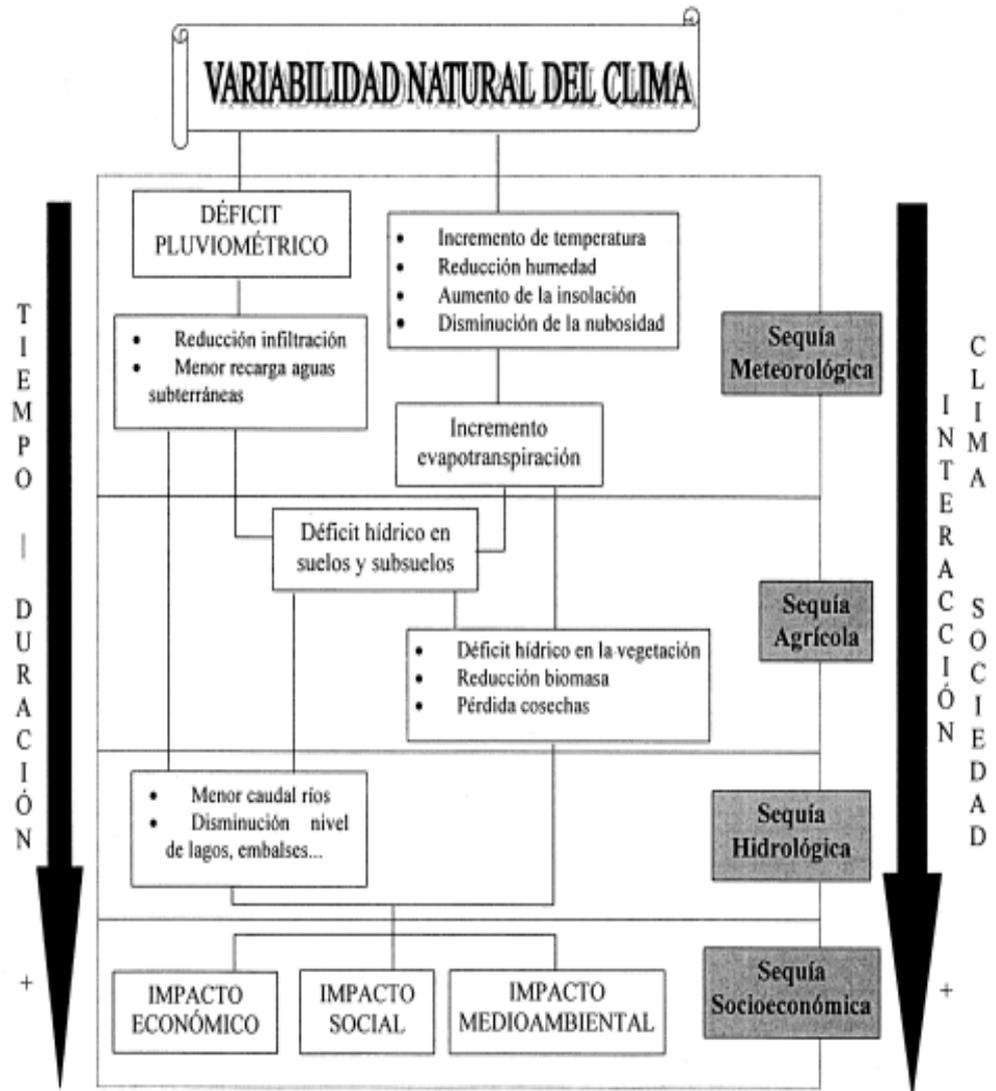
**Fuente:** (27)

### 2.2.2.2 Tipos de sequía

Sequías puede ser clasificado en cuatro categorías:

- **Sequía meteorológica:** implica una deficiencia de lluvia donde la precipitación se reduce por debajo de la normal climática en cualquier área dada (28). Estos son específicos de la región, ya que la deficiencia de precipitación es muy variable de una región a otra. Este tipo de sequía, se basa en datos climáticos, se expresa por la desviación de la precipitación respecto a su media durante un periodo de tiempo determinado; suele evaluar también a través de las anomalías de precipitación.

- **Sequía hidrológica:** están asociadas con la deficiencia de agua en la superficie o del subsuelo debido a la escasez de precipitaciones. Si bien es cierto que todas las sequías tienen su origen en una deficiencia en las precipitaciones, la sequía hidrológica se preocupa principalmente porque esta deficiencia afecta a los componentes del sistema hidrológico, como la humedad del suelo, el flujo de los arroyos, las aguas subterráneas y el nivel de los embalses, etc. Aunque se produce un desfase entre la escasa precipitación sólida o líquida y la reducción del caudal de una fuente de agua o un embalse, las mediciones hidrológicas no pueden ser utilizadas como un indicador del inicio de una sequía (28).
- **Sequía agrícola:** este tipo de sequía está vinculada en varias características a la sequía meteorológica y la hidrológica con impactos en la agricultura, se centra en la escasez de precipitaciones, las diferencias entre evapotranspiración potencial real, el suelo, los déficits de agua del suelo y la reducción de los niveles de agua subterránea o de reservorios. La demanda de agua de la planta depende de las condiciones climáticas predominantes, las características biológicas de la planta específica, su etapa de crecimiento y las propiedades físicas y biológicas del suelo. En general se puede decir que no hay suficiente agua en los primeros 20 cm de suelos que es la profundidad hasta donde alcanzan las raíces de las plantas cultivadas (28).
- **Sequía socio económica:** se asocia con el aspecto de oferta y demanda de bienes económicos junto con elementos de sequía meteorológica, hidrológica y agrícola. Este tipo de sequía ocurre principalmente cuando la demanda de un bien económico excede su oferta debido a la escasez de agua relacionada con el clima.



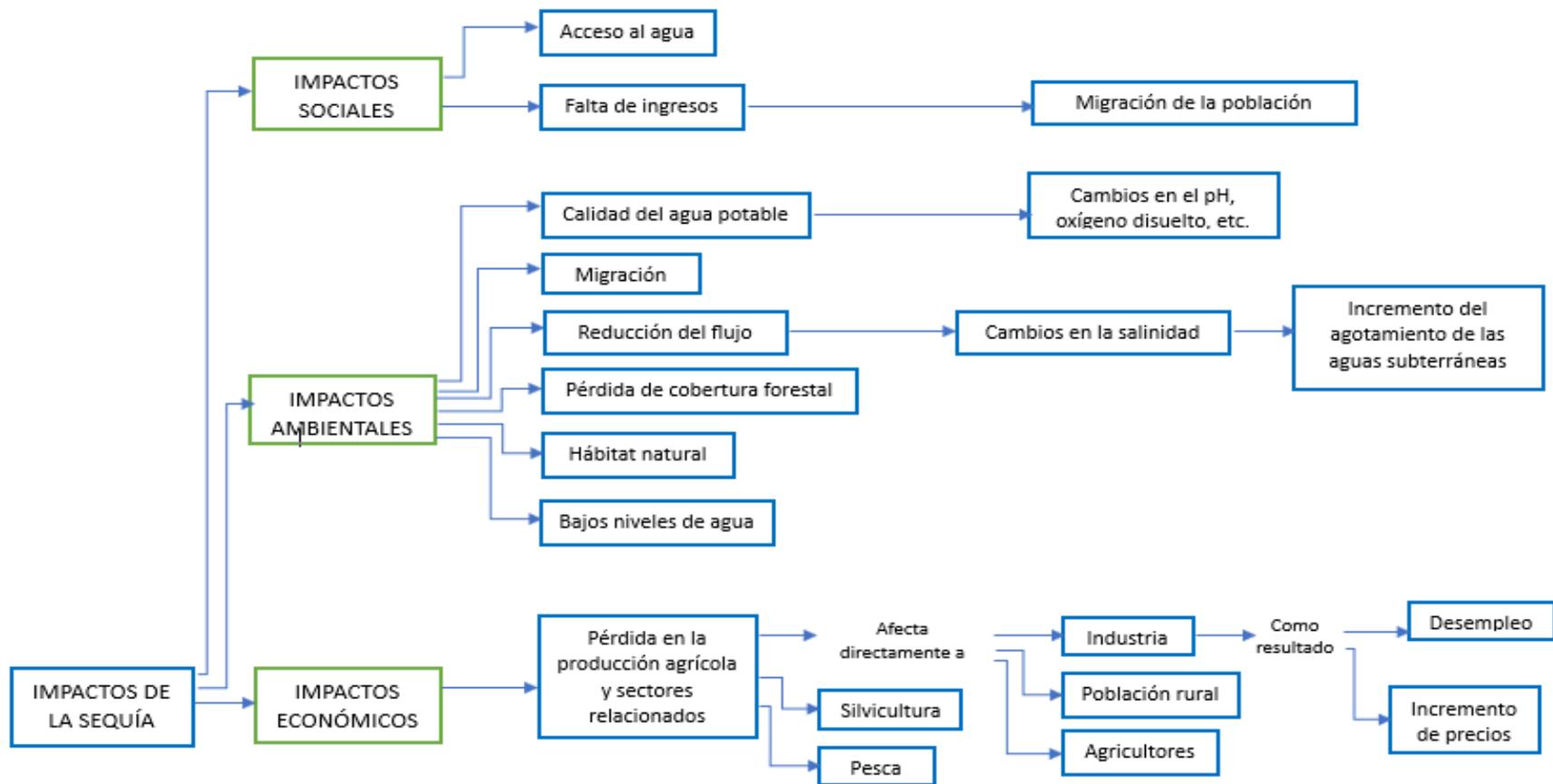
**Figura 8.** Desarrollo de la sequía

**Fuente:** (28)

### 2.2.2.3 Impactos de la sequía

Los impactos de una sequía pueden ser económicos, ambientales o sociales. La sequía produce una compleja red de impactos que abarca muchos sectores de la economía y se extiende mucho más allá del área que experimenta la sequía

física. Esta complejidad existe porque el agua es parte integral de la capacidad de la sociedad para producir bienes y proporcionar servicios. Por otro lado, los impactos pueden ser directos e indirectos. Los impactos directos incluyen la reducción de la productividad de cultivos, pastizales y bosques, mayor peligro de incendio, niveles reducidos de agua, aumento de las tasas de mortalidad del ganado, daños a la vida silvestre y al hábitat de los peces. Las consecuencias de estos impactos directos ilustran impactos indirectos. Por ejemplo, una reducción en la productividad de los cultivos, los pastizales y los bosques puede resultar en una reducción de ingresos para los agricultores y la agroindustria, aumento en los precios de alimentos y la madera, desempleo, reducción de los ingresos fiscales debido a la reducción de gastos, ejecuciones hipotecarias de préstamos bancarios a agricultores y empresas, migración y programas de socorro en casos de desastre (29). En la figura 9 se ilustra los impactos en diferentes sectores.



**Figura 9.** Impactos de la sequía en diferentes sectores

**Fuente:** (30)

- **Impactos económicos**

Muchos impactos económicos ocurren en la agricultura y sectores relacionados, incluidos la silvicultura y la pesca, debido a la dependencia de estos sectores al suministro de agua superficial y subterránea. Además, de las pérdidas obvias en los rendimientos de la producción agrícola y ganadera, la sequía está asociada con aumentos en la infestación de insectos, enfermedades de las plantas y erosión eólica de los suelos. Las sequías, también ocasionan mayores problemas con insectos y enfermedades a los bosques y reducen el crecimiento. La incidencia de incendios forestales y de pastizales aumenta sustancialmente durante las sequías prolongadas, lo que a su vez coloca a las poblaciones humanas y de vida silvestre en niveles más altos de riesgo (29).

- **Impactos ambientales**

Las pérdidas ambientales son el resultado de daños a las especies de plantas y animales; el hábitat de la vida silvestre y la calidad del aire y el agua; los incendios forestales y de pastizales; degradación de la calidad del paisaje; pérdida de biodiversidad; y erosión del suelo. Algunos, de los efectos son a corto plazo y las condiciones vuelven rápidamente a la normalidad después del final de la sequía. Otros efectos ambientales persisten durante algún tiempo o incluso pueden volverse permanentes. El hábitat de la vida silvestre, por ejemplo, puede degradarse debido a la pérdida de humedades, lagos y vegetación. Sin embargo, muchas especies eventualmente se recuperan de esta aberración temporal. La degradación de la calidad del paisaje, incluido el aumento de la erosión del suelo, puede conducir a una pérdida más permanente de la productividad biológica del paisaje. Si bien las pérdidas ambientales son difíciles de cuantificar, la creciente conciencia pública y la preocupación por la calidad ambiental ha obligado a los funcionarios públicos a concentrar mayor atención y recursos en estos efectos (29).

- **Impactos sociales**

Los impactos sociales involucran la seguridad pública, la salud, los conflictos entre los usuarios del agua, la reducción de la calidad de vida y las inequidades en la distribución de los impactos y el alivio de desastres. Muchos de los impactos identificados como económicos y ambientales también tiene componentes sociales. La migración de la población es un problema importante en muchos países, a menudo estimulado por un mayor suministro de alimentos y agua en otros lugares. La migración suele ser hacia áreas urbanas dentro de

área estresada, o hacia regiones fuera del área de sequía. La migración puede incluso ser a países adyacentes. Cuando la sequía ha disminuido, los migrantes rara vez regresan a sus hogares, lo que priva a las zonas rurales de valiosos recursos humanos. Los migrantes por la sequía ejercen una presión cada vez mayor sobre la infraestructura social de las zonas urbanas, lo que aumenta la pobreza y el malestar social (29).

#### **2.2.2.4 Indicadores de sequías**

Los indicadores o variables para describir las condiciones de las sequías que plantea la WMO por sus siglas en inglés son: la precipitación, la temperatura, los caudales fluviales, los niveles de aguas subterráneas y de los embalses, la humedad del suelo y el manto de nieve (31).

El uso de indicadores es una de las herramientas más importantes en el campo de la investigación de la sequía, así la implementación de diferentes tipos de índices mediante la asimilación de indicadores en un solo valor numérico se considera un tema importante para estudiar cada dimensión de la sequía para su seguimiento, previsión y planificación en base a resultados. Los índices de sequía se clasifican según el efecto que causan en el medio ambiente; siendo la sequía meteorológica, hidrológica y agrícola las más utilizadas.

#### **2.2.2.5 Índices de sequia**

Los índices son representaciones numéricas, determinadas mediante datos climáticos o hidrometeorológicos, entre los que se incluyen los indicadores señalados líneas arriba mencionados. El objetivo es analizar el estado cualitativo de las sequías en un periodo de tiempo determinado. Vigilar el clima en diversas escalas temporales permite reconocer los periodos húmedos de corta duración dentro de las sequías de larga duración o los periodos secos de corta duración. Los índices pueden simplificar relaciones complejas y brindar valiosos instrumentos para la comunicación con los distintos tipos de usuarios. Son utilizados para proporcionar un estudio cualitativo de la gravedad, la localización, el desarrollo cronológico y la duración de los episodios de sequía (31).

La información obtenida de los índices o indicadores es útil para planificar y diseñar aplicaciones (como evaluaciones del riesgo, sistemas de alerta

temprana de la sequía e instrumentos para la toma de decisiones en gestión de riesgos).

Según la literatura, existen diferentes tipos de sequía y varias formas de estudiar sus características mediante el uso de índices específicos aplicando un cierto número de indicadores vinculados a los datos disponibles y a la viabilidad de la investigación. La sequía se puede caracterizar en tres dimensiones: severidad, duración y distribución espacial, sin embargo, se pueden enumerar características adicionales para complementarlas como severidad, magnitud, frecuencia, estacionalidad, etc. (32). Asimismo, los índices de sequías más representativas son SPI, SPEI, BFI, NDVI, percentiles de precipitación, deciles, etc.

#### **2.2.2.6 Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)**

El índice SPI fue desarrollado por McKee, Doesken y Kleist (1993), basados en datos de precipitación. Este índice compara la precipitación con el valor promedio de múltiples escalas de tiempo en una distribución normal. Los valores por debajo de cero indican períodos secos y los valores por encima de cero indican condiciones de humedad. Para cualquier sequía dada, su puntaje en SPI representa el número de desviaciones del déficit acumulado de precipitación se desvía del promedio normalizado. Los autores de este índice proponen calcular el SPI en diferentes periodos mensuales 1, 3, 6, 9 y 12 según la aplicación (tabla 2).

**Tabla 2.** Fenómenos reflejados por índices de precipitación estandarizados (SPI) de duración específica y sus aplicaciones.

| <b>SPI duración</b> | <b>Fenómenos reflejados</b>                                | <b>Aplicación</b>  |
|---------------------|--|--|
| 1 mes SPI           | Condiciones a corto plazo                                  | Humedad del suelo a corto plazo y estrés de los cultivos (especialmente durante la temporada de crecimiento)   |
| 3 meses SPI         | Condiciones de humedad a corto y mediano plazo             | Una estimación estacional de la precipitación, refleja condiciones de humedad a corto plazo y medio plazo.   |
| 6 meses SPI         | Tendencia de la precipitación a medio plazo                | Potencial para mostrar la precipitación de manera efectiva en distintas estaciones, por ejemplo, el SPI de 6 meses puede indicar la cantidad de precipitación desde octubre hasta marzo. |
| 9 meses SPI         | Patrones de precipitación sobre una escala de tiempo media | Sí $SPI_9 < -1.5$ ; entonces es una buena indicación de que pueden ocurrir impactos sustanciales en la agricultura (y posiblemente en otros sectores)                                    |
| 12 meses SPI        | Patrones de precipitación a largo plazo                    | Posiblemente vinculados a caudales, niveles de agua embalses y también niveles de agua subterránea.  |

**Fuente: (33)**

Para muchos autores el SPI es considerado un índice potente y flexible, la precipitación es el único parámetro para su cálculo. Debido a su alta flexibilidad del SPI, este índice no requiere datos completos es decir se puede hacer el cálculo con datos ausentes. Teóricamente, la serie cronológica de precipitación debe ser completa; sin embargo, los cálculos del PSI devolverán un valor “nulo” si en caso no existiera datos suficientes para calcular el valor. Este índice es útil para determinar ciclos húmedos como secos. El SPI se puede calcular a partir de un registro de 20 años; sin embargo, muchos autores han establecido utilizar para este índice al menos 30 años de valores mensuales de precipitación, pero el óptimo sería contar entre 50 y 60 años (o más) aunque haya datos ausentes (34). Finalmente, se califica como un episodio de sequía cuando los resultados del SPI, para cualquier escala temporal que se analice alcanza valores de -1 (35).

#### **a. Descripción del SPI**

**Sinopsis:** El SPI está basada en la probabilidad de la precipitación para cualquier escala de tiempo, teniendo en cuenta la precipitación observada.

**Usuarios:** Es empleada por planificadores, instituciones de investigación, universidades y Servicios Meteorológicos e Hidrológicos.

**Ventajas:** La precipitación es el único parámetro necesario para el cálculo. Se puede calcular para distintas escalas temporales, además ofrece alerta temprana de la sequía y ayuda a evaluar su severidad.

**Inconvenientes:** Únicamente puede cuantificar el déficit de precipitación.

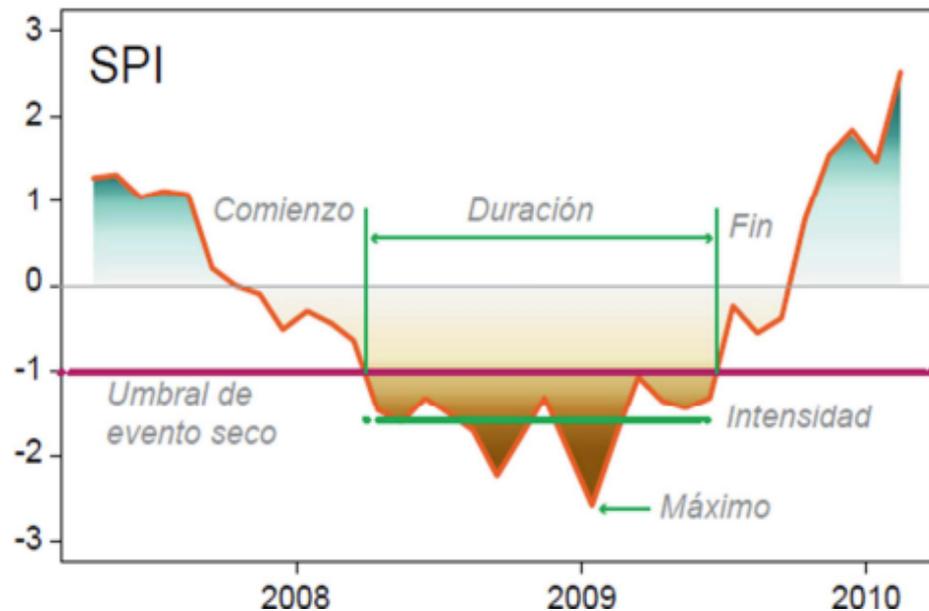
#### **b. Características de las sequías según el SPI**

Las sequías evaluadas con el SPI, muestran una serie de características las cuales se detallan a continuación.

##### **Intensidad, Duración y Severidad de una sequía**

Toda sequía presenta tres rasgos distintos: intensidad, duración y severidad. La intensidad refleja el déficit de precipitación y la gravedad de los efectos asociados a ese déficit. La magnitud, se determina en términos de la desviación estándar, respecto al patrón normal de los parámetros climáticos como la

precipitación o el nivel de los embalses. Otra característica esencial es la duración de la sequía en este caso se mide la longitud del evento. En la figura 10, la línea en color magenta indica el umbral siendo por debajo de esta la sequía. La magnitud del evento es el producto de la duración y la intensidad (área sombreada de color marrón debajo del umbral del evento seco).



**Figura 10.** Esquema de un evento de sequía

**Fuente:** (36)

## 2.2.3 Reserva Paisajista Nor Yauyos Cochas

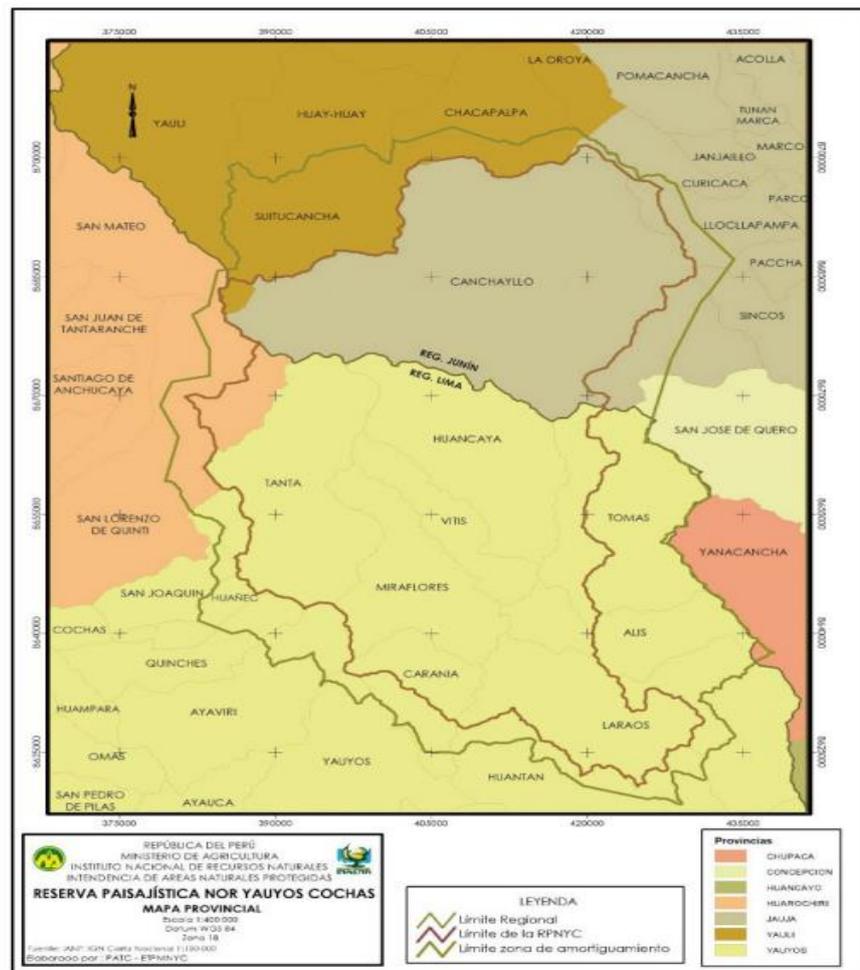
### 2.2.3.1 Breve descripción

En el año 2001, se creó la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas (RPNYC) mediante Decreto Supremo N° 033-2001-AG, cuenta con una superficie de 221 268,48 has, se encuentra localizada en la región andina central del Perú en las regiones de Lima y Junín. Del 100% de su superficie, el 62.1% se ubica en la Región Lima, provincia de Yauyos, comprende los distritos de Alis, San Lorenzo de Quinti, Tanta, Huancaya, Tomas, Vitis, Miraflores, Carania y Laraos; una superficie menor 37.9% se halla en la Región Junín, provincia de Jauja, en los distritos de Suitucancha, Llocllapampa y Canchayllo (figura 8 y 9). En ella se muestran dos áreas claramente diferenciadas al interior de la reserva y la zona de amortiguamiento que rodea a esta (figura 8):

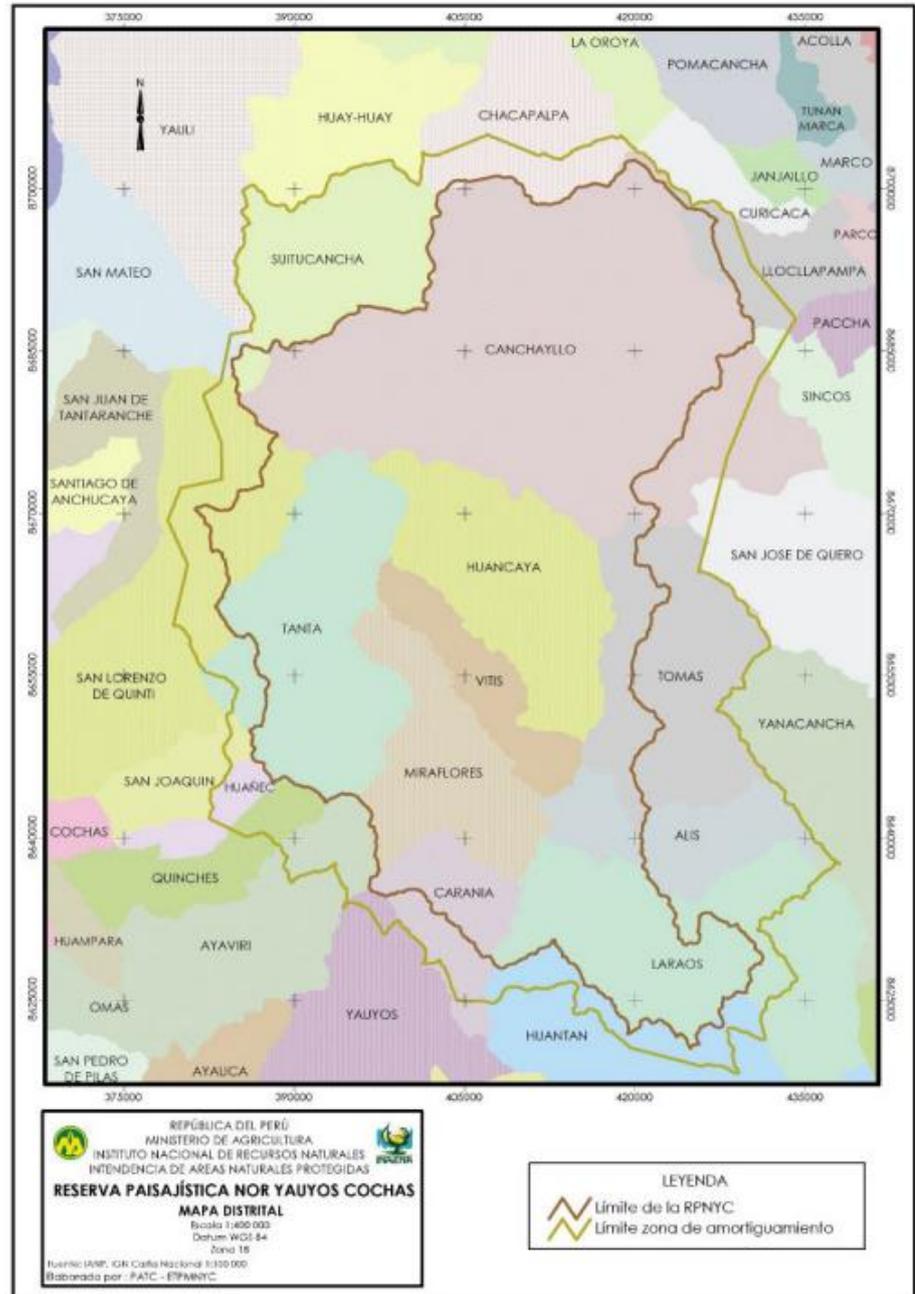
- i) La cuenca alta del río Cañete (Región Lima), con un área de 137,164.478 has de color amarillo.
- ii) La cuenca del río Cochas-Pachacayo (Región Junín), con una superficie de 84,104.003 has de color marrón claro.

El objetivo de su creación es la conservación de la cuenca alta del río Cañete y la cuenca del Río Pachacayo. Por lo tanto, de acuerdo a lo establecido por la ley de Áreas Naturales Protegidas (ANPs) y su reglamento, no podrán realizarse actividades incompatibles con dicho objetivo (37).

La reserva se encuentra en un rango altitudinal de los 2500 y 5750 msnm (cumbre del nevado Pariacaca), apreciándose en el área nevados, lagunas, humedales altoandinos (llamados también bofedales), cascadas, rodales de puya, bosques altoandinos (bosques de lloque, karkag, y queñua), restos arqueológicos; creando paisajes de gran belleza (37).



**Figura 11.** Mapa Provincial de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas  
**Fuente:** (38)



**Figura 12.** Mapa Distrital de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas

**Fuente:** (38)

### a. Geomorfología

Predomina el paisaje montañoso moderadamente empinadas y fuertemente empinadas de origen estructural sobre todo al sur de la RPNYC en las partes altas de la cuenca del río Cañete, seguido en menor porcentaje por fondos de valle glaciar, laderas de origen glaciar, también se puede apreciar colinas inter montañosas fuertemente y moderadamente empinadas. Otro paisaje de la RPNYC es el fondo de valle glaciar que se inicia en la parte alta notándose en la parte baja de la cuenca una sección transversal en forma de “V”, (39). Las principales unidades morfológicas son descritas en la tabla 3.

**Tabla 3.** Principales unidades geomorfológicas de la RPNYC

| Origen       | Tipo de paisaje | Unidad geomorfológica                                       | Simbología | Superficie |      |
|--------------|-----------------|---|------------|------------|------|
|              |                 |   |            | ha         | %    |
| Glaciar      | Glaciar         | Fondo de valle glaciar                                      | Fyg        | 17 580.46  | 7.95 |
| Lacustre     | Lacustre        | Superficie plana ondulada de origen lacustre                | Spol       | 323.99     | 1.46 |
|              |                 | Superficie plana inclina de origen glaciar                  | Spig       | 2 083.99   | 0.94 |
| Denudacional | Glaciar         | Sistema de laderas de origen glaciar fuertemente erosionada | Slgfe      | 5 44.38    | 2.46 |
|              | Colinoso        | Colinas inter montañosas                                    | Coim       | 1 415.08   | 0.64 |
|              |                 | Laderas de montaña moderadamente empinada                   | Lmme       | 11 286.54  | 5.10 |
|              |                 | Ladera de montaña   | Lmfe       | 17 644.44  | 7.96 |

|             |           |  |      |           |       |
|-------------|-----------|--|------|-----------|-------|
|             |           | fuertemente empinada                       |      |           |       |
| Estructural | Montañoso | Vertiente montañosa moderadamente empinada | Vmme | 53 013.81 | 23.96 |
|             |           | Vertiente montañosa fuertemente empinada   | Vmfe | 96 295.14 | 43.53 |
|             |           | Cima de montaña erosionada                 | Cme  | 2 839.93  | 1.28  |
| Otros       |           | Nevados                                    | N    | 6 670.89  | 3.01  |
|             |           | Lagos - lagunas                            |      | 3 787.15  | 1.71  |
|             |           | Total                                      |      | 221264.00 | 100.0 |

**Fuente: (39)**

**b. Ecología (zonas de vida)**

De acuerdo a la clasificación de Holdrige, en el sector de Nor Yauyos y Cochas – Pachacayo, se identificó 6 zonas de vida con diferentes características de precipitación, temperatura y vegetación predominante (tabla 4). Mientras que en el distrito de Canchayllo, Llocllapampa y Suitucancha provincia de Jauja y Yauli, se han identificado dos pisos ecológicos (tabla 5) (39).

**Tabla 4.** Zonas de vida en la RPNYC

| Zona de Vida                                   | Rango de Altitud | Tipo de vegetación   |
|--|------------------|--|
| Estepa espinosa Montano Bajo Tropical (ee-MBT) | 2000-3100        | Asociaciones conformadas por arbustos espinosos y algunas especies arbóreas. |

|  |           |   |
|--|-----------|---|
| Estepa Montano Tropical (e-MT)                 | 2800-3800 | Asociaciones de árboles y matorrales arbustivos.  |
| Bosque húmedo-Montano Tropical (bh-MT)         | 2800-3800 | Arbóreo arbustivo en las zonas más altas cercanas al páramo, algunas especies arbóreas y gramíneas.                     |
| Páramo muy húmedo-subalpino Tropical (pmh-SaT) | 3900-4500 | Vegetación representada por pajonales de puna, en los primeros niveles y rodales de arbustos y árboles.                 |
| Tundra pluvial-Alpino Tropical (tp-AT)         | 4300-5000 | Especies hemicroptofíticas entremezcladas con lagunas gramíneas efímeras del género <i>Stipa</i> de desarrollo reducido |
| Nival tropical (NT)                            | 500-5800  | No se conocen especies adaptables.  |

**Fuente: (39)**

**Tabla 5.** Pisos ecológicos de Canchayllo

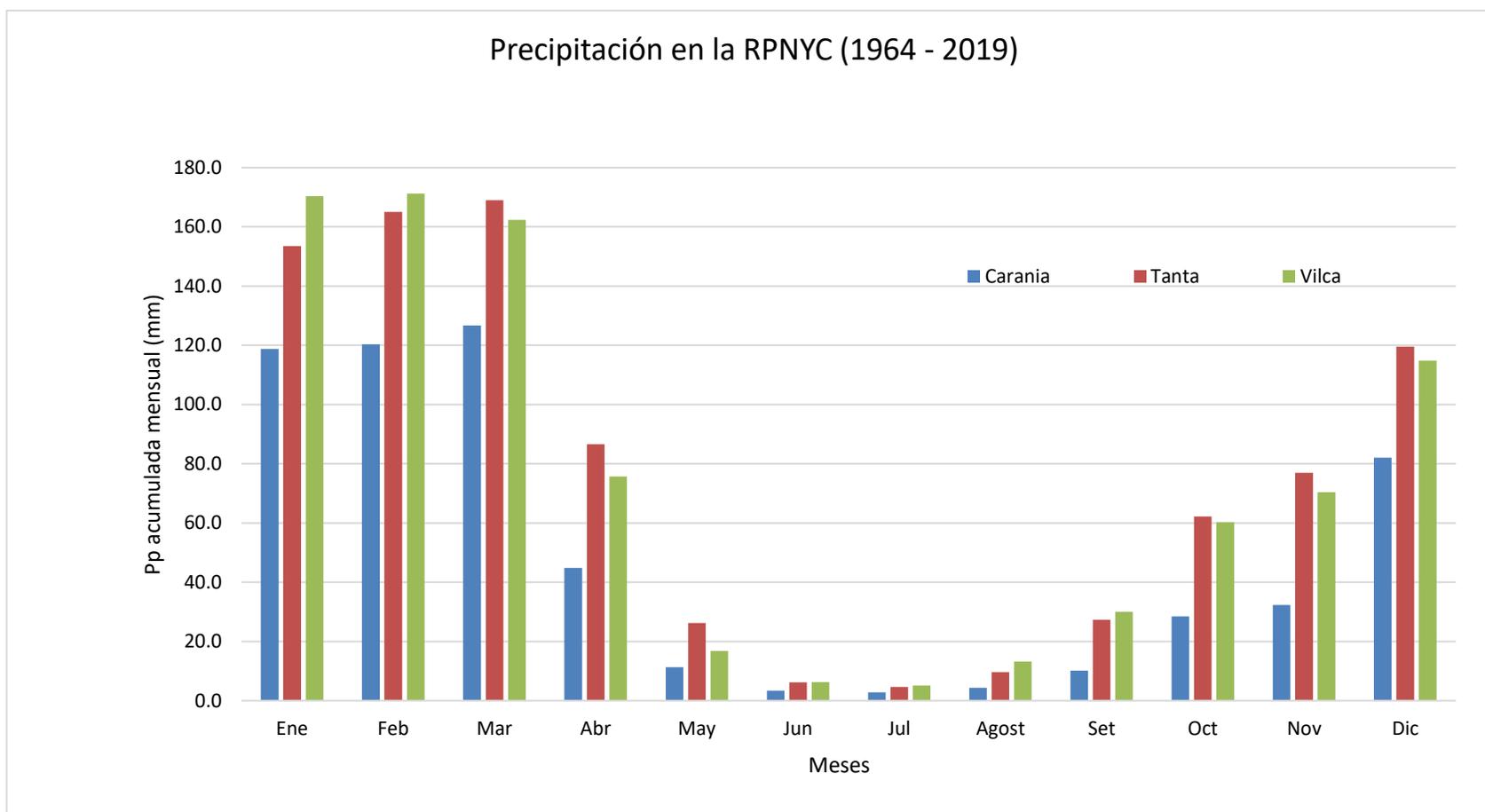
| Pisos ecológicos  | Descripción  |
|-------------------|--|
| Zona Suni o Jalca | Comprende entre los 3600 a 4100 msnm                           |
| Zona Puna         | Entre los 4100 a 5700 msnm, destinada a la actividad pecuaria. |

**Fuente: (39)**

### c. Clima

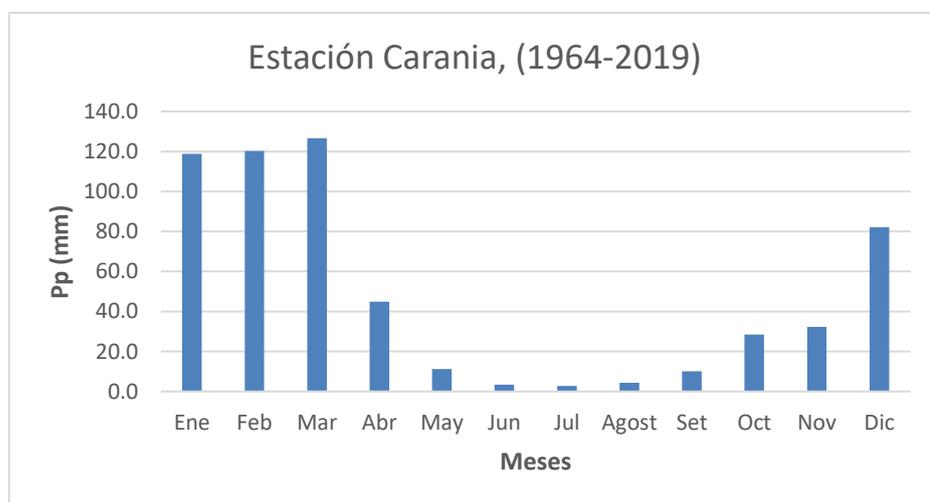
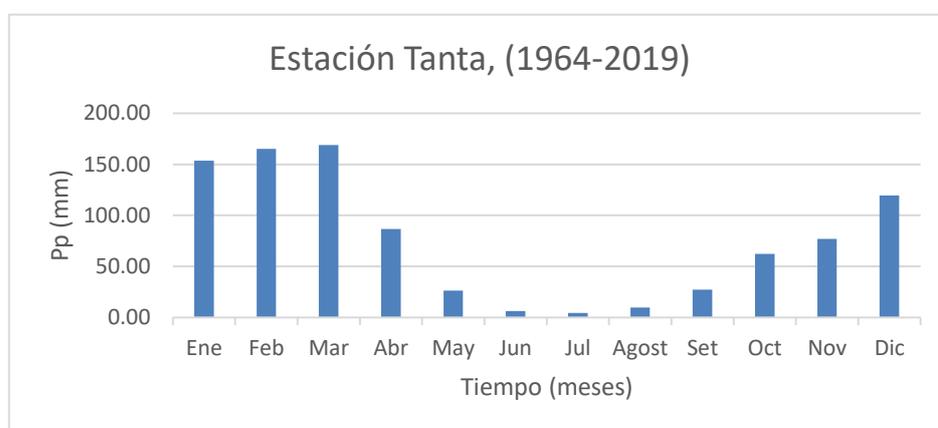
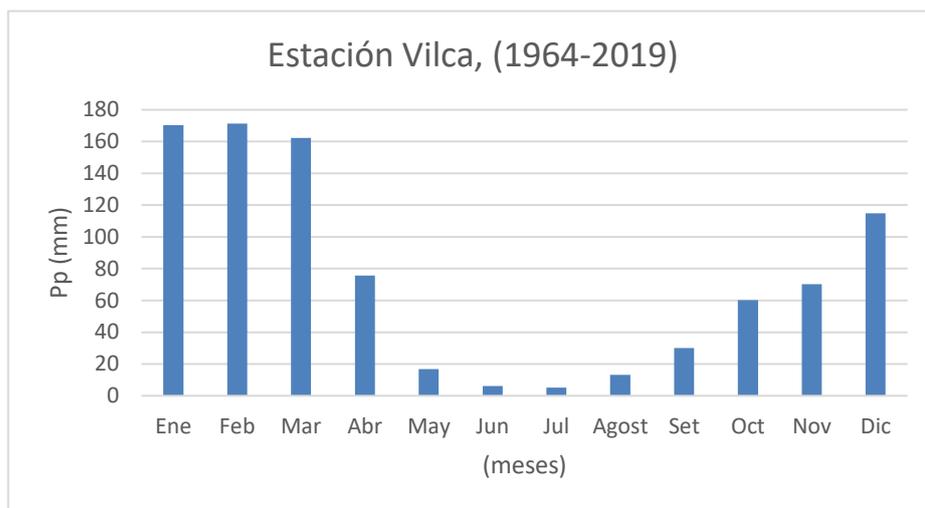
En la reserva, el clima es variable y dependen de la altitud y orientación de los cerros. La variación también se da a lo largo del tiempo. La precipitación se incrementa a mayor altitud siendo los promedios entre 500 a 1000 msnm, registrándose mayores precipitaciones entre los meses de octubre a marzo, mientras que la época seca o de estiaje son de abril a setiembre, (figura 10, 11 y 12). Las heladas se presentan a altitudes por encima de 3450 msnm.

En la zona de Cochas-Pachacayo, el clima es muy frío y subhúmedo; en las cumbres nevadas el clima es de tipo glacial (clima de Nieve Perpetua de Alta Montaña, según la clasificación de Köppen); en las punas el clima es helado (Tundra seca de Alta Montaña), según la misma clasificación. En la parte baja de la cuenca del río Cochas o Pachacayo, el clima es de tipo frío (Boreal), caracterizado por inviernos secos y temperatura media encima a los 10°C (38).



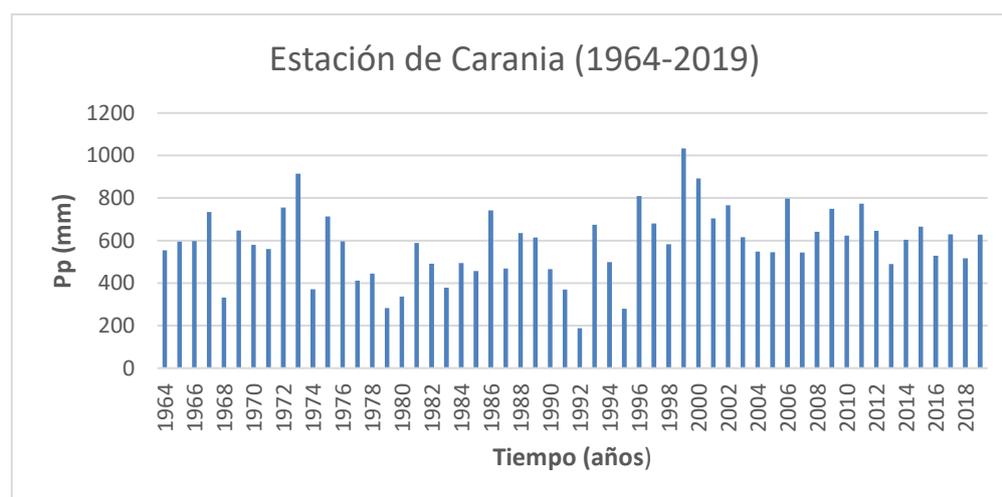
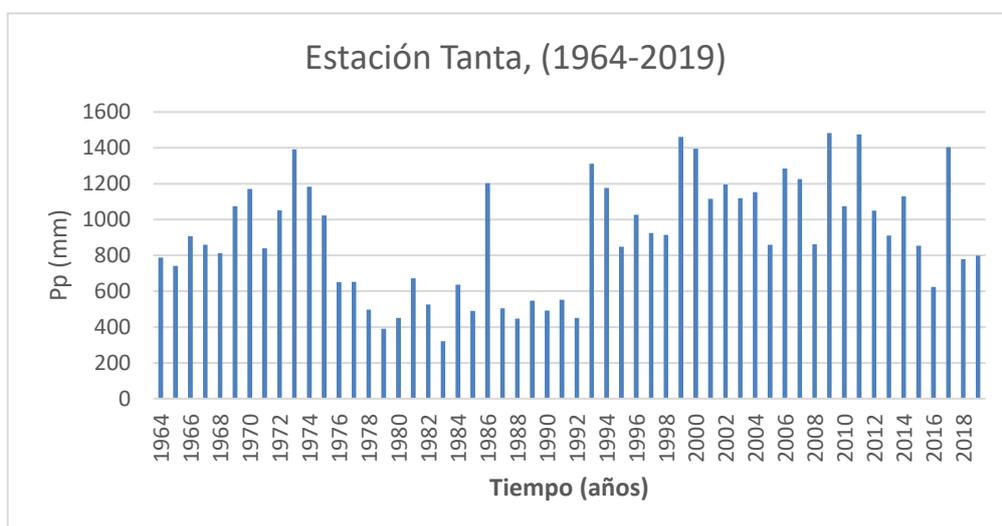
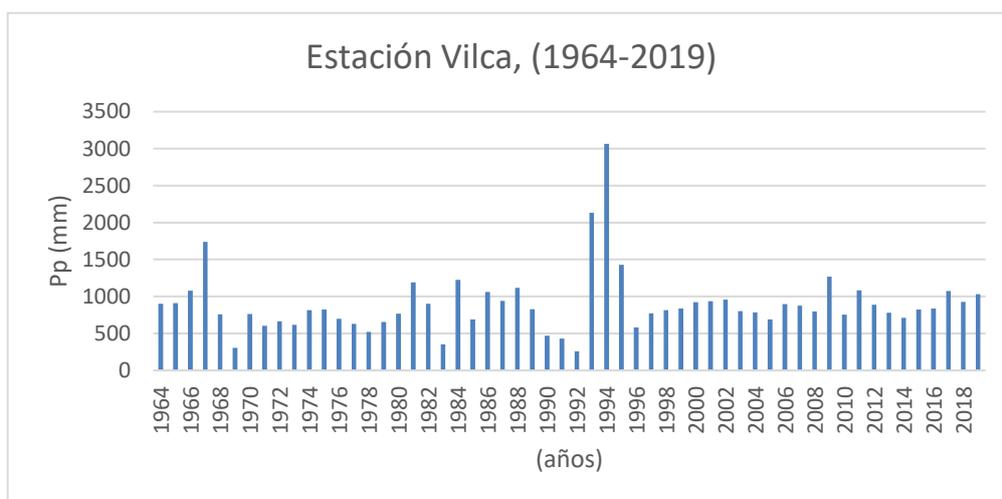
**Figura 13.** Distribución mensual acumulada de la precipitación (mm) en las estaciones de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.

**Fuente:** Elaborado en base a los datos proporcionados el SENAMHI



**Figura 14.** Distribución mensual acumulada de la precipitación en las Estaciones de Vilca, Tanta y Carania de la RPNYC

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 15.** Distribución anual acumulada de la precipitación en las estaciones de Carania, Vilca y Tanta de la RPNYC

**Fuente:** Elaborado en base a los datos proporcionados por el SENAMHI

#### **d. Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos (SE) son beneficios que la población obtienen de los ecosistemas, ya sea en forma directa, como provisión de agua, pastos, alimentos y servicios de regulación; pero también tenemos los de forma indirecta que está relacionado con el funcionamiento del ecosistema (fotosíntesis, ciclo de nutrientes, asimilación del suelo, entre otros); asimismo ofrecen valores estéticos, espirituales, culturales y oportunidades de recreación (40). Los servicios ecosistémicos en la RPNYC son siete: belleza paisajística para el turismo, existe atractivos naturales y culturales; fibra animal, que se obtiene de la esquila de las vicuñas; proteína animal que se obtiene de la pesca de truchas para el autoconsumo; pastos naturales utilizados como forraje para los animales; plantas medicinales; combustible vegetal la cual se obtiene de las ramas de los árboles y arbustos; suelo agrícola que produce cultivos andinos.

#### **e. El impacto de los eventos extremos**

Las variaciones del clima en la RPNYC podrían tener efectos en la provisión de los SE al 2030 resultando positivo para las plantas medicinales, belleza paisajística y combustible vegetal; neutro en suelos agrícolas (cultivos de oca y papa); negativo para fibra (vicuñas), proteína animal (truchas) y pastos naturales (41)

### **2.3 Definición de términos básicos**

#### **Año hidrológico**

El inicio del año hidrológico puede variar entre una región y otras, incluso dentro de un mismo país. El comienzo suele presentarse en setiembre u octubre; en el Perú el año hidrológico empieza el 1 de setiembre de cada año y culmina el 31 de agosto según el SENAMHI.

#### **Área natural protegida**

Son áreas marinas o continentales del territorio nacional, reconocidas formalmente para conservar la biodiversidad y los demás valores asociados al interés científico, cultural y paisajístico (38).

#### **Áreas protegidas**

Son superficies representativas biogeográficas relevantes de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por acción del hombre, en la que habitan especies consideradas endémicas, amenazadas, o en peligro de extinción (42)

### **Clasificación climática**

Está referido a la división de los climas de la Tierra en un sistema mundial de regiones contiguas, caracterizada cada una por la uniformidad de los elementos climáticos (43).

### **Clasificación de los climas de Köppen**

La clasificación climática se basa en las medias anuales y mensuales de la temperatura y la precipitación; así misma toma en cuenta los límites de vegetación (43)

### **Humedal**

Humedales son zonas en donde el agua es el factor que controla este tipo de ambiente. Asimismo, los humedales son zonas de transición entre un sistema acuático y terrestre; algunos son de inundación temporal y otros son permanentes.

Según la Convención Ramsar los humedales son de origen natural y artificial, en el primero tenemos a pantanos, marismas, lagos, ríos, turberas, oasis, estuarios y deltas mientras que en el segundo están los embalses y salinas, etc. (44)

### **Rodales**

Se refiere a una comunidad arbórea que posee cierta uniformidad como tipo, edad, clase, vigor, tamaño y densidad en relación a una comunidad de vegetación adyacente.

### **Silvicultura**

Es el arte y la ciencia para hacer crecer los árboles para ciertos objetivos; como para la producción de madera para aserrar, papel o leña, pero también los objetivos pueden incluir los de protección de una cuenca o mejorar el hábitat de la vida silvestre. También se refiere al cultivo y el aprovechamiento racional del bosque, cultivar implica fomentar, cuidar, y dirigir para obtener beneficios tanto de en productos como en servicios (42)

### **Servicios ecosistémicos**

Según el informe de Ecosistemas del Milenio (MEA- 2003-2005), señala que son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la diversidad biológica. Esta agrupada en cuatro categorías: aprovisionamiento, son bienes o productos que los ecosistemas brinda como alimentos, agua, los recursos genéticos, forestales, etc.; de regulación referido a los procesos que inciden en el clima, las inundaciones y la calidad del agua; culturales referido a bienes no materiales como el enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, la reflexión, la estética, la recreación; de soporte, referida a los

procesos ecológicos necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos tales como la producción primaria, formación del suelo y el ciclado de nutrientes (45)

**Vida silvestre**

Animales y plantas que se encuentran en la naturaleza (42).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Método y alcances de la investigación

##### 3.1.1 Método de la investigación

###### 3.1.1.1 Método general o teórico de la investigación

El método utilizado fue **hipotético deductivo**, este es el procedimiento o camino que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. El método tiene varios pasos esenciales tales como: la observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos. La observación y la verificación requieren de la experiencia, es decir, en un proceso empírico; mientras que el planteamiento de hipótesis y la deducción son racionales.

En la investigación se asume la premisa de que en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba se presentan sequías de intensidades moderada, severa y extrema como consecuencia de factores naturales y antropogénicos.

###### 3.1.1.2 Método específico de la investigación

La investigación utilizó el método del Índice de precipitación estandarizada (SPI), por sus siglas en inglés, el método fue creado por McKee y otros en los años de 1993 y 1995, para el cálculo es necesario solo datos de precipitación mensual y como mínimo 30 años (35).

##### 3.1.2 Alcances de la investigación

###### 3.1.2.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es **aplicado**, esta investigación recibe el nombre también de investigación práctica o empírica porque busca la aplicación de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros después de un proceso de investigación. Tiene como fin resolver problemas de la vida cotidiana o controlar situaciones prácticas (46).

En el estudio se aplica las bases teóricas sobre las sequías y precipitación en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabamba.

### **3.1.2.2 Nivel de investigación**

El nivel fue **descriptivo**, este estudio recibe también el nombre de alcance descriptivo, debido que con esta se busca describir las propiedades, características, tendencia de fenómenos o situaciones (47)

En la investigación se describe las sequías sucedidas en la RPNYC durante los años del 1964 al 2019.

## **3.2 Diseño de la Investigación**

### **3.2.1 Tipo de diseño de investigación.**

El diseño aplicado a la investigación es no experimental transeccional. Los estudios con diseños no experimentales se realizan sin la manipulación de la variable, en esta investigación se observa y analiza el fenómeno de la forma en que se presenta. Asimismo, es transeccional o también llamado transversal porque los datos se recolectan en un momento (47). Para la investigación los datos descargados de precipitación de tres estaciones ubicadas en la RPNYC, de la página web del SENAMHI, fueron observados y analizados sin ser manipulados deliberadamente.

## **3.3 Población y muestra**

### **3.3.1 Población**

La población estuvo constituida por los datos de precipitación mensual acumulada registradas en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.

### **3.3.2 Muestra**

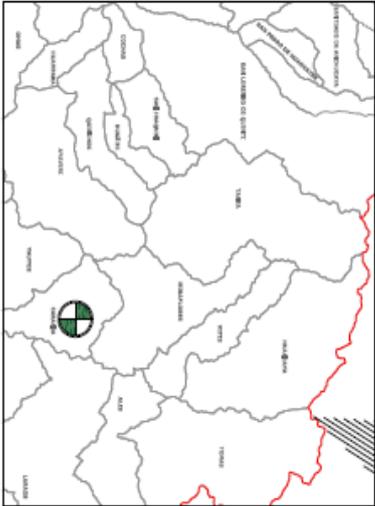
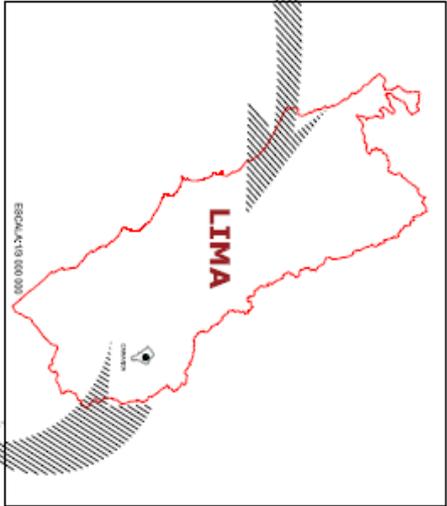
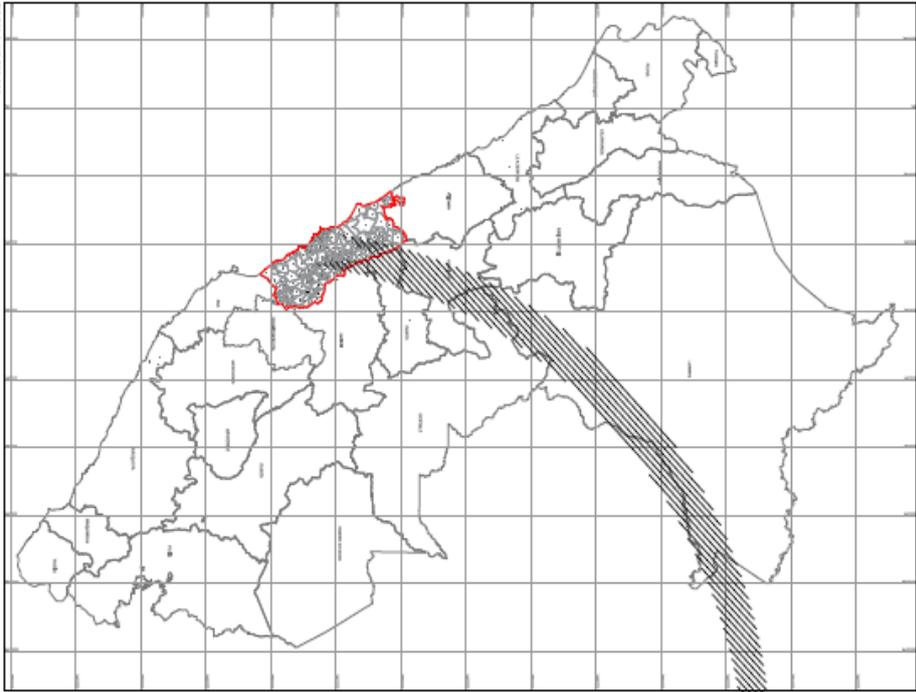
La muestra fue no probabilista o dirigida, se seleccionó las estaciones que contaron que datos históricos de precipitación mensual acumulada mayor a 20 años.

**Tabla 6.** Información de las estaciones meteorológicas en estudio.

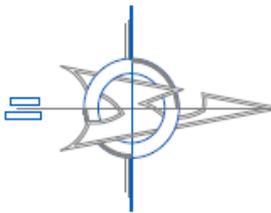
| <b>Estación</b> | <b>Distrito</b> | <b>Provincia</b> | <b>Departamento</b> | <b>Altitud<br/>msnm</b> | <b>Periodo</b> |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------------|-------------------------|----------------|
| Tanta           | Tanta           | Yauyos           | Lima                | 4323                    | 1964 - 2019    |
| Vilca           | Huancaya        | Yauyos           | Lima                | 3832                    | 1964 – 2019    |
| Carania         | Carania         | Yauyos           | Lima                | 3840                    | 1964 - 2019    |

**Fuente:** Elaboración propia

**PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN - DEPARTAMENTAL Y DISTRITAL**



N. M.



| CORDENADAS |   |            |               |
|------------|---|------------|---------------|
| +          | N | 685320.330 | E: 405177.485 |
|            | Z | 5078.000   | ZONA VII      |

| LEYENDA |                                 |                              |                        |
|---------|---------------------------------|------------------------------|------------------------|
| +       | ESTACION METEOROLOGICA          | COMANDO EN JEFE FUERZA AEREA | ESTACION METEOROLOGICA |
| ○       | ESTACION METEOROLOGICA CASAPITA | ESTACION METEOROLOGICA       | ESTACION METEOROLOGICA |

**ESTACION METEOROLOGICA CASAPITA**

**PROYECTO:** "TRABAJOS DE RECONSTRUCCION DE LA RED DE ESTACIONES METEOROLOGICAS EN EL AREA METROPOLITANA DE LIMA"

**PROYECTO:** "TRABAJOS DE RECONSTRUCCION DE LA RED DE ESTACIONES METEOROLOGICAS EN EL AREA METROPOLITANA DE LIMA"

**DISEÑADO POR:** ELABORACION PROPIA

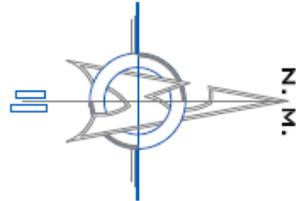
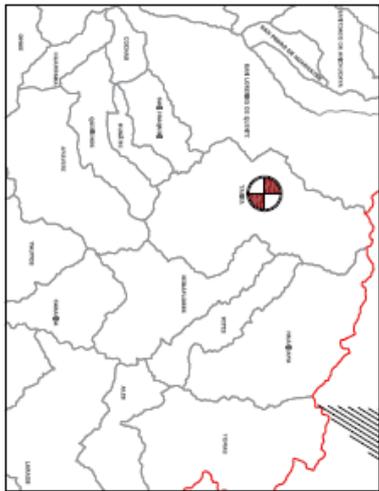
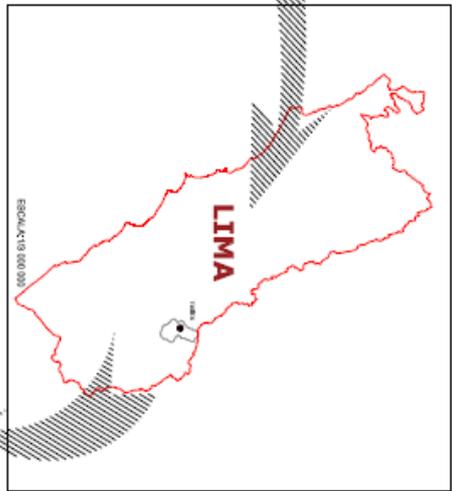
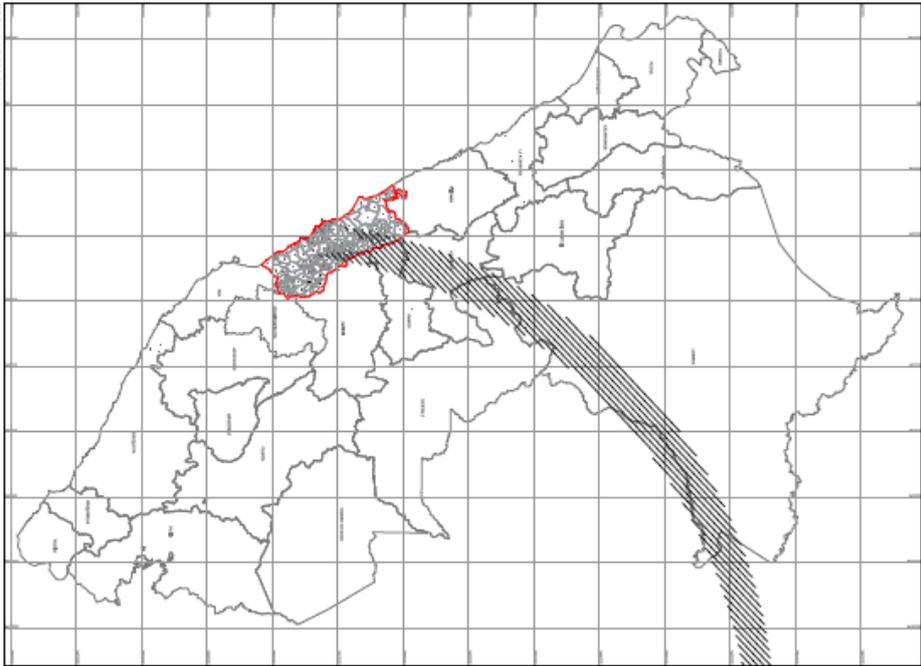
**FECHA:** 29/NOVIEMBRE/2023

**ESCALA:** INDICADA

**PROYECTO:** UL-C

○ Estación Carania

**PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN - DEPARTAMENTAL Y DISTRITAL**



|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| <b>CORDENADAS</b> |                 |
| UTM               | 12-886033N-570  |
| UTM               | 22-4020-0000000 |
| ZONA              | 18S             |

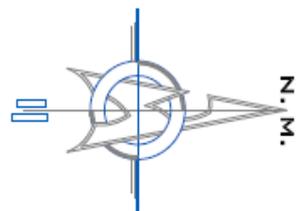
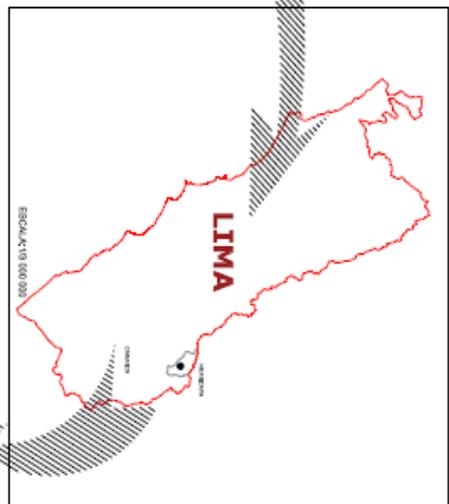
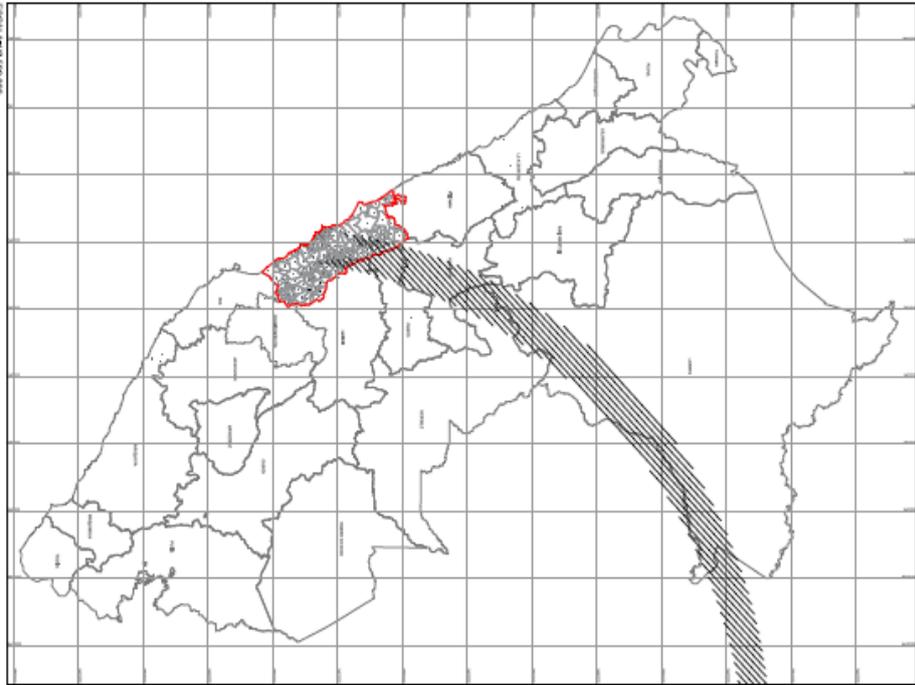
|                |                              |
|----------------|------------------------------|
| <b>LEYENDA</b> |                              |
| +              | ESTACION METEOROLOGICA TANTA |
| ○              | ESTACION METEOROLOGICA TANTA |
| ▨              | DEPARTAMENTO DE LIMA         |
| ▨              | DISTRITO DE TANTA            |

**ESTACION METEOROLOGICA TANTA**  
**PROYECTO:** PRODUCCION Y LOCALIZACION DE ESTACION METEOROLOGICA  
**PROPOSITO:** "Realizar estudios técnicos en la zona para determinar la ubicación de la estación meteorológica utilizando el nivel de precipitación promedio anual (1971-2017)"

**ELABORADO POR:** ELABORACION PROPIA  
**FECHA:** 29/NOVIEMBRE/2023  
**ESCALA:** INDEFINIDA  
**INDICACION:** UL-T

○ Estación Tanta

**PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN - DEPARTAMENTAL Y DISTRITAL**



|                  |               |
|------------------|---------------|
| CORDENADAS       |               |
| N: 980264.720    | E: 410082.245 |
| Z: 2020 D.M.A.M. | ZONA 10.      |

|         |                        |
|---------|------------------------|
| LEYENDA |                        |
| +       | ESTACION METEOROLOGICA |
| +       | ESTACION METEOROLOGICA |
| +       | ESTACION METEOROLOGICA |

**ESTACION METEOROLOGICA VILCA**

**PLANO: UBICACION Y LOCALIZACION DE ESTACION METEOROLOGICA**

**PROYECTO:** "ANEXO METEOROLOGICO EN LA GERENCIA METEOROLOGICA NOR OESTE CON SU UTILIZACION EN EL SERVICIO METEOROLOGICO EN SU"

ELABORADO POR: ESTACION PROPIA

FECHA: 29/NOVIEMBRE/2023

ESCALA: 1:100000

INSTITUCION: UL-V

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL VALLE  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS METEOROLOGICOS



### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

Las técnicas del acopio o recolección de datos son instrumentos que se utilizan en todo proceso de investigación con el objetivo de reunir de forma organizada la información para luego ser evaluada. Las técnicas de recolección de información se clasifican en cualitativas, cuantitativas y mixtas; la primera busca recolectar datos numéricos o exactos; mientras que la segunda, su objetivo es buscar información sobre el contexto y la última recolecta información tanto cualitativa como cuantitativa a la vez (48). La investigación uso técnicas cuantitativas, se buscó datos precisos de la precipitación sucedida entre los años 1964 al 2019 en el área comprendida de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.

#### **3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

- a. Observación,** con este instrumento se observó de acuerdo a los objetivos planteados, cómo se presentó el fenómeno de la precipitación y las sequías.
- b. Documentos y registros,** fue útil debido a que los datos fueron obtenidos de la base de datos del portal del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología; los informes y registros fueron seleccionados, para luego analizar la información útil para la investigación.

### **3.5 Procedimiento**

Para la determinación temporal de la sequía se siguió el procedimiento que se describe a continuación y también se observa en la figura 14.

#### **a. Estimación de las series mensuales de precipitación**

Los datos diarios fueron descargados de la página web del SENAMHI, en hojas de cálculo Excel, se halló la sumatorio para cada mes obteniendo una serie mensual para cada estación desde 1964 hasta el 2019, (Anexo 1, 2 y 3).

#### **b. Determinación de parámetro estadísticos**

La serie histórica de la precipitación total mensual de las estaciones Meteorológicas de Vilca, Estación Automática de Carania y la estación de Tanta, para un periodo de 56 años se determinó los estadísticos de media y varianza (Anexo 4).

### b.1 Media aritmética

Muestra la tendencia central de la distribución de los datos y se determinó con la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

### b.2 Varianza

Mide la variabilidad de los datos, el valor fue estimado a partir de la muestra de datos con la siguiente fórmula:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

A partir de la varianza se halla la desviación estándar, que es una medida de variabilidad que tiene las mismas dimensiones que la media, se halló sacando la raíz cuadrada de la varianza, y se estima por S.

$$S = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

## c. Análisis de consistencia de la información pluviométrica

El análisis de consistencia permitió detectar, corregir y eliminar errores sistemáticos y aleatorios que se presentaron en la serie de datos.

- Los errores aleatorios, suelen presentarse por mala lectura, mal funcionamiento del instrumento, errores de copia etc.
- También se presentan los errores sistemáticos, estos son de gran importancia, en este caso los datos pueden ser incrementados o reducidos sistemáticamente causado por fenómenos naturales u ocasionados por el hombre como (toma de datos erróneos, cambio de instrumento etc.), la no homogeneidad suele presentarse a través de saltos “jump” indicando cambios bruscos.

### Análisis de saltos:

Se realiza desde dos puntos de vista:

- Análisis visual de la distribución
- Análisis estadístico

#### c.1 Análisis visual de la distribución

Consiste en analizar visualmente la información histórica de la distribución de la precipitación total mensual, para identificar el periodo o periodos dudosos, lo cual se puede reflejar como saltos y/o tendencias.

El análisis se puede hacer de la siguiente manera:

- Cuando se tiene estaciones vecinas, se compara la distribución y se determina el periodo que varía notoriamente uno respecto al otro.
- En el caso de una sola estación, se divide en varios periodos y se compara.
- En lo posible mantener el periodo más largo como el más confiable.

#### c.2 Análisis estadístico

Una vez obtenido el análisis de distribución de la precipitación se mantienen los datos sin ser modificados y se procede a analizar estadísticamente tanto en la media como en la desviación estándar.

- **Consistencia de la media**

Para ello se utilizó la prueba estadística de “Tt” de Student, la prueba analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

Prueba estadística “T”

Planteamiento de la hipótesis:

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$  (media poblacional)

Ha:  $\mu_1 \neq \mu_2$

$\alpha$ : 0.05

Cálculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios:

$$S_d = S_p \times \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{((n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2)}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Donde:

Sd : Desviación estándar de las diferencias de los promedios.

Sp : Desviación estándar ponderada

n1 : Número de datos del primer periodo

n2 : Número de datos del segundo periodo

S1<sup>2</sup> : Varianza del primer periodo

S2<sup>2</sup> : Varianza del segundo periodo

Cálculo del valor de Tc, según:

$$T_c = \frac{[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)]}{S_d}$$

Donde  $\mu_1 - \mu_2 = 0$ , por hipótesis

Hallar el valor de “T” de las tablas de T de Student con:

N.C = con 95% de probabilidad

$\alpha = 0.05$

G.L. =  $n_1 + n_2 - 2$

Donde:

G.L. = grados de libertad

Tt = T tabulado

Tc = T calculado

Conclusión:

Si  $(T_c) \leq T_t (95\%) \rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$  (estadísticamente)

$\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$

Si  $(T_c) > T_t (95\%) \rightarrow$  en este caso se debe corregir la información

- *Consistencia de la desviación estándar*

El análisis de consistencia para la desviación estándar se realiza mediante la prueba estadística de “F” de Fisher, si las desviaciones estándar ( $s_1$  y  $S_2$ ) de las sub muestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de nivel de significancia.

Prueba estadística de F:

Planteamiento de la hipótesis

Planteamiento de las hipótesis

Ho :  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (varianzas poblacionales)

Ha :  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$\alpha$  : 0.05

Cálculo de  $F_c$ , según

$$F_c = \frac{S_1(x)}{S_2(x)}, \text{ si. } S_1(x) > S_2(x)$$

Hallar el:

$$F_c = \frac{S_2(x)}{S_1(x)}, \text{ si. } S_2(x) > S_1(x)$$

Valor de  $F_t$ , en las tablas con:

N.C. = 95% de probabilidad

$\alpha$  = 0.05

G.L.N. =  $n_1 - 1$

G.L.D =  $n_2 - 1$

Donde:

$F_c$  = valor de F calculado

$F_t$  = valor de F tabulado

$\alpha$  = nivel de significación

G.L.N. = grados de libertad de numerador

G.L.D. = grados de libertad del denominador

Conclusiones:

Si  $F_c \leq F_t$  (95%)  $\rightarrow S_1(X) = S_2(X)$  (estadísticamente)

Si  $F_c > F_t$  (95%)  $\rightarrow S_1(X) \neq S_2(X)$  (estadísticamente) en este caso se debe corregir la información.

#### d. Corrección de la información

Si los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, entonces la información original no se corrige por ser consistente con el 95% de probabilidad. En caso contrario se debe corregir los datos de las sub muestras con las siguientes ecuaciones.

Para corregir el primer periodo, se emplea la ecuación siguiente:

$$X'(t) = \left( \frac{X_t - \bar{x}_1}{S_1} \right) \times (S_2 + \bar{x}_2)$$

Para corregir el segundo periodo:

$$X'(t) = \left( \frac{X_t - \bar{x}_2}{S_2} \right) \times (S_1 + \bar{x}_1)$$

Donde:

$X'(t)$  = valor corregido de la información

$X_t$  = valor a ser corregido

#### e. Bondad de la información corregida

Para comprobar la información corregida se hace la prueba estadística T y F respectivamente, cuyos resultados deben ser confiables con el 95% de probabilidad de aceptación.

**f. Índice de precipitación estandarizado (SPI)**

El índice de precipitación estandarizada se basa en un análisis que permite determinar anomalías en el régimen de humedad del lugar donde se toman los datos históricos de la precipitación.

Se determinó a través de la distribución de Gamma propuesta por Thom en 1966 para la realización de ajustes en series temporales de precipitación (Anexo 5). La distribución Gamma se define por su frecuencia o función de densidad de probabilidad.

$$g_{(X)} = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma_{(\alpha)}} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \dots\dots\dots x > 0$$

Donde:

$\alpha > 0$  Es un parámetro de uniformidad

$\beta > 0$  Es un parámetro de escala

$X > 0$  Es la cantidad de precipitación

$$\Gamma_{(\alpha)} = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

$\Gamma_{(\alpha)}$  Es la función de distribución Gamma.

El cálculo de SPI se ajustó a la función de densidad de probabilidad Gamma para una distribución de frecuencias de las tres estaciones. Los parámetros alfa y beta de la función de densidad de probabilidad de Gamma fueron estimados para las escalas de (3 meses, 6 meses, y 9 meses) para cualquier mes del año (Figura 15). Los parámetros alfa y beta se calcularon aplicando las siguientes relaciones.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{X}{\alpha} \dots$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

Donde:

n= Es el número de datos de precipitación

X = Variable en estudio

Los parámetros resultantes fueron usados para encontrar la probabilidad acumulada de la precipitación observada para el mes y escala de tiempo dado de una determinada estación. La probabilidad acumulada es dada por:

$$G_{(x)} = \int_0^x g_{(x)} dx = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

Suponiendo que  $t = x / \beta$ , la ecuación anterior sería la función gamma incompleta:

$$G_{(x)} = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

El rango de aplicación de la función gamma está definido para valores mayores a cero; sin embargo, los registros de precipitación pueden contener dichos valores, en los periodos de sequía. Si el registro de precipitaciones presenta un valor cero, la probabilidad acumula según la función gamma es cero, lo cual no es correcto; en un registro se pueden presentar  $m$  valores de precipitaciones iguales a cero, entonces la probabilidad de que aparezca dicho valor es la siguiente  $m/n$ ; donde  $n$  es el número total de años de registro, dicha probabilidad se la denomina  $q$ , entonces la probabilidad acumulada de que se presente un valor de precipitaciones igual a cero es:

$$H_{(x)} = q + (1 - q)G_{(x)}$$

Posterior a ello se determinó el valor de  $z$  de la función de distribución normal con media cero y varianza de uno para la probabilidad acumulada calculada. El valor  $Z$  se halló aplicando las siguientes relaciones:

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{C_0 + C_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t + d_3 t} \right) \dots t = \sqrt{\ln \frac{1}{H_{(x)}}} \dots \dots \dots 0 < H_{(x)} \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left( t - \frac{C_0 + C_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t + d_3 t} \right) \dots t = \sqrt{\ln \frac{1}{(1 - H_{(x)})}} \dots \dots \dots 0.5 < H_{(x)} \leq 1$$

Donde:

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802853$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$D1 = 1.432788$$

$$D2 = 0.189269$$

$$D3 = 0.001308$$

#### g. Categorización de la intensidad del SPI

El valor z encontrado es el valor del índice de precipitación estandarizado (SPI). El valor cero es el valor medio, los valores positivos indican precipitaciones por encima del promedio y los valores negativos indican menores precipitaciones que la media. Para la clasificación de la intensidad de los valores obtenidos de la sequía por el método de SPI se utilizó la tabla 6.

**Tabla 7.** Clasificación del SPI o IPE

| Valores de SPI | Categoría                       |
|----------------|---------------------------------|
| 2,0 a más      | Extremadamente húmedo           |
| 1,5 a 1,99     | Muy húmedo                      |
| 1,0 a 1,49     | Moderadamente húmedo            |
| -0,99 a 0,99   | Normal o aproximadamente normal |
| -1 a -1,49     | Moderadamente seco              |
| -1,50 a -1,99  | Severamente seco                |
| -2 a menos     | Extremadamente seco             |

Fuente: (49)

#### h. Determinación de la Frecuencia, Duración, Magnitud y Valor extremo de la sequía

##### h.1 Frecuencia

El número de eventos producidos en las diferentes categorías, se obtiene al dividir el número de veces que se presentó un evento de categoría x, dividido entre el número total de las sequías producidas y multiplicado por 100 para expresar en porcentajes

$$fi = \frac{ni}{N} * 100$$

## h.2 Duración

El periodo de tiempo durante el cual el índice se encuentra por debajo del umbral seleccionado; se inicia cuando rompe el umbral de un evento normal y termina cuando sale cuando supera el índice de -1. La duración se obtiene por la diferencia de la fecha final del evento menos la fecha en que inicia la sequía (49), (Figura 13).

$$DS = ff - fi$$

Donde:

DS = Duración de la sequía

ff = fecha final donde alcanza el valor de -1

fi = fecha donde el valor de SPI es -1 por primera vez

## h.3 Intensidad

Para el cálculo del periodo seco durante un año cualquiera, se empleó una variante del método original propuesto por McKee (1997) donde se acumularon los SPI de intensidad igual o inferior a -1 y cuando el valor era mayor a -1 se sustituyó con cero, para determinar la categoría de la intensidad de la sequía se utilizó la tabla 8.

**Tabla 8.** Valores de SPI de la sequía

| Valores de SPI | Categoría                       |
|----------------|---------------------------------|
| -0,99 a 0,99   | Normal o aproximadamente normal |
| -1 a -1,49     | Moderadamente seco              |
| -1,50 a -1,99  | Severamente seco                |
| -2 a menos     | Extremadamente seco             |

**Fuente: (49)**

Los valores inferiores a (-1) son considerados episodios secos y están relacionados con la deficiencia de agua, mientras que los valores positivos se identifican como condiciones normales o húmeda. La intensidad media se

obtuvo promediando los valores de índice durante el periodo en que el que está por debajo del umbral seleccionado (línea verde horizontal) figura 17.

$$I = \frac{\sum SPI < -1}{t}$$

Donde:

I = Intensidad de la sequía

SPI = es el índice para los valores menores a -1

t = tiempo

#### h.4 Severidad

Es la acumulación suma de los valores de SPI de un episodio seco; se estima como el producto de la sumatoria de todos los valores de SPI debajo del área punteada, iniciando el primer mes  $j$  con valores de SPI -1.0 continuando, hasta finalizar la sequía en  $x$  mes para cualquier escala de duración de tiempo  $i$ . Las categorías de la magnitud se muestran en la tabla 9.

$$MS = \sum_{j=1}^x SPI_{ij}$$

Donde:

MS = representa la magnitud de la severidad de la sequía del periodo evaluado

SPI = es el índice SPI para la serie de precipitación acumulada mensual

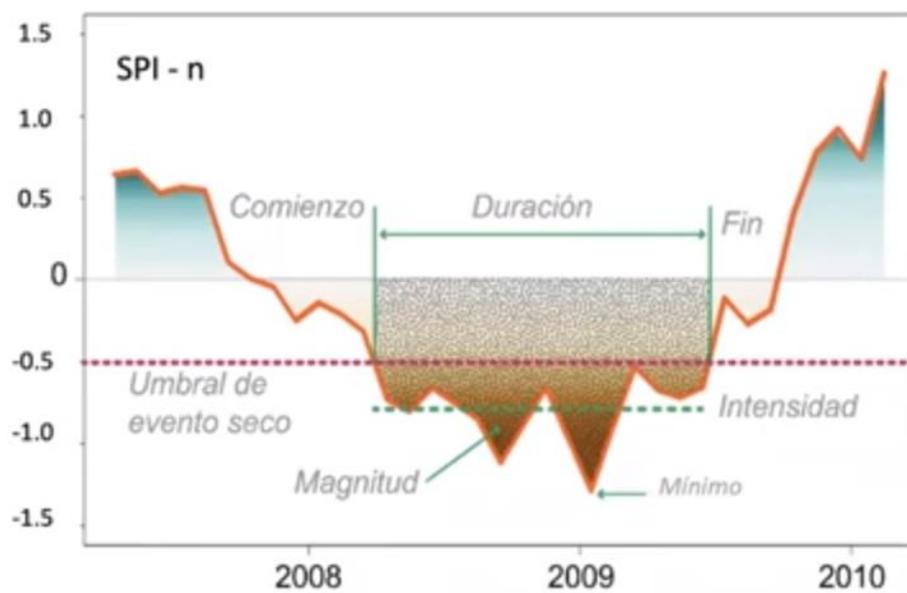
**Tabla 9.** Magnitud de la severidad de la sequia

| MS         | CATEGORÍA             |
|------------|-----------------------|
| 0,1 a 0,9  | Normal                |
| -1 a -1,99 | Leve                  |
| -2 a -2,99 | Poco fuerte           |
| -3 a -3,99 | Fuerte                |
| -4 a -4,99 | Muy fuerte            |
| < a -5     | Extremadamente fuerte |

**Fuente: (50)**

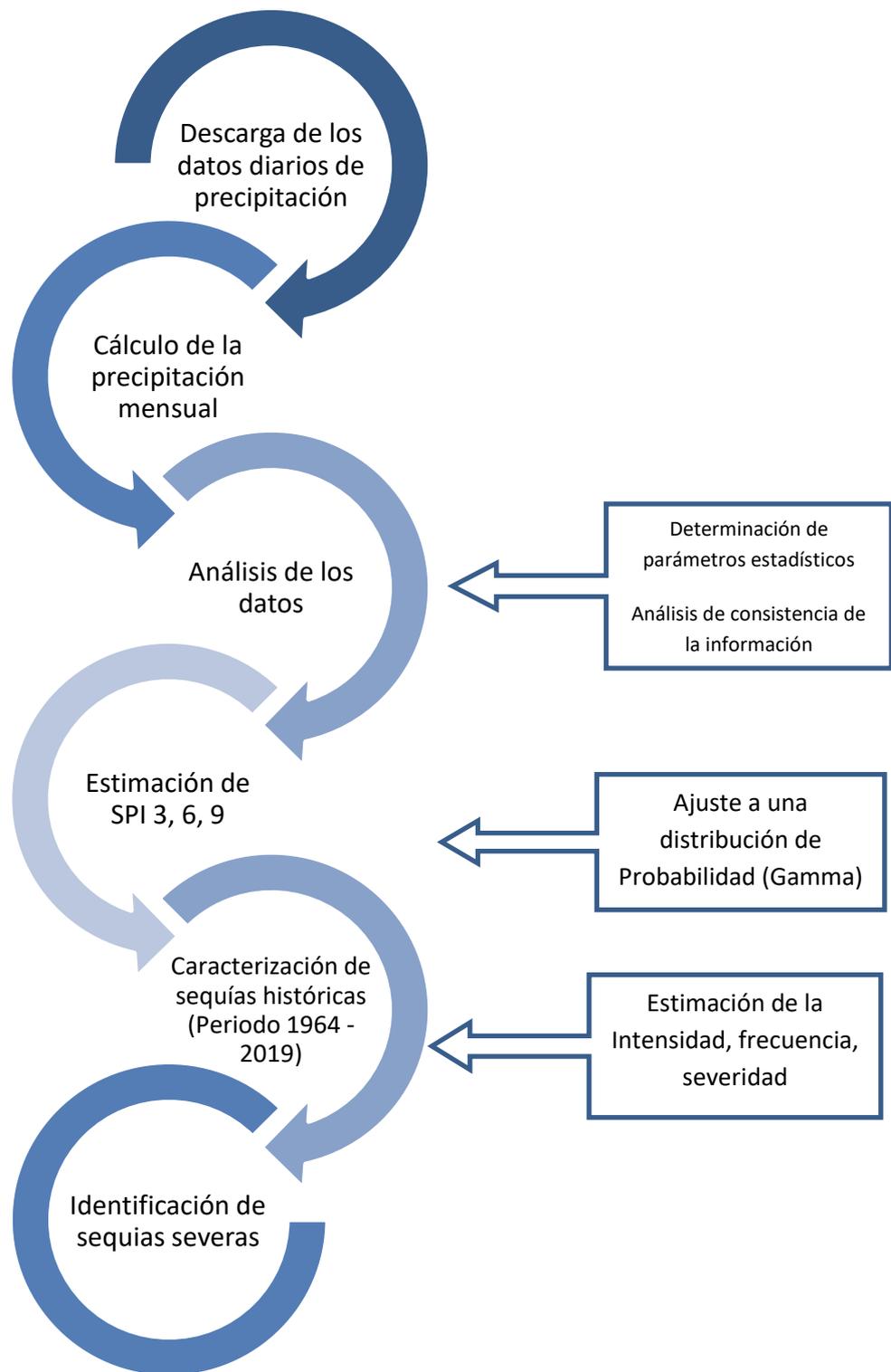
### h.5 Valor extremo

Es el valor mínimo alcanzado durante el evento seco como se muestra en la figura 17.



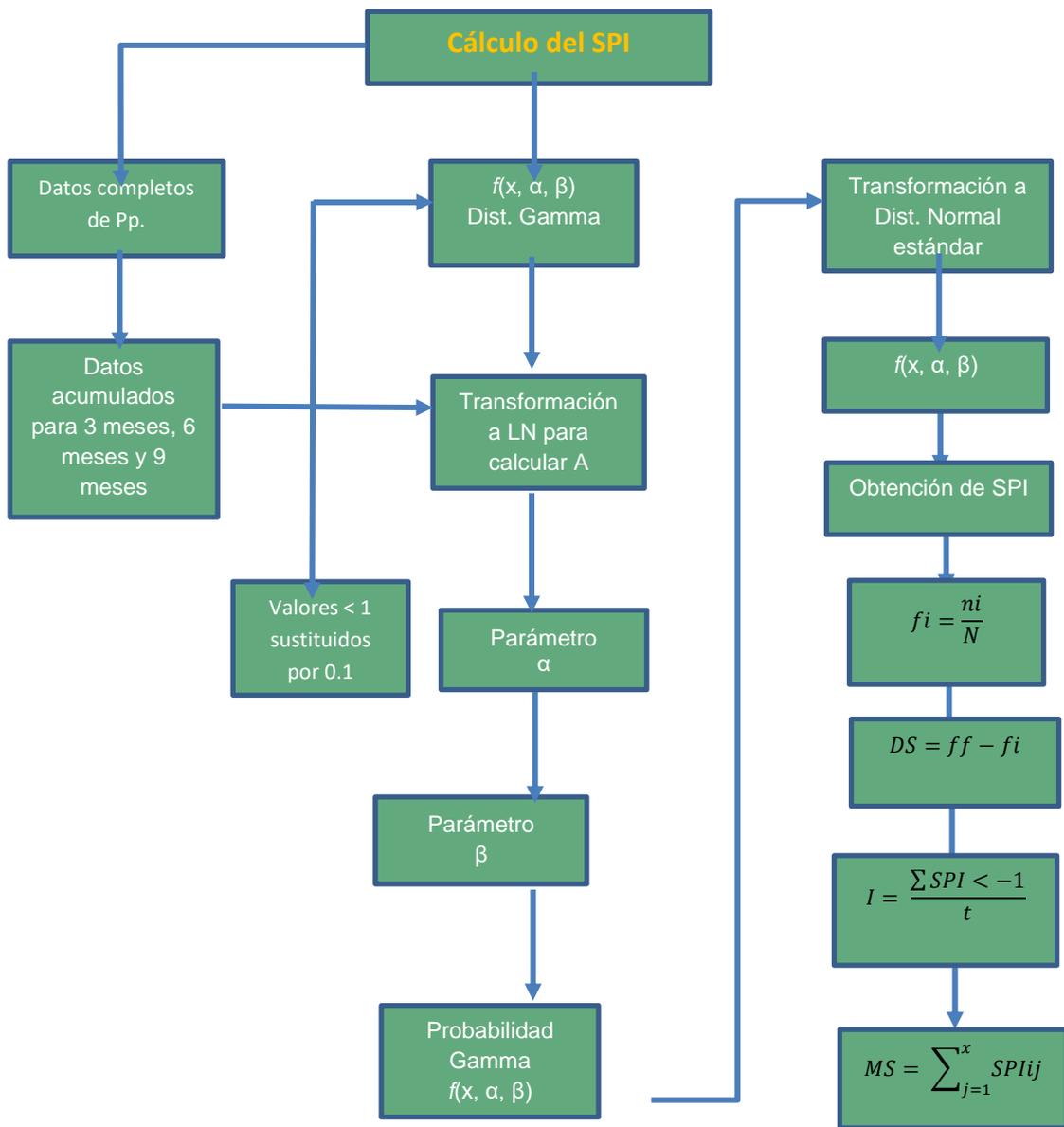
**Figura 17.** Identificación y caracterización de eventos secos

**Fuente:** (36)



**Figura 18.**Flujograma metodológico para la caracterización de la sequía en la RPNYC

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 19.** Cálculo del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) en la RPNYC.

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.1 Procedimiento según objetivos

#### 3.5.1.1 Determinar las características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 3 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.

**Primero**, ordenar los datos en forma vertical en una hoja Excel, de la siguiente manera: en la primera columna se coloca los años, en la columna siguiente van los meses (del 1 al 12) y en la siguiente la precipitación mensual acumulada.

**Segundo**, determinar el promedio y la desviación estándar de la precipitación mensual del total de la data y colocar en la tabla de resultados parciales.

**Tercero**, para la escala de 3 meses sacar el promedio de los datos de los 3 primeros meses y colocar el resultado en la columna siguiente y en la misma fila del tercer dato (3er mes), el siguiente valor se obtiene con el 2do, 3ro y 4to dato y así sucesivamente hasta completar la columna de resultados de X(media).

**Cuarto**, a cada dato de X(media) se halla el logaritmo neperiano y se coloca en la columna (Ln (Xm)).

**Quinto**, hallar la sumatoria de los datos de la columna (Ln (Xm)) y se colocar en la tabla de resultados parciales.

*Sexto*, calcular el número de datos y colocar en la tabla de resultados parciales.

**Octavo**, determinar el valor A, utilizando las fórmulas siguientes y colocar en la tabla de resultados parciales.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{X}{\alpha} \dots$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

**Tabla 10.** Resultados parciales para el cálculo del SPI3, estación Carania

|               |            |            |
|---------------|------------|------------|
| Media         | 48.7927232 |            |
| Des. Estandar | 58.8810819 |            |
| SumLN(X)      |            | 1947.99504 |
| n             |            | 670        |
| A             |            | 0.98012591 |
| Alfa          |            | 0.64247529 |
| Beta          |            | 75.9449026 |

**Noveno**, con los resultados de los parámetros alfa, beta y promedios para cada mes se halla la distribución gamma y probabilidad verdadera y se coloca en la columna (Gamma).

**Décimo**, hallar el SPI con la inversa de la normal para cada dato de distribución gamma.

**Décimo primero**, identificar las categorías de las sequías según valores del SPI para la escala de 3 meses según la tabla 6.

**Tabla 11.** Resultados obtenidos del SPI 3 para la estación de Carania (1964- mayo de 1965)

| AÑO  | MES | X Pp  | X Mean | ln(Xm) | Gamma | SPI-3 | Description   |
|------|-----|-------|--------|--------|-------|-------|---------------|
| 1964 | 1   | 50.4  |        |        |       |       |               |
| 1964 | 2   | 168.8 |        |        |       |       |               |
| 1964 | 3   | 169.7 | 129.63 | 4.86   | 0.91  | 1.32  | Moderatly wet |
| 1964 | 4   | 36.7  | 125.07 | 4.83   | 0.90  | 1.28  | Moderatly wet |
| 1964 | 5   | 0     | 68.80  | 4.23   | 0.76  | 0.70  | Near normal   |
| 1964 | 6   | 0     | 12.23  | 2.50   | 0.32  | -0.46 | Near normal   |
| 1964 | 7   | 0.1   | 0.03   | -3.40  | 0.01  | -2.42 | Extreme dry   |
| 1964 | 8   | 0     | 0.03   | -3.40  | 0.01  | -2.42 | Extreme dry   |
| 1964 | 9   | 27.1  | 9.07   | 2.20   | 0.27  | -0.61 | Near normal   |
| 1964 | 10  | 25.6  | 17.57  | 2.87   | 0.40  | -0.26 | Near normal   |
| 1964 | 11  | 23.4  | 25.37  | 3.23   | 0.48  | -0.04 | Near normal   |
| 1964 | 12  | 52    | 33.67  | 3.52   | 0.56  | 0.15  | Near normal   |
| 1965 | 1   | 76    | 50.47  | 3.92   | 0.67  | 0.45  | Near normal   |
| 1965 | 2   | 220.9 | 116.30 | 4.76   | 0.89  | 1.21  | Moderatly wet |
| 1965 | 3   | 118.9 | 138.60 | 4.93   | 0.92  | 1.40  | Moderatly wet |
| 1965 | 4   | 9.2   | 116.33 | 4.76   | 0.89  | 1.21  | Moderatly wet |
| 1965 | 5   | 14.9  | 47.67  | 3.86   | 0.66  | 0.40  | Near normal   |

**Décimo segundo**, determinar la frecuencia, duración, intensidad y severidad de la sequía con los resultados obtenidos del SPI para la escala de 3 meses.

### **3.5.1.2 Determinar las características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 6 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.**

Los procedimientos primero y segundo son los mismos. En el tercer paso, para la escala de 6 meses sacar el promedio de los datos de los 6 primeros meses y colocar el resultado en la columna siguiente y en la misma fila del sexto dato (6to mes), el siguiente valor se obtendrá con el 2do, 3ro, 4to, 5to, 6to y 7mo dato y continuamos de la misma manera hasta completar esta columna. Luego continuar con el procedimiento cuarto hasta el décimo primero de la misma manera que se realizó para la escala de tiempo de 3 meses.

Con los resultados obtenidos del SPI para la escala de 6 meses, determinar la frecuencia, duración intensidad y severidad de la sequía para esta escala.

### **3.5.1.3 Determinar las características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 9 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas.**

Realizar el paso primero y segundo de la misma forma en que se encuentra descrito en el ítem 3.5.1.1. El tercer procedimiento para la escala de 9 meses, consiste en sacar el promedio para los 9 primeros meses de la data y colocar en la columna siguiente y el resto se vuelve a realizar de la misma manera hasta el paso décimo primero.

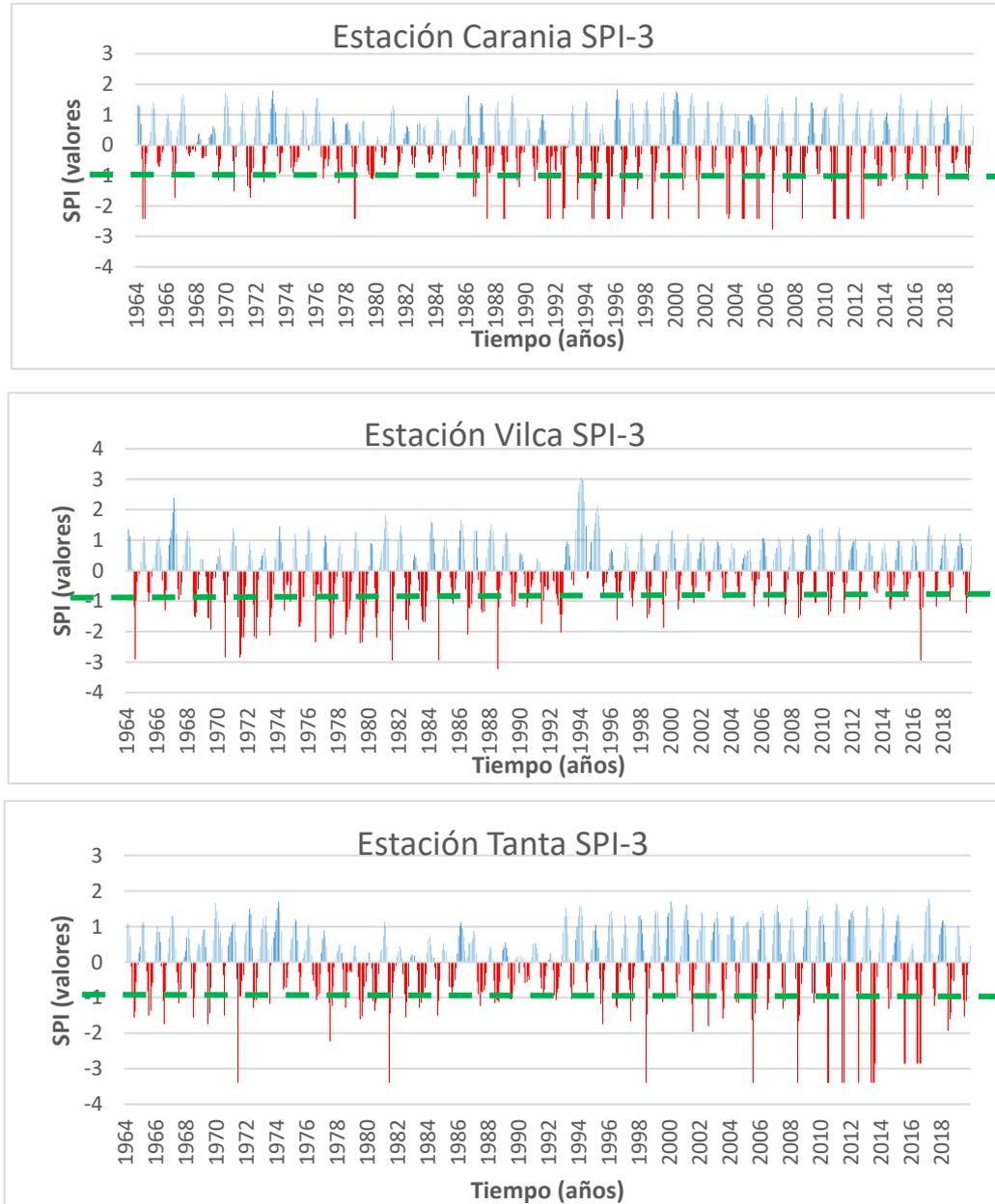
Con los resultados obtenidos del SPI para la escala de 9 meses, determinar la frecuencia, duración, intensidad y severidad de la sequía.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

**4.1.1 Objetivo 1:** Características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 3 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos cochas.

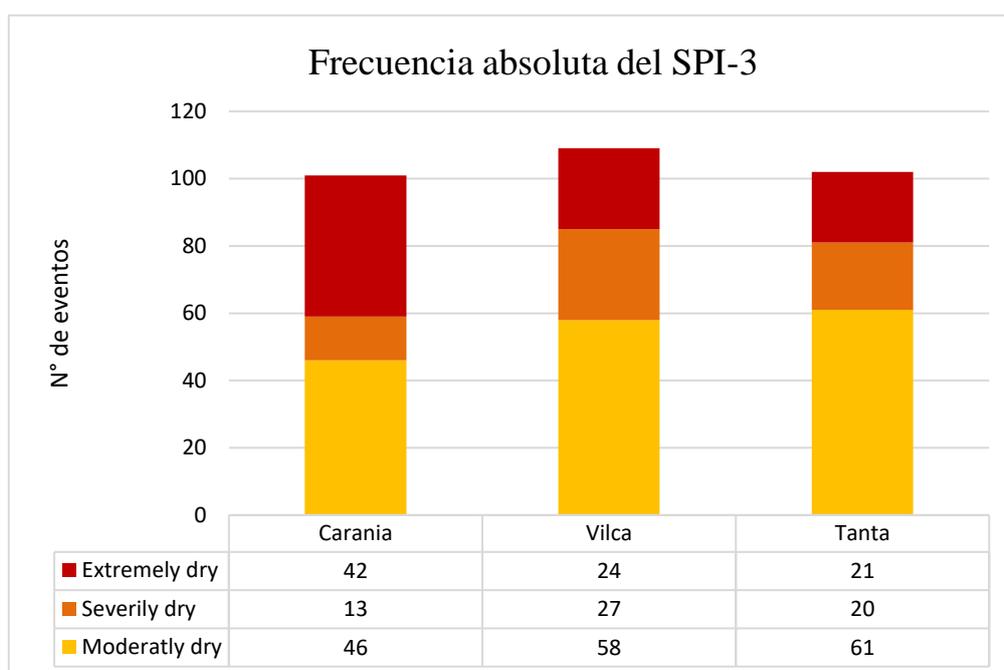


**Figura 20.** Variación temporal del SPI- 3 para las Estaciones Meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta (1964 – 2019)

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 20 se observan por debajo de la línea de color verde las sequías presentadas en la serie historia, para las estaciones Carania, Vilca y Tanta ubicadas en el área de la RPNYC, para la escala temporal de 3 meses. Los valores por encima de cero y coloreadas en azul nos indican periodos húmedos y las de color rojo indican valores de precipitación por debajo de lo normal. Asimismo, se observa que la variación temporal del SPI varía mensualmente y anualmente para esta escala en las 3 estaciones. En las tres estaciones se presentaron sequías, siendo más frecuentes en la estación de Carania a partir de 1986; mientras que en la estación de Vilca las sequías se presentaron con mayor frecuencia entre los años 1970 al 1988 y en la estación de Tanta las sequías se vienen presentando a partir del 2008 de forma consecutiva.

#### 4.1.1.1 Frecuencia de los eventos de sequía en las tres estaciones según el SPI, para la escala de 3 meses

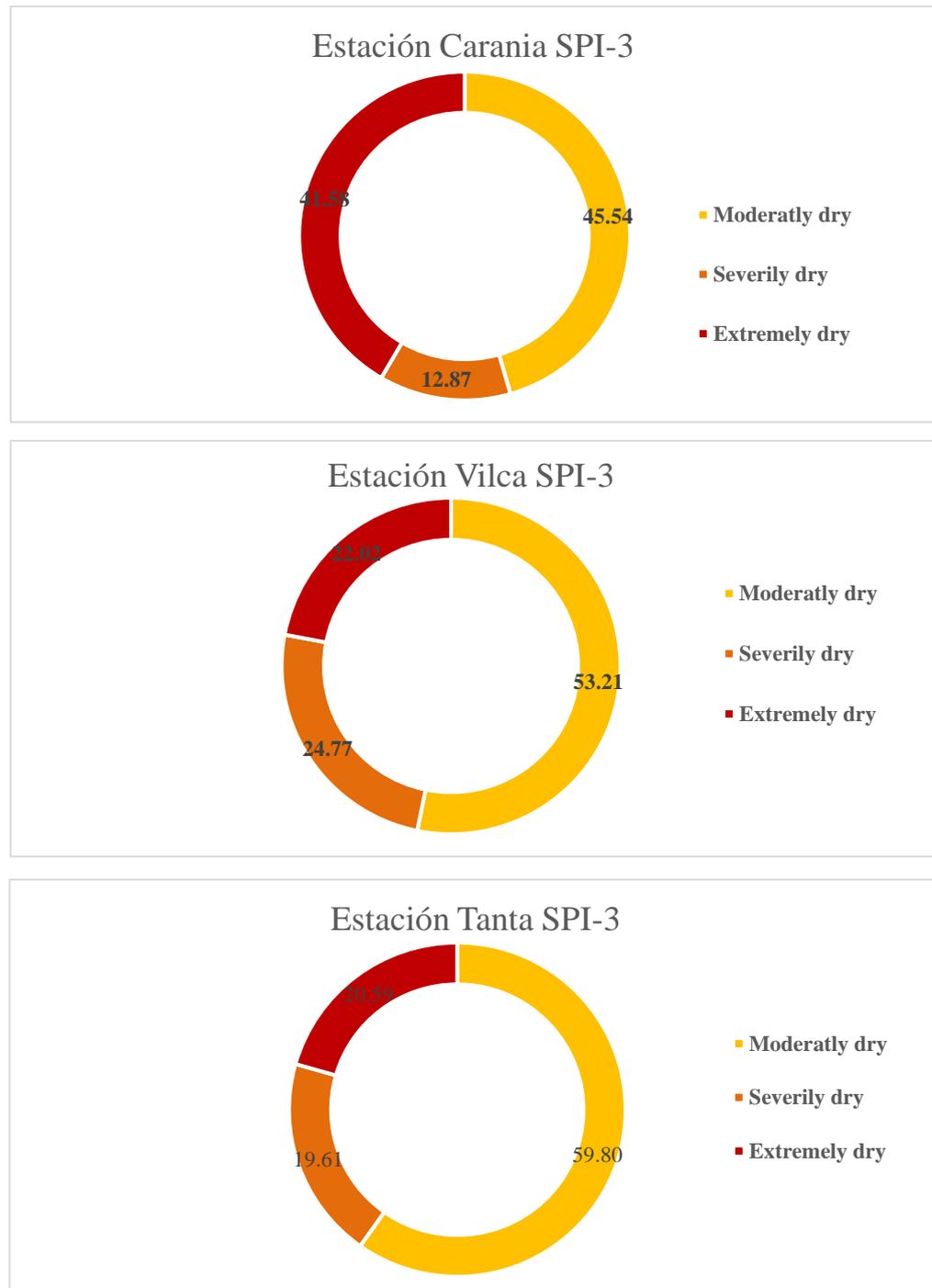


**Figura 21.** Frecuencia absoluta de las categorías de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 3 meses.

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 21, muestra el número de eventos de sequías presentadas en las tres estaciones, siendo el promedio 109; el mayor número de eventos se presentó en la estación Vilca, seguido por Tanta y al final se encuentra Carania; la imagen también indica sequías moderadas para Tanta y Vilca con mayor frecuencia mientras que en

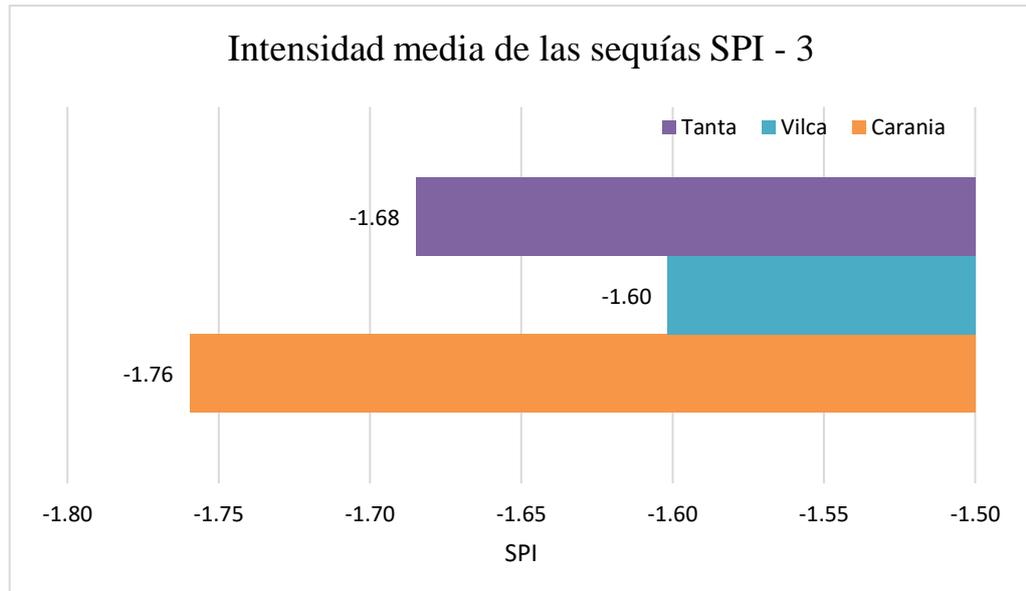
Carania sequías severas son escasas, pero se presentan sequías extremas y moderadas casi en las mismas proporciones.



**Figura 22.** Frecuencia relativa de las sequías según el SPI para la escala de 3 meses  
**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 22 se aprecia la frecuencia relativa de las sequías acontecidas en las 3 estaciones, resaltando el mayor porcentaje en la categoría moderada para las estaciones evaluadas.

#### 4.1.1.2 Intensidad media de la sequía



**Figura 23.** Intensidad media de las sequías presentadas para la escala temporal de 3 meses, periodo 1964 – 2019.

**Fuente.** Elaboración propia

En la figura 23, se observa la intensidad media de las sequías presentadas para cada estación, siendo la Estación Carania la que tiene mayor intensidad, esto podría deberse a la frecuencia en que se presentan las sequías de categoría moderada y extrema que son las que más predominan en esta estación, le sigue la estación Tanta y luego la estación de Vilca para la escala temporal de 3 meses con valores -1.76, -1.68 y -1.6 respectivamente.

### 4.1.1.3 Valor mínimo

**Tabla 12.** Valor mínimo del SPI para la escala de 3 meses (1964 – 2019)

| ESTACIÓN                       | ALTITUD<br>(m.s.n.m) | INTENSIDAD<br>MÍNIMA | FECHA       |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| Estación meteorológica Carania | 3840                 | -2.78                | Julio 2006  |
| Estación meteorológica Vilca   | 3832                 | -3.24                | Agosto 1988 |
| Estación meteorológica Tanta   | 4323                 | -3.40                | Julio 1981  |

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla 12, muestra los valores extremos de la sequía sucedidas en las tres estaciones; el valor extremo corresponde a la estación de Tanta (-3.40) sucedido en el mes de julio de 1981, esta estación se halla ubicada a una altitud de 4323 m.s.n.m., le sigue Vilca con una intensidad mínima de -3.24 y luego está Carania con -2.78.

#### 4.1.1.4 Duración, Intensidad máxima y severidad

**Tabla 13.** Duración, Intensidad máxima y magnitud de las sequías para la escala de 3 meses en la estación Meteorológica de Carania (1964 - 2019)

| ESTACIÓN CARANIA |         |          |      |                      |          |
|------------------|---------|----------|------|----------------------|----------|
| Año              | Eventos | Duración |      | Intensidad<br>Máxima | Magnitud |
|                  |         | Inicio   | Fin  |                      |          |
| 1964             | 2       | Jul      | Agos | -2.42                | -4.84    |
| 1966             | 2       | Jul      | Agos | -1.73                | -2.73    |
| 1969             | 1       | Jul      | Jul  | -1.16                | -1.16    |
| 1970             | 1       | Agos     | Agos | -1.49                | -1.49    |
| 1971             | 3       | Jul      | Set  | -1.72                | -4.48    |
| 1972             | 2       | Jul      | Agos | -1.23                | -2.30    |
| 1976             | 1       | Jul      | Jul  | -1.08                | -1.08    |
| 1977             | 2       | Jul      | Agos | -1.23                | -2.29    |
| 1978             | 2       | Agos     | Set  | -2.42                | -4.84    |
| 1979             | 3       | Set      | Nov  | -1.13                | -3.33    |
| 1986             | 3       | Agos     | Oct  | -1.71                | -4.65    |
| 1987             | 1       | Jul      | Jul  | -2.42                | -2.42    |
| 1988             | 2       | Agos     | Set  | -2.42                | -4.84    |
| 1989             | 3       | Jul      | Set  | -1.38                | -3.57    |
| 1990             | 1       | Set      | Set  | -1.17                | -1.17    |
| 1991             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -7.26    |
| 1992             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -6.56    |
| 1993             | 3       | Jul      | Set  | -1.80                | -4.04    |
| 1994             | 4       | Jul      | Oct  | -2.42                | -7.63    |
| 1995             | 5       | Jul      | Nov  | -2.42                | -9.34    |
| 1996             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -5.97    |
| 1997             | 2       | Jul      | Agos | -1.43                | -2.57    |
| 1998             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -6.05    |
| 1999             | 1       | Agos     | Agos | -2.42                | -2.42    |
| 2000             | 2       | Jul      | Agos | -1.48                | -2.58    |
| 2001             | 2       | Jul      | Agos | -2.42                | -3.56    |
| 2003             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -6.93    |
| 2004             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -7.26    |
| 2005             | 2       | Jul      | Agos | -2.42                | -4.84    |
| 2006             | 2       | Jul      | Agos | -2.78                | -4.34    |
| 2007             | 3       | Jul      | Set  | -1.58                | -4.64    |
| 2008             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -4.51    |
| 2010             | 5       | Jul      | Nov  | -2.42                | -9.47    |
| 2011             | 3       | Jul      | Set  | -2.42                | -7.26    |
| 2012             | 2       | Jul      | Agos | -2.42                | -4.84    |
| 2013             | 3       | Agos     | Oct  | -1.35                | -4.05    |

|      |   |      |      |       |       |
|------|---|------|------|-------|-------|
| 2014 | 2 | Jul  | Agos | -1.17 | -2.26 |
| 2015 | 3 | Jul  | Set  | -1.47 | -3.62 |
| 2016 | 2 | Agos | Set  | -1.43 | -2.43 |
| 2017 | 1 | Agos | Agos | -1.67 | -1.67 |
| 2019 | 1 | Agos | Agos | -1.15 | -1.15 |

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla 13, muestra la intensidad mínima de la sequía sucedida en cada año, numero de eventos y la magnitud en la estación de Carania para los 56 años analizados, los de color amarillo son moderadamente seca, el anaranjado representa a la severamente seca y el color rojo son las de extremadamente secas, esto se evaluó de acuerdo la tabla 8. Para 1964 se tuvo 2 eventos secos que se inició en el mes de julio y concluyó en el mes de agosto, su intensidad mínima alcanzada fue de -2.42 calificándose (categoría extremadamente seca), la magnitud que es la suma de las intensidades durante este episodio fue de -4.08 (poco fuerte). Se destaca el episodio seco en 1993 el cual inicio en julio y terminó en octubre, de intensidad mínima -2.42 y severidad -7.63 para este episodio; otro episodio destacable es de 1994 con una duración de 5 meses, se inicia en julio y termina en noviembre, la intensidad mínima alcanzada fue -2.42 y la severidad -9.34. Los eventos secos suelen presentarse en los meses de escasa precipitación y coinciden con la estación seca.

**Tabla 14.** Duración, Intensidad máxima y magnitud de las sequías para la escala de 3 meses en la estación Meteorológica de Vilca (1964 - 2019)

| ESTACIÓN VILCA |         |          |     |                      |          |
|----------------|---------|----------|-----|----------------------|----------|
| Año            | Eventos | Duración |     | Intensidad<br>Máxima | Magnitud |
|                |         | Inicio   | Fin |                      |          |
| 1964           | 2       | Jul      | Ago | -2.92                | -4.08    |
| 1965           | 1       | Jul      | Jul | -1.02                | -1.02    |
| 1966           | 1       | Jul      | Ago | -1.30                | -1.30    |
| 1968           | 3       | Jul      | Set | -1.52                | -4.35    |
| 1969           | 3       | Jun      | Ago | -1.91                | -5.02    |
| 1970           | 2       | Jul      | Ago | -2.84                | -3.87    |
| 1971           | 6       | Jun      | Nov | -2.84                | -12.95   |
| 1972           | 4       | Jun      | Set | -2.22                | -6.99    |
| 1973           | 3       | Jul      | Set | -2.13                | -4.90    |
| 1974           | 1       | Jul      | Jul | -1.31                | -1.31    |
| 1975           | 3       | Jun      | Ago | -1.83                | -5.33    |
| 1976           | 1       | Jul      | Jul | -2.33                | -2.33    |
| 1977           | 4       | Jul      | Oct | -2.22                | -7.65    |
| 1978           | 4       | Jul      | Oct | -2.08                | -6.48    |
| 1979           | 5       | Jul      | Nov | -2.36                | -4.90    |
| 1980           | 3       | Jul      | Set | -2.17                | -5.12    |
| 1981           | 3       | Jul      | Set | -2.94                | -6.54    |
| 1982           | 4       | Jul      | Oct | -1.93                | -6.26    |
| 1983           | 5       | Jul      | Nov | -1.67                | -7.31    |
| 1984           | 1       | Set      | Set | -2.94                | -2.94    |
| 1985           | 1       | Set      | Set | -1.08                | -1.08    |
| 1986           | 4       | Agos     | Nov | -2.08                | -5.58    |
| 1987           | 3       | Jul      | Set | -1.36                | -3.95    |
| 1988           | 2       | Agos     | Set | -3.24                | -4.44    |
| 1989           | 2       | Agos     | Set | -1.17                | -2.33    |
| 1990           | 2       | Jul      | Ago | -1.19                | -2.24    |
| 1991           | 1       | Jul      | Jul | -1.73                | -1.73    |
| 1992           | 4       | Ago      | Nov | -2.01                | -5.98    |
| 1996           | 1       | Jul      | Jul | -1.62                | -1.62    |
| 1997           | 1       | Jul      | Jul | -1.17                | -1.17    |
| 1998           | 3       | Jul      | Set | -1.54                | -4.16    |
| 1999           | 2       | Jul      | Ago | -1.86                | -2.96    |
| 2000           | 1       | Jul      | Jul | -1.27                | -1.27    |
| 2001           | 1       | Jul      | Jul | -1.04                | -1.04    |
| 2005           | 1       | Jul      | Jul | -1.16                | -1.16    |
| 2006           | 1       | Jul      | Jul | -1.16                | -1.16    |
| 2007           | 2       | Ago      | Set | -1.43                | -2.54    |

|      |   |     |     |       |       |
|------|---|-----|-----|-------|-------|
| 2008 | 2 | Jul | Ago | -1.55 | -3.00 |
| 2009 | 2 | Ago | Set | -1.06 | -2.10 |
| 2010 | 2 | Jul | Ago | -1.46 | -2.77 |
| 2011 | 1 | Jul | Jul | -1.38 | -1.38 |
| 2012 | 1 | Jul | Jul | -1.27 | -1.27 |
| 2014 | 2 | Jul | Ago | -1.26 | -2.45 |
| 2016 | 3 | Jul | Set | -2.94 | -5.41 |
| 2017 | 1 | Ago | Ago | -1.18 | -1.18 |
| 2019 | 1 | Ago | Ago | -1.40 | -1.40 |

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 14, se observa que los episodios de sequía suelen presentarse entre los meses de julio a setiembre para esta escala de tiempo es decir que claramente el SPI3 reconoce la estacionalidad en la estación de Vilca. Sin embargo, también se puede observar algunos episodios como los presentados en 1971, 1979 con una duración del episodio de 6 y 5 meses respectivamente los cuales iniciaron en junio y el otro en julio y finalizaron en noviembre en esta estación, este evento puede indicar el inicio de un episodio seco.

**Tabla 15.** Duración, Intensidad máxima y magnitud de las sequías para la escala de 3 meses en la estación Meteorológica de Tanta (1964 - 2019)

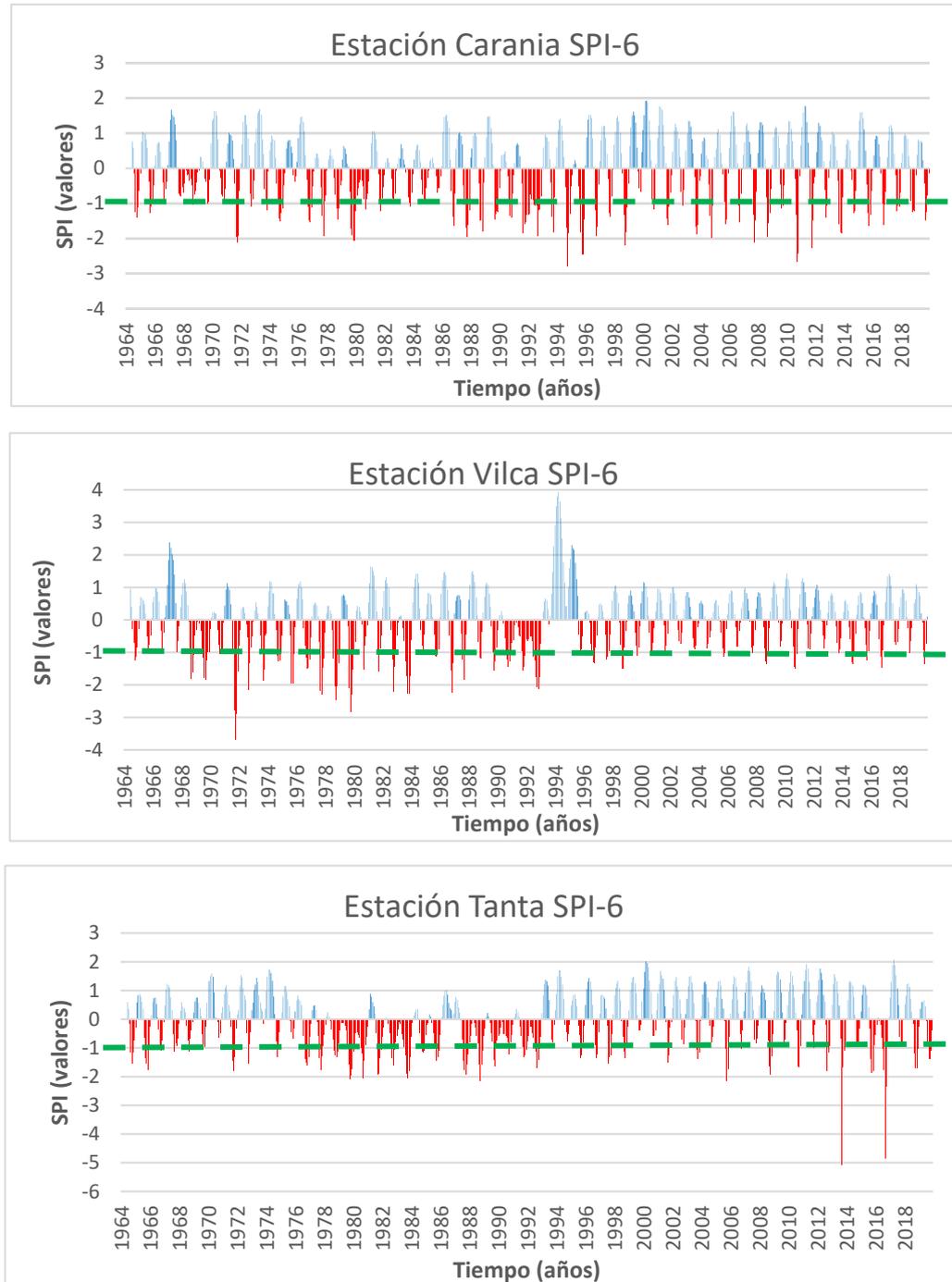
| ESTACIÓN TANTA |         |          |     |                   |          |
|----------------|---------|----------|-----|-------------------|----------|
| Año            | Eventos | Duración |     | Intensidad Máxima | Magnitud |
|                |         | Inicio   | Fin |                   |          |
| 1964           | 2       | Ago      | Set | -1.54             | -2.93    |
| 1965           | 2       | Ago      | Set | -1.49             | -2.85    |
| 1966           | 2       | Jul      | Ago | -1.75             | -2.85    |
| 1967           | 1       | Ago      | Ago | -1.15             | -1.15    |
| 1968           | 2       | Jul      | Ago | -1.55             | -2.57    |
| 1969           | 2       | Jul      | Ago | -1.76             | -3.21    |
| 1970           | 1       | Agos     | Ago | -1.49             | -1.49    |
| 1971           | 1       | Jul      | Jul | -3.40             | -3.40    |
| 1972           | 3       | Jul      | Set | -1.28             | -3.40    |
| 1973           | 1       | Ago      | Ago | -1.17             | -1.17    |
| 1976           | 1       | Set      | Set | -1.07             | -1.07    |
| 1977           | 3       | Jul      | Set | -2.24             | -4.62    |
| 1978           | 1       | Ago      | Ago | -1.28             | -1.28    |
| 1979           | 4       | Jul      | Oct | -1.62             | -5.32    |

|      |   |      |     |       |        |
|------|---|------|-----|-------|--------|
| 1980 | 4 | Jun  | Set | -1.36 | -4.64  |
| 1981 | 3 | Jul  | Set | -3.40 | -5.86  |
| 1982 | 2 | Agos | Set | -1.54 | -2.67  |
| 1983 | 3 | Jul  | Set | -1.27 | -3.42  |
| 1984 | 2 | Set  | Oct | -1.49 | -2.59  |
| 1987 | 1 | Jul  | Jul | -1.22 | -1.22  |
| 1988 | 4 | Jul  | Oct | -1.14 | -4.38  |
| 1989 | 2 | Jul  | Ago | -1.04 | -2.08  |
| 1992 | 1 | Jul  | Jul | -1.06 | -1.06  |
| 1993 | 1 | Ago  | Ago | -1.04 | -1.04  |
| 1995 | 2 | Jul  | Ago | -1.76 | -2.94  |
| 1996 | 2 | Jul  | Ago | -1.30 | -2.53  |
| 1997 | 2 | Jul  | Ago | -1.67 | -2.77  |
| 1998 | 2 | Jul  | Ago | -3.40 | -4.87  |
| 1999 | 1 | Ago  | Ago | -1.14 | -1.14  |
| 2001 | 2 | Jul  | Ago | -1.95 | -3.13  |
| 2002 | 1 | Ago  | Ago | -1.79 | -1.79  |
| 2003 | 2 | Ago  | Set | -1.59 | -2.90  |
| 2004 | 2 | Jul  | Ago | -1.14 | -2.27  |
| 2005 | 3 | Jul  | Set | -3.40 | -6.47  |
| 2006 | 2 | Jul  | Ago | -1.34 | -2.50  |
| 2007 | 2 | Ago  | Set | -1.32 | -2.42  |
| 2008 | 3 | Jul  | Set | -3.40 | -6.55  |
| 2009 | 1 | Ago  | Ago | -1.16 | -1.16  |
| 2010 | 2 | Jul  | Ago | -3.40 | -6.79  |
| 2011 | 2 | Jul  | Ago | -3.40 | -6.79  |
| 2012 | 1 | Ago  | Ago | -3.40 | -3.40  |
| 2013 | 4 | Jun  | Set | -3.40 | -13.06 |
| 2014 | 2 | Ago  | Set | -1.31 | -2.34  |
| 2015 | 3 | Jul  | Set | -2.87 | -6.75  |
| 2016 | 4 | Jun  | Set | -2.87 | -11.47 |
| 2017 | 1 | Ago  | Ago | -1.22 | -1.22  |
| 2018 | 3 | Jul  | Set | -1.95 | -4.95  |
| 2019 | 3 | Jul  | Set | -1.53 | -3.70  |

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 15, se describe el evento seco, su intensidad máxima, duración y magnitud del episodio por cada año. Son ocho años del total de los años evaluados con el SPI3 que no presentan sequías y estos son: 1974, 1975, 1985, 1986, 1990, 1991, 1994 y 2000 en la estación de Tanta.

**4.1.2 Objetivo 2:** Características de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 6 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochás.

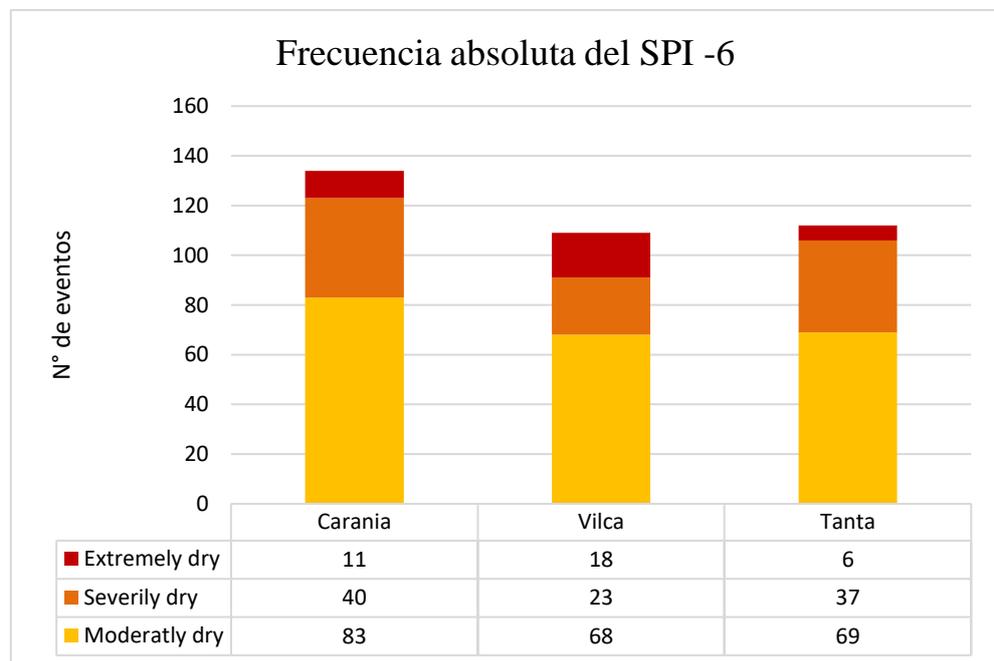


**Figura 24.** Variación temporal de las sequías para la escala temporal de 6 meses presentadas en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta, periodo 1964 – 2019.

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 24, muestra los episodios secos en color rojo para la escala temporal de 6 meses en las tres estaciones de área de RPNYC, las variaciones del SPI indica eventos secos con mayor claridad. El valor extremo de las variaciones del SPI para las 3 estaciones es como sigue: -2.79 sucedido en 1984 en la estación de Carania, -3.68 en 1971 en Vilca y -5.06 en 2013 en Tanta.

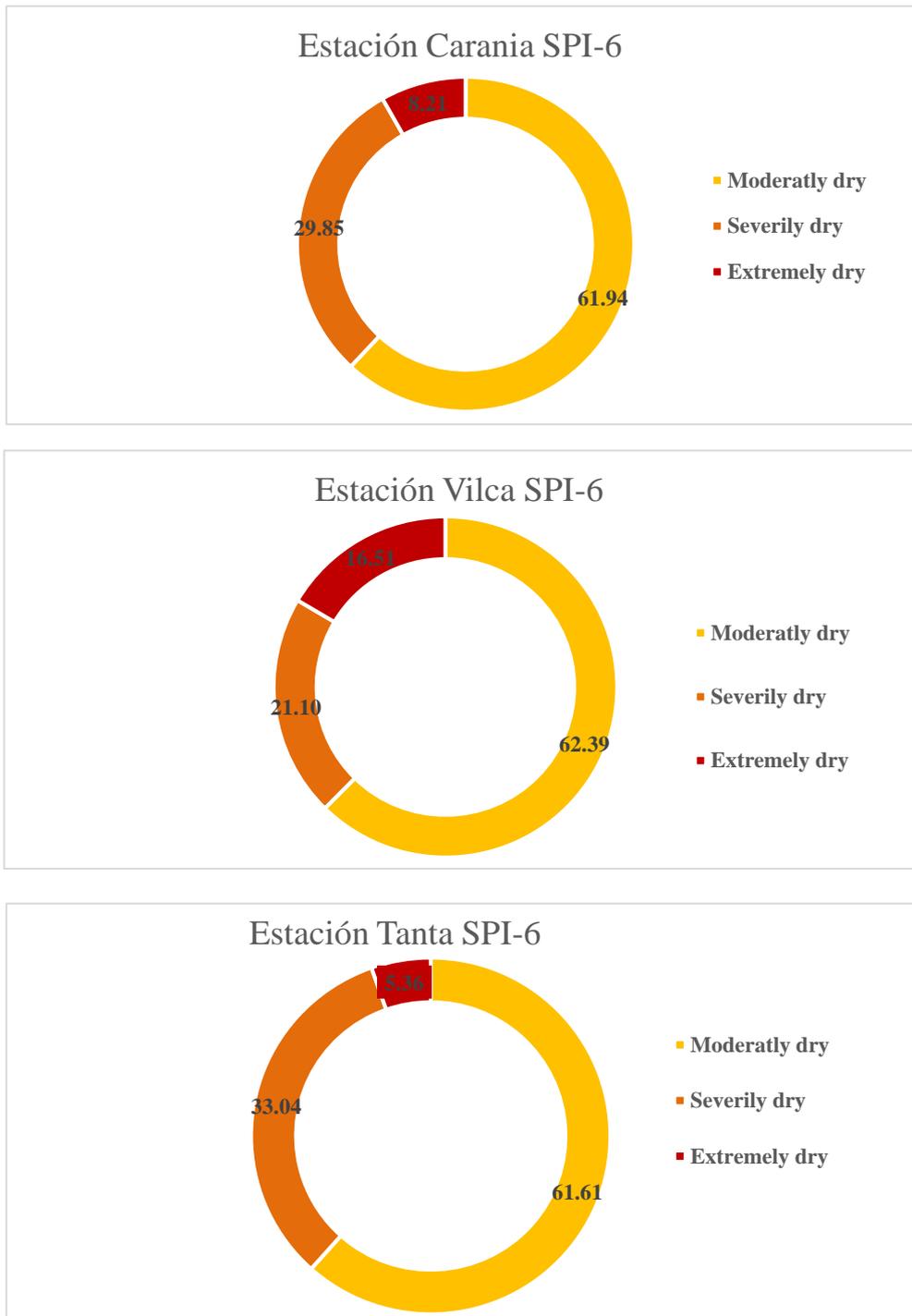
#### 4.1.2.1 Frecuencia de los eventos en las tres estaciones según el SPI para la escala de 6 meses



**Figura 25.** Frecuencia absoluta de las categorías de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 6 meses.

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 25, muestra la cantidad de episodios secos por categoría sucedidos en cada estación, apreciándose diferencias sustanciales y resaltando el menor número de episodios extremadamente seco en las tres estaciones para esta escala. Sin embargo, las sequías moderadas son las que predominan para el SPI6 en las 3 estaciones evaluadas.

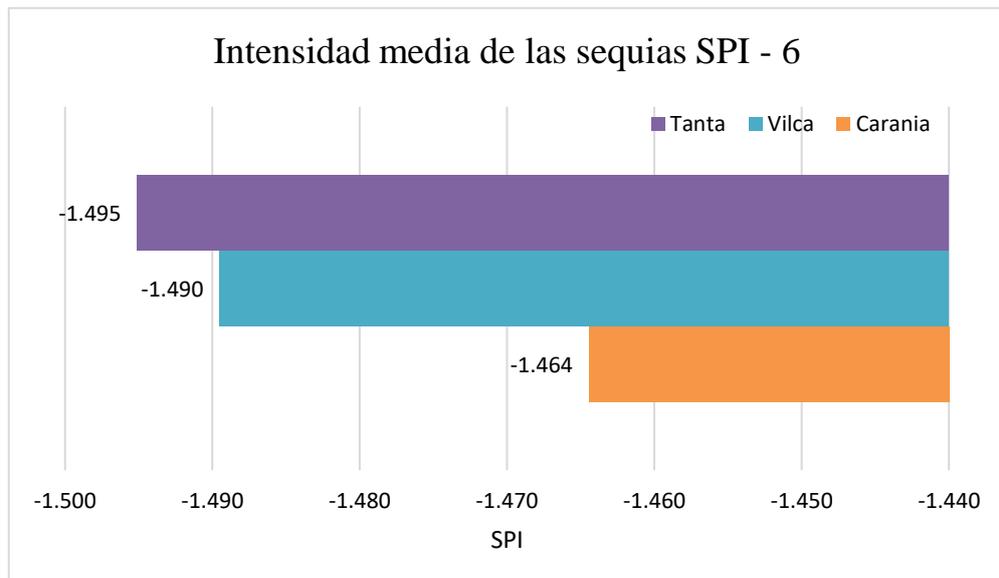


**Figura 26.** Frecuencia relativa de las sequías según el SPI para la escala de 6 meses por estación.

**Fuente.** Elaboración propia

En la figura 26 se observa la frecuencia relativa de las sequías presentadas, aquí se puede notar que la categoría extremadamente seca es la que sucede en menor porcentaje.

#### 4.1.2.2 Intensidad media de la sequía



**Figura 27.** Intensidad media de las sequías presentadas para la escala temporal de 6 meses, periodo 1964 – 2019.

**Fuente.** Elaboración propia

La intensidad media fue obtenida a partir de los resultados de los valores de SPI para la escala temporal de 6 meses, resaltando la mayor intensidad media de la sequía con un valor de -1.495 en la estación de Tanta, le sigue la estación de Vilca con un valor promedio de -1.490 y luego se encuentra Carania con una intensidad media de -1.464, los resultados se encuentran en la moderada y severamente seca.

#### 4.1.2.3 Valor mínimo

**Tabla 16.** Valor mínimo del SPI para la escala de 6 meses

| Estación                       | Altitud (m.s.n.m) | Intensidad mínima | Fecha          |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| Estación meteorológica Carania | 3840              | -2.80             | Octubre 1994   |
| Estación meteorológica Vilca   | 3832              | -3.69             | Octubre 1971   |
| Estación meteorológica Tanta   | 4323              | -5.07             | Setiembre 2013 |

**Fuente:** Elaboración propi

En la tabla 16, se muestra la intensidad mínima de la sequía alcanzada para las tres estaciones, apreciándose un valor de -5.07 calificado como extremadamente seco sucedido en setiembre del 2013 en la estación de Tanta.

#### 4.1.2.4 Duración, Intensidad Máxima y Severidad

**Tabla 17.** Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía para la escala de 6 meses, Estación Carania 1964 – 2019

| ESTACIÓN CARANIA |         |          |     |                   |          |
|------------------|---------|----------|-----|-------------------|----------|
| Año              | Eventos | Duración |     | Intensidad Máxima | Magnitud |
|                  |         | Inicio   | Fin |                   |          |
| 1964             | 3       | Set      | Nov | -1.40             | -3.75    |
| 1965             | 3       | Set      | Nov | -1.29             | -3.37    |
| 1966             | 1       | Set      | Set | -1.01             | -1.01    |
| 1968             | 1       | Set      | Set | -1.04             | -1.04    |
| 1969             | 1       | Set      | Set | -1.02             | -1.02    |
| 1970             | 1       | Nov      | Nov | -1.01             | -1.01    |
| 1971             | 3       | Set      | Nov | -2.10             | -5.99    |
| 1972             | 1       | Oc       | Oct | -1.09             | -1.09    |
| 1973             | 1       | Nov      | Nov | -1.20             | -1.20    |
| 1974             | 4       | Set      | Dic | -1.52             | -5.35    |
| 1976             | 4       | Set      | Dic | -1.54             | -5.23    |
| 1977             | 2       | Set      | Oct | -1.93             | -3.27    |
| 1978             | 3       | Set      | Nov | -1.46             | -3.75    |
| 1979             | 5       | Set      | Ene | -2.06             | -8.97    |
| 1980             | 1       | Set      | Set | -1.17             | -2.40    |
| 1981             | 1       | Oct      | Oct | -1.23             | -1.23    |
| 1983             | 1       | Nov      | Nov | -1.09             | -1.09    |
| 1986             | 2       | Oct      | Nov | -1.65             | -3.02    |
| 1987             | 5       | Ago      | Dic | -1.96             | -7.48    |
| 1988             | 3       | Set      | Nov | -1.79             | -4.76    |
| 1989             | 4       | Set      | Dic | -1.46             | -5.24    |
| 1990             | 2       | Oct      | Nov | -1.41             | -2.76    |
| 1991             | 4       | Set      | Feb | -1.86             | -8.91    |
| 1992             | 6       | Jun      | Nov | -1.92             | -7.43    |
| 1993             | 2       | Set      | Oct | -1.84             | -3.22    |
| 1994             | 4       | Set      | Dic | -2.80             | -7.63    |
| 1995             | 4       | Set      | Dic | -2.46             | -8.21    |
| 1996             | 3       | Set      | Nov | -1.92             | -4.77    |
| 1997             | 2       | Set      | Oct | -1.39             | -2.65    |
| 1998             | 4       | Set      | Dic | -2.20             | -6.48    |
| 2000             | 1       | Oct      | Oct | -1.18             | -1.18    |
| 2001             | 3       | Set      | Nov | -1.61             | -4.13    |
| 2002             | 1       | Oct      | Oct | -1.06             | -1.06    |
| 2003             | 3       | Set      | Nov | -1.89             | -5.20    |
| 2004             | 3       | Set      | Nov | -1.98             | -4.40    |

|      |   |     |     |       |       |
|------|---|-----|-----|-------|-------|
| 2005 | 2 | Oct | Nov | -1.59 | -3.04 |
| 2006 | 2 | Set | Oct | -1.54 | -2.60 |
| 2007 | 3 | Set | Nov | -2.11 | -4.92 |
| 2008 | 3 | Set | Nov | -1.95 | -4.78 |
| 2009 | 2 | Set | Oct | -1.14 | -2.20 |
| 2010 | 3 | Set | Nov | -2.66 | -6.41 |
| 2011 | 3 | Set | Nov | -2.28 | -4.79 |
| 2012 | 2 | Oct | Nov | -1.41 | -2.48 |
| 2013 | 3 | Set | Nov | -1.84 | -5.26 |
| 2014 | 2 | Set | Oct | -1.26 | -2.48 |
| 2015 | 3 | Set | Nov | -1.65 | -4.26 |
| 2016 | 3 | Set | Nov | -1.63 | -3.68 |
| 2017 | 3 | Set | Nov | -1.21 | -3.37 |
| 2018 | 3 | Oct | Dic | -1.26 | -3.67 |
| 2019 | 2 | Set | Oct | -1.49 | -2.74 |

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla 17, describe los eventos presentados año tras año, su duración, intensidad mínima alcanzada y su severidad, se aprecia también sequías entre los meses de setiembre y diciembre para la escala de 6 meses. En El periodo analizado (1964 al 2019), no se presentó sequías en 1967, 1982, 1984, 1985 y 1999 en la estación de Carania. El color amarillo indica sequía moderada, la de color anaranjado es severa y la de color rojo extremadamente seca.

**Tabla 18.** Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía para la escala de 6 meses, Estación Vilca 1964 – 2019

| ESTACIÓN VILCA |         |          |     |                   |          |
|----------------|---------|----------|-----|-------------------|----------|
| Año            | Eventos | Duración |     | Intensidad Máxima | Magnitud |
|                |         | Inicio   | Fin |                   |          |
| 1964           | 2       | Oct      | Nov | -1.24             | -2.35    |
| 1968           | 3       | Set      | Nov | -1.81             | -4.46    |
| 1969           | 4       | Jul      | Oct | -1.84             | -6.03    |
| 1970           | 2       | Set      | Oct | -1.05             | -2.07    |
| 1971           | 4       | Set      | Dic | -3.69             | -10.90   |
| 1972           | 2       | Set      | Oct | -2.13             | -3.44    |
| 1973           | 2       | Set      | Oct | -1.85             | -3.37    |
| 1974           | 3       | Set      | Nov | -1.26             | -3.60    |
| 1975           | 3       | Set      | Nov | -1.94             | -4.90    |

|      |   |     |     |       |        |
|------|---|-----|-----|-------|--------|
| 1976 | 4 | Set | Dic | -1.49 | -5.31  |
| 1977 | 4 | Set | Dic | -2.28 | -7.10  |
| 1978 | 5 | Ago | Dic | -2.47 | -7.72  |
| 1979 | 4 | Set | Ene | -2.82 | -9.72  |
| 1980 | 1 | Set | Set | -1.53 | -1.53  |
| 1981 | 1 | Oct | Oct | -1.58 | -1.58  |
| 1982 | 3 | Set | Nov | -2.19 | -4.85  |
| 1983 | 5 | Ago | Dic | -2.26 | -9.21  |
| 1984 | 1 | Nov | Nov | -1.01 | -1.01  |
| 1985 | 3 | Set | Nov | -1.13 | -3.24  |
| 1986 | 3 | Oct | Dic | -2.24 | -5.08  |
| 1987 | 3 | Ago | Oct | -1.84 | -4.10  |
| 1988 | 2 | Oct | Nov | -1.18 | -2.34  |
| 1989 | 2 | Set | Nov | -1.54 | -2.79  |
| 1990 | 4 | Set | Dic | -1.44 | -4.93  |
| 1991 | 3 | Oct | Dic | -1.55 | -4.08  |
| 1992 | 6 | Jul | Dic | -2.11 | -10.02 |
| 1996 | 2 | Set | Oct | -1.31 | -2.59  |
| 1997 | 2 | Ago | Set | -1.21 | -2.33  |
| 1998 | 2 | Set | Oct | -1.49 | -2.99  |
| 1999 | 1 | Oct | Oct | -1.09 | -1.09  |
| 2000 | 2 | Set | Oct | -1.06 | -2.11  |
| 2001 | 1 | Set | Set | -1.03 | -1.03  |
| 2005 | 2 | Oct | Nov | -1.13 | -2.14  |
| 2007 | 1 | Oct | Oct | -1.02 | -1.02  |
| 2008 | 3 | Set | Nov | -1.35 | -3.63  |
| 2010 | 3 | Set | Nov | -1.48 | -3.94  |
| 2013 | 1 | Oct | Oct | -1.01 | -1.01  |
| 2014 | 3 | Set | Nov | -1.36 | -3.77  |
| 2015 | 1 | Oct | Oct | -1.24 | -1.24  |
| 2016 | 2 | Set | Oct | -1.45 | -2.56  |
| 2018 | 1 | Set | Set | -1.00 | -1.00  |
| 2019 | 1 | Oct | Oct | -1.36 | -1.36  |

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla 18, en la estación de Vilca las sequías de categoría extremadamente secas se presentaron entre 1971 al 1986, resaltando dos episodios de severidad extremadamente fuerte, la de 1971 y de 1979 con una duración de 4 meses y 5 meses respectivamente. Las sequías que detectan el SPI para la escala de tiempo de 6 meses corresponde a los meses comprendidos entre setiembre y enero. Asimismo, el análisis muestra sequías de categoría leve para los últimos 19 años analizados para esta estación.

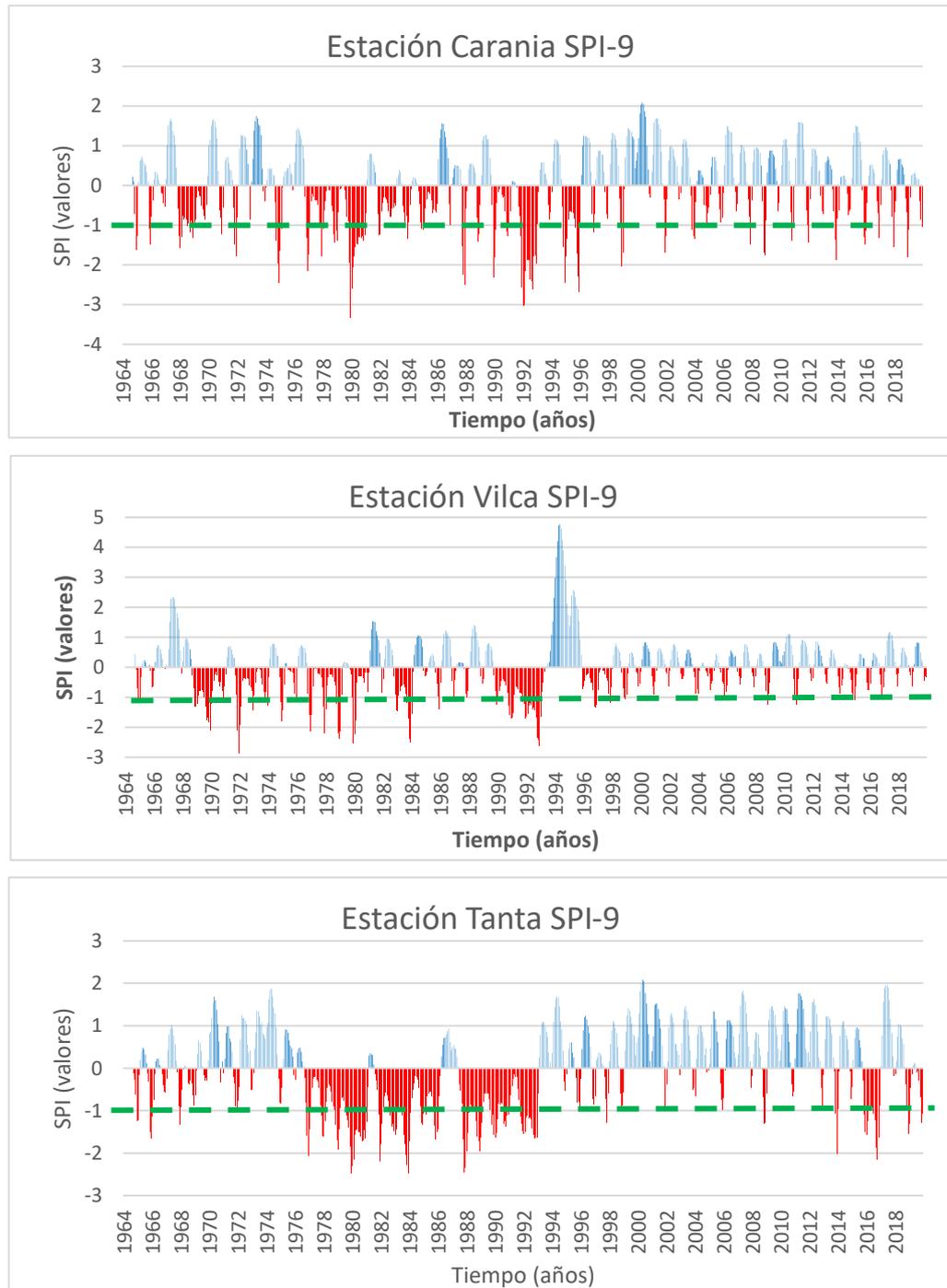
**Tabla 19.** Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía para la escala de 6 meses, Estación Tanta 1964 – 2019

| ESTACIÓN TANTA |         |          |     |                      |          |
|----------------|---------|----------|-----|----------------------|----------|
| Año            | Eventos | Duración |     | Intensidad<br>Máxima | Magnitud |
|                |         | Inicio   | Fin |                      |          |
| 1964           | 3       | Set      | Nov | -1.53                | -3.83    |
| 1965           | 3       | Set      | Nov | -1.76                | -4.66    |
| 1967           | 1       | Set      | Set | -1.12                | -1.12    |
| 1971           | 3       | Set      | Nov | -1.80                | -4.56    |
| 1972           | 1       | Oct      | Oct | -1.54                | -1.54    |
| 1974           | 1       | Oct      | Oct | -1.30                | -1.30    |
| 1976           | 4       | Set      | Dic | -1.61                | -5.80    |
| 1977           | 3       | Set      | Nov | -1.75                | -4.36    |
| 1978           | 4       | Set      | Dic | -1.30                | -4.75    |
| 1979           | 5       | Set      | Ene | -2.08                | -8.43    |
| 1980           | 3       | Ago      | Oct | -2.04                | -4.64    |
| 1981           | 4       | Set      | Dic | -1.91                | -6.20    |
| 1982           | 3       | Set      | Nov | -1.60                | -4.03    |
| 1983           | 5       | Ago      | Dic | -2.06                | -8.28    |
| 1984           | 3       | Oct      | Dic | -1.16                | -3.37    |
| 1985           | 3       | Oct      | Dic | -1.45                | -3.83    |
| 1987           | 5       | Ago      | Dic | -1.91                | -7.86    |
| 1988           | 4       | Set      | Dic | -2.15                | -6.35    |
| 1989           | 2       | Set      | Oct | -1.63                | -3.05    |
| 1990           | 1       | Oct      | Oct | -1.23                | -1.23    |
| 1991           | 3       | Oct      | Dic | -1.30                | -3.58    |
| 1992           | 4       | Ago      | Nov | -1.68                | -5.25    |
| 1995           | 2       | Set      | Oct | -1.34                | -2.59    |
| 1996           | 2       | Oct      | Nov | -1.35                | -2.55    |
| 1997           | 3       | Ago      | Oct | -1.54                | -4.08    |
| 1998           | 2       | Set      | Oct | -1.34                | -2.45    |
| 2001           | 2       | Set      | Oct | -1.52                | -2.75    |
| 2003           | 3       | Set      | Nov | -1.36                | -3.55    |
| 2005           | 3       | Set      | Nov | -2.13                | -4.86    |
| 2006           | 1       | Oct      | Oct | -1.02                | -1.02    |
| 2008           | 3       | Set      | Nov | -1.91                | -4.81    |
| 2010           | 2       | Set      | Oct | -1.67                | -3.32    |
| 2012           | 2       | Set      | Oct | -1.78                | -2.91    |
| 2013           | 3       | Set      | Nov | -5.07                | -7.83    |
| 2015           | 3       | Set      | Nov | -1.85                | -5.02    |
| 2016           | 4       | Jul      | Oct | -4.84                | -11.47   |
| 2018           | 4       | Set      | Dic | -1.71                | -5.63    |

|      |   |     |     |       |       |
|------|---|-----|-----|-------|-------|
| 2019 | 3 | Set | Nov | -1.38 | -3.83 |
|------|---|-----|-----|-------|-------|

La tabla 19, describe la intensidad mínima y la magnitud alcanzada para la escala de 6 meses en la estación de Tanta, según el SPI6 indica que 17 años no se presentó sequías. La sequía de mayor intensidad (extremadamente seco) sucedió en 2016 su duración fue de 4 meses y con una severidad de -11.47 (extremadamente fuerte).

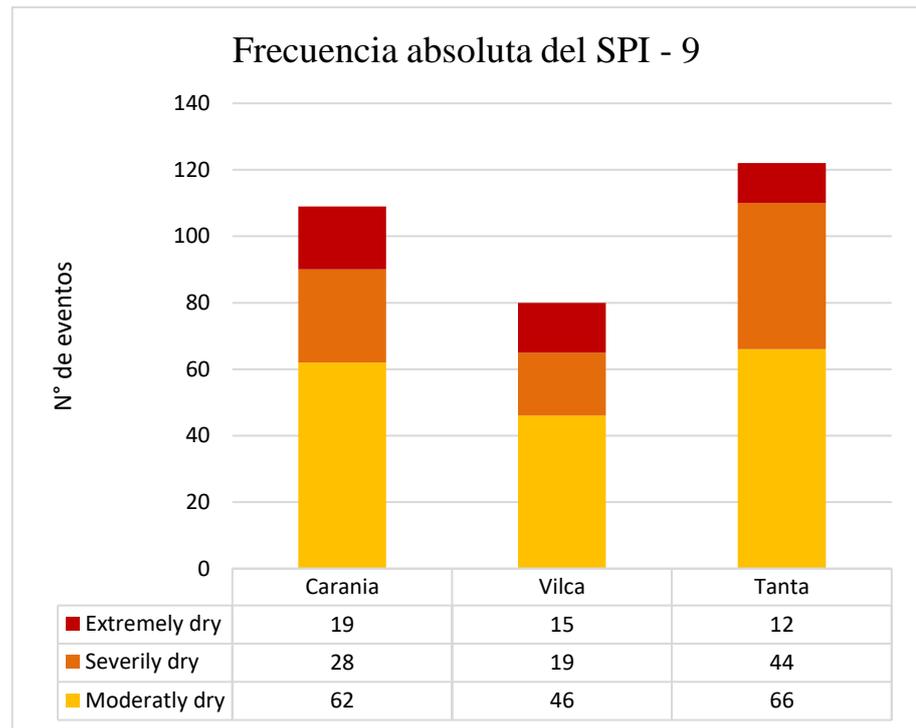
**4.1.3 Objetivo 3:** Características de las sequías según el SPI para la escala de 9 meses en las estaciones meteorológicas de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochabambas.



**Figura 28.** Variación temporal de las sequías para la escala temporal de 9 meses presentadas en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta, periodo 1964 – 2019.

La figura 28, presenta las sequías para la escala temporal de 9 meses, los cambios no son tan frecuentes comparándolos con los del SPI3 y SPI6, en la imagen se observa de forma más clara los episodios secos (en color rojo) y los húmedos(azul) con mayor claridad, destacándose sequías entre 1979 al 1980 y 1991 al 1992 para la estación de Carania y 1979 al 1980, 1983, 1987, 1991 a 1992 y 2016 en la estación de Tanta.

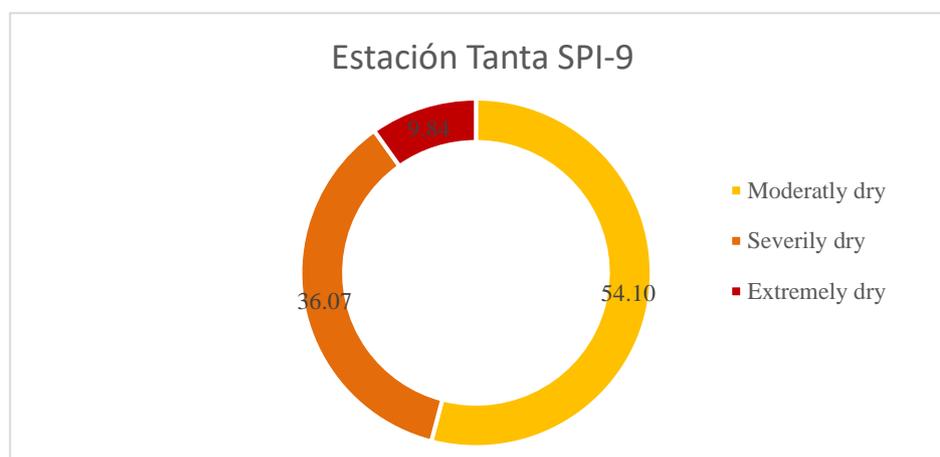
#### 4.1.3.1 Frecuencia absoluta de los eventos en las tres estaciones según el SPI para la escala de 9 meses



**Figura 29.** Frecuencia absoluta de las categorías de las sequías según el SPI para la escala de tiempo de 9 meses.

**Fuente:** Elaboración propia

La figura muestra el número de episodios secos por categoría en cada estación para la escala de 9 meses, resaltando la mayor cantidad de eventos secos de categoría moderada en todas las estaciones, siendo además la estación de Tanta la que presenta mayor número de eventos, seguido por la Estación Carania y al final se encuentra con menor número la estación de Vilca para esta categoría. Sin embargo, las sequías de categoría extremadamente seca, tiene mayor porcentaje de ocurrencia en la estación Carania en comparación con las estaciones de Tanta y Vilca.

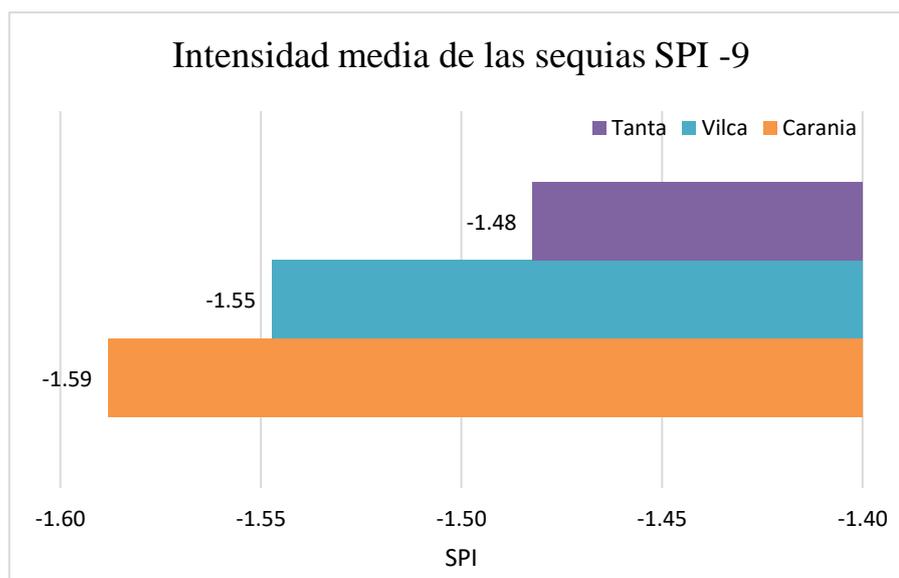


**Figura 30.** Frecuencia relativa de las sequías según el SPI para la escala de 9 meses

**Fuente:** Elaboración propia

La figura describe la frecuencia relativa expresada en porcentajes de las sequías presentadas según categoría y por estación, indicando que las sequías extremadamente secas son las que escasamente suceden.

### 4.1.3.2 Intensidad media



**Figura 31.** Intensidad media de las sequías presentadas para la escala temporal de 9 meses, periodo 1964 – 2019.

**Fuente.** Elaboración propia

La intensidad media es presentada en la figura 31 para la escala de 9 meses, siendo en esta oportunidad la Estación Carania la que alcanza la mayor intensidad media con un valor de -1.59, seguido por la estación de Vilca y al final se encuentra Carania.

### 4.1.3.3 Valor extremo

**Tabla 20.** Intensidad máxima del SPI para la escala de 9 meses

| Estación                       | Altitud (m.s.n.m) | Intensidad mínima | Fecha          |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| Estación meteorológica Carania | 3840              | -3.34             | Diciembre 1979 |
| Estación meteorológica Vilca   | 3832              | -2.85             | Diciembre 1971 |
| Estación meteorológica Tanta   | 4323              | -2.48             | Diciembre 1983 |

En la tabla 20, se aprecia los valores extremos alcanzados para la escala de 9 meses en las tres estaciones y el mes de su ocurrencia. La estación de Carania alcanza una intensidad mínima de -3.34, le sigue la estación de Vilca con -2.85 y al final está la estación de Tanta con -2.48 calificados como extremadamente seco para esta escala y el periodo analizado.

#### 4.1.3.4 Duración, intensidad y severidad

**Tabla 21.** Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía de la estación meteorológica Carania

| ESTACIÓN CARANIA |          |          |                   |          |                       |
|------------------|----------|----------|-------------------|----------|-----------------------|
| Eventos          | Duración |          | Intensidad Máxima | Magnitud | Categoría             |
|                  | Inicio   | Fin      |                   |          |                       |
| 2                | Dic-1964 | Ene-1965 | -1.61             | -2.88    | Poco fuerte           |
| 2                | Nov-1965 | Dic-1965 | -1.48             | -2.56    | Poco fuerte           |
| 2                | Dic-1967 | Feb-1968 | -1.58             | -2.84    | Poco fuerte           |
| 6                | Jul-1968 | Dic-1968 | -1.31             | -7.42    | Extremadamente fuerte |
| 1                | Dic-1970 | Dic-1970 | -1.23             | -1.23    | Leve                  |
| 2                | Nov-1971 | Dic-1971 | -1.77             | -3.25    | Fuerte                |
| 5                | Oct-1974 | Feb-1974 | -2.45             | -8.51    | Extremadamente fuerte |
| 4                | Nov-1976 | Feb-1977 | -2.14             | -6.18    | Extremadamente fuerte |
| 3                | Nov-1977 | Ene-1978 | -1.77             | -3.91    | Fuerte                |
| 4                | Oct-1978 | Ene-1979 | -1.42             | -5.17    | Extremadamente fuerte |
| 14               | Nov-1979 | Dic-1980 | -3.34             | -23.74   | Extremadamente fuerte |
| 2                | Dic-1981 | Ene-1982 | -1.25             | -1.47    | Leve                  |
| 1                | Dic-1983 | Dic-1983 | -1.34             | -1.34    | Leve                  |
| 3                | Dic-1984 | Feb-1985 | -1.09             | -3.32    | Fuerte                |
| 3                | Oct-1987 | Dic-1987 | -2.49             | -6.25    | Extremadamente fuerte |
| 2                | Nov-1988 | Dic-1988 | -1.40             | -2.63    | Poco fuerte           |
| 3                | Dic-1989 | Feb-1990 | -2.30             | -5.20    | Extremadamente fuerte |
| 4                | Nov-1990 | Ene-1991 | -1.27             | -3.46    | Fuerte                |
| 14               | Nov-1991 | Dic-1992 | -3.02             | -30.45   | Extremadamente fuerte |
| 4                | Nov-1994 | Feb-1995 | -2.45             | -7.13    | Extremadamente fuerte |
| 4                | Nov-1990 | Ene-1991 | -1.27             | -3.46    | Fuerte                |
| 14               | Nov-1991 | Dic-1992 | -3.02             | -30.45   | Extremadamente fuerte |
| 4                | Nov-1994 | Feb-1995 | -2.45             | -7.13    | Extremadamente fuerte |
| 4                | Set-1995 | Dic-1995 | -2.68             | -7.75    | Extremadamente fuerte |
| 1                | Dic-1996 | Dic-1996 | -1.17             | -1.17    | Leve                  |
| 3                | Nov-1998 | Ene-1999 | -2.03             | -4.75    | Muy fuerte            |
| 1                | Dic-2001 | Ene-2002 | -1.69             | -2.96    | Poco fuerte           |

|   |          |          |       |       |             |
|---|----------|----------|-------|-------|-------------|
| 3 | Nov-2003 | Ene-2004 | -1.35 | -3.74 | Fuerte      |
| 1 | Nov-2004 | Nov-2004 | -1.35 | -1.35 | Leve        |
| 1 | Dic-2007 | Dic-2007 | -1.48 | -1.48 | Leve        |
| 2 | Nov-2008 | Dic-2008 | -1.76 | -3.44 | Fuerte      |
| 1 | Nov-2010 | Nov-2010 | -1.38 | -1.38 | Leve        |
| 1 | Ene-2012 | Ene-2012 | -1.42 | -1.42 | Leve        |
| 2 | Nov-2013 | Dic-2013 | -1.86 | -3.21 | Fuerte      |
| 3 | Nov-2015 | Ene-2016 | -1.49 | -3.91 | Fuerte      |
| 1 | Dic-2016 | Dic-2016 | -1.32 | -1.32 | Leve        |
| 1 | Dic-2017 | Dic-2017 | -1.55 | -1.55 | Leve        |
| 2 | Dic-2018 | Ene-2019 | -1.80 | -2.90 | Poco fuerte |
| 1 | Dic-2019 | Dic-2019 | -1.03 | -1.03 | Leve        |

**Fuente:** Elaboración propia

La tabla 21 muestra también la severidad de las sequías de leve hasta extremadamente fuerte en la estación de Carania. Para el periodo analizado y para la escala de 9 meses se tiene 10 episodios extremadamente fuerte, 1 muy fuerte, 8 fuerte, 6 poco fuerte y 10 leves.

**Tabla 22.** Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía de la estación meteorológica Vilca

| ESTACIÓN VILCA |          |          |                      |                                |                              |
|----------------|----------|----------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Eventos        | Duración |          | Intensidad<br>Mínima | Magnitud<br>de la<br>severidad | Categoría de la<br>severidad |
|                | Inicio   | Fin      |                      |                                |                              |
| 1              | Dic-1964 | Ene-1965 | -1.04                | -1.04                          | Leve                         |
| 3              | Nov-1968 | Ene-1969 | -1.31                | -3.83                          | Fuerte                       |
| 7              | Jul-1969 | Ene-1970 | -2.10                | -10.83                         | Extremadamente fuerte        |
| 1              | Nov-1970 | Nov-1970 | -1.05                | -1.05                          | Leve                         |
| 4              | Nov-1971 | Feb-1972 | -2.85                | -8.18                          | Extremadamente fuerte        |
| 1              | Dic-1972 | Dic-1972 | -1.43                | -1.43                          | Leve                         |
| 2              | Nov-1973 | Dic-1973 | -1.27                | -2.38                          | Poco fuerte                  |
| 3              | Nov-1974 | Ene-1975 | -1.78                | -4.34                          | Muy fuerte                   |
| 1              | Dic-1975 | Dic-1975 | -1.15                | -1.15                          | Leve                         |
| 3              | Nov-1976 | Ene-1977 | -2.14                | -5.31                          | Extremadamente fuerte        |
| 3              | Dic-1977 | Ene-1978 | -2.19                | -5.06                          | Extremadamente fuerte        |

|    |          |          |       |        |                       |
|----|----------|----------|-------|--------|-----------------------|
| 4  | Oct-1978 | Ene-1979 | -2.36 | -7.88  | Extremadamente fuerte |
| 4  | Nov-1979 | Feb-1980 | -2.53 | -7.51  | Extremadamente fuerte |
| 2  | Dic-1982 | Ene-1983 | -1.46 | -2.88  | Poco fuerte           |
| 5  | Set-1983 | Ene-1984 | -2.49 | -9.29  | Extremadamente fuerte |
| 1  | Dic-1985 | Dic-1985 | -1.38 | -1.38  | Leve                  |
| 1  | Dic-1986 | Dic-1986 | -1.09 | -1.09  | Leve                  |
| 2  | Dic-1989 | Ene-1990 | -1.25 | -2.32  | Poco fuerte           |
| 5  | Oct-1990 | Feb-1991 | -1.71 | -7.76  | Extremadamente fuerte |
| 16 | Oct-1991 | Ene-1993 | -2.60 | -25.89 | Extremadamente fuerte |
| 3  | Oct-1996 | Dic-1996 | -1.32 | -3.87  | Fuerte                |
| 1  | Nov-1997 | Nov-1997 | -1.19 | -1.19  | Leve                  |
| 2  | Nov-1998 | Dic-1998 | -1.04 | -2.05  | Poco fuerte           |
| 1  | Nov-2008 | Nov-2008 | -1.25 | -1.25  | Leve                  |
| 1  | Nov-2010 | Nov-2010 | -1.24 | -1.24  | Leve                  |
| 2  | Nov-2014 | Dic-2014 | -1.09 | -2.16  | Poco fuerte           |

En la tabla 22 se observa la intensidad mínima pero también la duración y la severidad del episodio, obteniéndose para el SPI9 según su severidad 26 episodios de los cuales 9 fueron leves, 5 poco fuerte, 2 fuertes, 1 muy fuerte y 9 extremadamente secos. Resalta la sequía que se inicia en octubre de 1991 y finaliza en enero de 1993, teniendo una duración de 16 meses en la estación de Vilca.

**Tabla 23.** Duración, intensidad máxima y severidad de la sequía en la Estación meteorológica de Tanta

| ESTACIÓN TANTA |          |          |                   |                          |                           |
|----------------|----------|----------|-------------------|--------------------------|---------------------------|
| Eventos        | Duración |          | Intensidad Mínima | Magnitud de la severidad | Categoría de la severidad |
|                | Inicio   | Fin      |                   |                          |                           |
| 2              | Dic-1964 | Ene-1965 | -1.24             | -2.46                    | Poco fuerte               |
| 3              | Nov-1965 | Ene-1966 | -1.65             | -4.37                    | Muy fuerte                |
| 1              | Dic-1967 | Dic-1967 | -1.34             | -1.34                    | Leve                      |
| 1              | Dic-1971 | Dic-1971 | -1.04             | -1.04                    | Leve                      |
| 3              | Nov-1976 | Ene-1977 | -2.06             | -5.07                    | Extremadamente fuerte     |
| 4              | Nov-1977 | Feb-1978 | -1.61             | -5.55                    | Extremadamente fuerte     |
| 4              | Nov-1978 | Feb-1979 | -1.91             | -6.38                    | Extremadamente fuerte     |
| 19             | Jul-1979 | Ene-1981 | -2.47             | -30.43                   | Extremadamente fuerte     |

|    |          |          |       |        |                       |
|----|----------|----------|-------|--------|-----------------------|
| 4  | Nov-1981 | Feb-1982 | -2.19 | -6.38  | Extremadamente fuerte |
| 7  | Set-1982 | Mar-1983 | -1.56 | -9.31  | Extremadamente fuerte |
| 8  | Jul-1983 | Feb-1984 | -2.48 | -14.04 | Extremadamente fuerte |
| 3  | Nov-1984 | Ene-1985 | -1.34 | -3.73  | Fuerte                |
| 4  | Oct-1985 | Ene-1986 | -1.67 | -5.99  | Extremadamente fuerte |
| 6  | Oct-1987 | Mar-1988 | -2.45 | -11.02 | Extremadamente fuerte |
| 7  | Ago-1988 | Feb-1989 | -1.96 | -10.48 | Extremadamente fuerte |
| 6  | Oct-1989 | Mar-1990 | -1.63 | -8.33  | Extremadamente fuerte |
| 5  | Ago-1990 | Dic-1990 | -1.38 | -6.13  | Extremadamente fuerte |
| 15 | Oct-1991 | Dic-1992 | -1.63 | -20.72 | Extremadamente fuerte |
| 1  | Nov-1997 | Nov-1997 | -1.29 | -1.29  | Leve                  |
| 2  | Nov-2008 | Dic-2008 | -1.31 | -2.59  | Poco fuerte           |
| 2  | Nov-2013 | Dic-2013 | -2.03 | -3.10  | Fuerte                |
| 4  | Nov-2015 | Feb-2016 | -1.58 | -5.43  | Extremadamente fuerte |
| 5  | Jul-2016 | Nov-2016 | -2.15 | -7.96  | Extremadamente fuerte |
| 2  | Dic-2018 | Ene-2018 | -1.55 | -2.86  | Poco fuerte           |
| 2  | Nov-2019 | Dic-2019 | -1.29 | -2.37  | Poco fuerte           |

Para la estación de Tanta, se presentaron 25 episodios secos según el SPI9, siendo la sequía de octubre de 1991 a diciembre de 1992 la que más resalta por su severidad (-20.72) y su duración (15 meses), se presentaron también 3 eventos de severidad leve, 4 poco fuerte, 2 fuerte, 1 muy fuerte y 15 extremadamente fuerte.

## 4.2 Discusión de resultados

### 4.2.1 Sequías según el SPI para la escala de tiempo de 3 meses en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta

La figura 20 muestra las variaciones de los valores de SPI para la escala de 3 meses; son consideradas sequías siempre en cuando sobrepasan el umbral de -1 en el valor de SPI (49). De acuerdo a la gráfica se observa mayor presencia de sequías entre los años 1987 al 2011 para la estación de Caranía; mientras que en la estación de Vilca la mayor

frecuencia se observa en el periodo 1968 al 1988; en la estación de Tanta hubo episodios secos entre 1964 al 1972; 1977 al 1984 y 2001 al 2016, estos últimos son de intensidades más severas.

La frecuencia absoluta de las sequías para la escala de tiempo de 3 meses se muestra en la figura 21, Carania tuvo 46 episodios moderadamente seco, 13 severamente secos y 42 fueron extremadamente seco; mientras que la estación de Vilca registro 58 eventos moderadamente secos, 27 severamente y 24 de categoría extrema; finalmente la estación de Tanta, registro 61 eventos de categoría moderada, 20 severas y 21 extremas. La mayor frecuencia de la categoría moderada se da en la estación Tanta, mientras que la categoría severa está en la estación vilca y Carania tiene la mayor frecuencia en la categoría extrema.

La intensidad media para los 56 años analizados indica en la figura 23 para la Estación Carania un valor de -1.76, seguido de Tanta con -1.68 y luego está Vilca con -1.6 de intensidad, mostrando que en el área de estudio suelen presentarse sequías de la categoría severamente seca (49) durante los meses de julio, agosto, setiembre y escasamente en octubre y noviembre.

La tabla 12, indica el valor extremo en la escala de SPI, las tres estaciones presentan intensidades extremadamente secas, pero la Estación de Tanta ubicada a una altitud de 4323 m.s.n.m es la que obtuvo el valor más extremo -3.4, para la escala de 3 meses registrada en julio de 1981.

Las tablas 13, 14, y 15 muestran como resultado la severidad de las sequías para la escala de 3 meses, observándose claramente que la intensidad máxima y la severidad de la sequía coinciden con la época seca o estiaje para esta zona cuando se analiza a la escala temporal de 3 meses. Resaltan, además 10 episodios de severidad extremadamente fuerte para Carania, 13 para Vilca y 12 para la estación de Tanta. Asimismo, la intensidad y la severidad de la sequía se incrementa para la estación Carania, disminuye para la estación de Vilca, mientras que se intensifica en los últimos 20 años para la estación de Tanta. Las sequías de severidad extremadamente fuerte fueron en 1991, 1992, 1994, 1995, 1996, 1998, 2003, 2004, 2010 y 2011 con valores de -7.26, -6.56, -7.63, -9.34, -5.97, -6.05, -6.93, -7.26, -9.47 y -7.26 respectivamente para la estación Carania; 1969, 1971, 1972, 1975, 1977, 1978, 1980, 1981, 1982, 1983, 1986, 1992 y 2016 para la estación de Vilca, con valores de -5.02, -12.95, -6.99, -5.33, -7.65, -6.48, -5.12, -6.54, -6.26, -7.31, -5.58, -5.98, -5.41 para los años mencionados; y 1979, 1981, 2005, 2008, 2010, 2011, 2013, 2015 y 2016 para la estación de Tanta, con valores de -5.32, -5.86, -6.47, -6.55, -6.79, -6.79, -13.06, -6.75 y -11.47 sucesivamente.

El SPI evaluado para esta escala, podrían indicar el desarrollo de una sequía a mediano y largo plazo como la del año 1991, 1992 y 2004 que afectó en la cantidad de precipitación a la estación de Carania y la del 2016 a Tanta. Asimismo, las tablas muestran la duración de las sequías para esta escala destacando los eventos sucedidos en los años 1994, 1995 y el 2010 con 4, y 5 meses de duración respectivamente en Carania; mientras que en Vilca la duración máxima alcanzada fue de 6 meses en 1971 y en Tanta con 4 meses de duración se presentaron en 1979, 1980, 1988, 2013 y 2016.

#### **4.2.2 Sequías según el SPI para la escala de tiempo de 6 meses en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta**

En la figura 24, se muestra las variaciones de los valores de SPI para la escala de 6 meses, aquí se puede apreciar mejor las sequías de grandes impactos en el Perú y efectos en la agricultura. En la estación Carania se tuvo el récord histórico para esta escala en 1994 con un valor de -2.79; la Estación Vilca sobrepasó el registro de Carania, alcanzando -3.68 en 1971; mientras que en Tanta se tuvo registros de -5.06 y -4.84 sucedidos en los años 2013 y 2016 respectivamente.

La frecuencia absoluta de los eventos (figura 25), señala a la Estación de Carania con mayor cantidad de episodios secos (134) de los cuales 61.94% corresponden a la categoría moderadamente seco, 21.85% severamente seco y 8.21% son extremadamente secos. La estación Vilca presentó 109 sucesos secos, 62.39% fueron moderadamente secos, 21.10% severamente secos y 16.51 extremadamente secos. Mientras que la Estación Tanta, de los 112, 61, 61% corresponde a la categoría moderadamente seca, 33.04% son severamente seca y el 5.36% extremadamente seca.

La figura 27, muestra la intensidad media de la sequía sucedidas durante el periodo analizado 1964 al 2019, las diferencias son escasas ya que los valores son: -1.495, -1.490, -1.464 las cuales corresponden a la estación de Tanta, Vilca y Carania respectivamente. Asimismo, por los valores alcanzados se puede decir que las sequías presentadas para esta escala son de categoría moderadamente seca (49)

En la tabla 16, se muestra la intensidad máxima alcanzada por estación para la escala de 6 meses, siendo la Estación de Tanta ubicada a una altura de 4323 m.s.n.m. la que registró el valor extremo de -5.07 de SPI obtenido para el mes de setiembre del 2013. Le sigue en orden decreciente la estación meteorológica de Vilca con intensidad máxima de -3.69 en octubre de 1971 y luego Carania con -2.80 en octubre de 1994.

Las tablas 17, 18 y 19 se evidencian la severidad de las sequías de la época sub húmeda (setiembre octubre y noviembre) en la RPNYC; en la estación Carania se registraron 14 años con sequías extremadamente fuertes para esta escala de tiempo, 1971 (-5.99), 1974 (-5.35), 1976 (-5.23), 1979 (-8.97), 1987 (-7.48), 1989 (-5.24), 1991 (-8.91), 1992 (-7.43), 1994 (-7.63), 1995 (-8.21), 1998 (-6.48), 2003 (-5.20), 2010 (-6.41) y 2013 (-5.26) resaltando la de 1979 y 1987 con una duración de 5 meses y otros dos más largas del año 1991 y 1992 de 6 meses. En la estación Vilca la severidad de la sequía ha ido disminuyendo para los 17 últimos años evaluados para esta estación y las sequías de severidad extremadamente fuerte se presentaron en 1969, 1971, 1976, 1977, 1978, 1979, 1983, 1986 y 1992; en 1978 y 1983 de 5 meses de duración y el año 1992 de 6 meses (julio a diciembre). Las sequías de severidad extremadamente fuerte para la estación de Tanta fueron en 1976, 1979, 1981, 1983, 1987, 1992, 2013, 2015, 2016 y 2018 siendo de duración más larga en 1979, 1983 y 1987.

#### **4.2.3 Sequías según el SPI para la escala de tiempo de 9 meses en las estaciones meteorológicas de Carania, Vilca y Tanta**

La figura 28, se aprecia la variación del SPI para la escala temporal de 9 meses, predominan la presencia de sequías para la etapa húmeda es decir diciembre, enero y febrero; sin embargo, se observa que estas abarcan también otras estaciones del año. Los años 1974, 1976, 1973, 1978, 1989, 1991, 1992, 1994 y 1995 sobrepasan el umbral de -2 en la estación Carania; mientras que, en la Estación Vilca, son 1971, 1976, 1977, 1978, 1979 y 1992; para Tanta son en 1979, 1980, 1983, 1987 y 2016

La frecuencia absoluta se observa en la figura 29, siendo Tanta el que registro la mayor cantidad de episodios de sequía para esta escala con 122, le sigue Carania con 109 y Vilca con 80 eventos; esto podría deberse a la variabilidad espacial de las precipitaciones, aumentando en algunas y disminuyendo en otras.

La intensidad media (figura 31), muestra a la Estación Carania con un valor de -1.59 (categoría severa), le sigue Vilca con -1.55 (categoría severa) y finalmente esta Tanta con -1.48 (categoría moderada) para la escala de 9 meses.

La intensidad máxima para el SPI escala de 9 meses se tiene a la estación meteorológica Carania con -3.34 en diciembre de 1979, luego está la estación de Vilca en diciembre de 1971 con -2.85 y la estación de Tanta -2.48 en diciembre de 1983, todos de intensidades extremadamente seco se observa en la tabla 20.

En la tabla 21, 22, y 23; se observan las sequías de intensidad moderada, severa y extremadamente seco con duraciones desde un mes hasta 19 meses haciéndose más severo por el tiempo en que duraron los eventos; asimismo, se presenta la intensidad máxima y severidad de las sequías registradas para las 3 estaciones de la RPNYC; los años con sequías de severidad extremadamente fuerte en la estación Carania fueron en 1968 con una duración de seis meses; la de 1974-1975 de cinco meses, esta inicio en octubre y terminó en febrero del año siguiente; la de 1976-1977, que inició noviembre y terminó en febrero; la de 1978-1979 con 4 meses de duración, la 1979-1980, esta sequía inicia en noviembre y termina en diciembre del siguiente año (14 meses), alcanzando el valor de -23.74 (severidad extremadamente fuerte), se tuvo también en 1987 (3 meses), 1989-1990 (3 meses), la de 1991-1992 con 14 meses de duración, alcanzando el récord histórico y valor crítico en severidad con -30.45, luego la de 1994-1995 (4 meses) y 1995 (4 meses). En la estación Vilca se presentaron sequías de severidad extremadamente fuerte (-10.83) de 1969-1970 con una duración de 7 meses, la de 1971-1972 de 4 meses de duración y de severidad -8.18; de 1976-1977 de 3 meses de duración, 1977-1978, 1978-1979, 1979-1980, 1983-1984 y 1991-1993, esta última de una duración de 16 meses y de severidad -25.89 para esta estación. La estación de Tanta presenta sequías de severidad extremadamente fuerte los años siguientes: 1976-1977, 1977-1978, 1978-1979, 1979-1981, 1981-1982, 1982-1983, 1983-1984, 1985-1986, 1987-1988, 1988-1989, 1989-1990, 1990, 1991-1992, 2015-2016, 2016; destacan las sequías de julio de 1979 a enero de 1981 con una duración de 19 meses y de severidad -30.43 y la de octubre 1991 a diciembre de 1992 con una duración de 15 meses y severidad -20.72; las sequías presentadas en la zona de estudio siendo eventos climatológicos extremos pudo haber afectado la gran variedad de los ecosistemas naturales por la disminución de la humedad en el suelo, reducción del caudal de las fuentes de agua e impactos en la agricultura, crianza de acuáticos y piscicultura con pérdidas económicas en la RPNYC.

Se tiene información documentada de las sequías que azotaron al territorio peruano como la sequía de 1982 con graves efectos en los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque, esta sequía tuvo efectos diferentes en las tres estaciones y en sus diferentes escalas de tiempo evaluadas. Esto podría deberse a los eventos ENOS, comportamiento de los océanos y la variabilidad de la precipitación afecta de manera diferente en cada estación. Por otro lado la sequía de 1983, afecto a los departamentos del sur de nuestro territorio y las intensidades fueron de la categoría extremadamente seco con efectos económicos y sociales en los departamentos de Moquegua, Arequipa,

Cusco, Tacna, Ayacucho siendo Puno con la sequía más crítica (51), esta sequía tuvo efecto significativo en la estación Tanta y Vilca, mientras que en Carania fue leve.

La sequía de 1985 se presentó al norte del país, sus intensidades fueron de moderadas a severas causando déficit de agua en la población de los departamentos de Amazonas, Ancash, Cajamarca, La Libertad, Lambayeque y Piura. Mientras que en la sierra centro y sur del país las precipitaciones eran irregulares e inferiores a su normalidad (52), el efecto fue de leve a extremadamente en la RPNYC.

La sequía del 1987, de categoría predominantemente moderada tuvo efecto entre el 25 y 50% del territorio nacional con efecto en los departamentos de Amazonas, Apurímac, Huancavelica, Huánuco y Puno. En la estación Tanta y Carania se presentaron sequías de severidad extremadamente fuerte.

La sequía de 1988 de categoría moderada afectó a los departamentos de Amazonas, Pasco, Piura y Tumbes. Sequías de severidad poco fuerte se presentaron en la estación Carania y extremadamente fuerte en Tanta.

La sequía de 1990 de categoría moderada a extrema afectó a 19 departamentos, debido a la ocurrencia durante la campaña agrícola grande, sus impactos en la agricultura y el sector agropecuario fueron significativos. Las tres estaciones tuvieron episodios extremadamente fuertes.

La sequía de 1992, afectó a casi el 100% del territorio peruano, incluyendo las estaciones de la RPNYC siendo los departamentos de Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica, Junín, Lima Moquegua, Pasco y Puno los más afectados. Durante el primer trimestre (enero, febrero y marzo) se registró la magnitud más extrema (-37.6), en el periodo estudiado 1981 al 2018. Los impactos fueron en la agricultura por la falta de semillas para las siguientes campañas por áreas de cultivo pérdidas, la falta de lluvias también ocasiona restricciones de energía eléctrica, asimismo el PBI decreció en 2.8% con respecto al año anterior (52). Los impactos generados en la agricultura no solo fueron por la sequía de 1992 sino también por las sequías acontecidos años previos, la sierra se afectó en 57% en su rendimiento y fue 31% a nivel nacional. Dentro de los cultivos fueron el maíz amiláceo y la papa los que disminuyeron sus rendimientos, las mayores reducciones de maíz amiláceo se presentaron en Ayacucho, Apurímac y Ancash; mientras que Puno, Ancash y Junín fueron de papa. La sequía también afectó para los cultivos de la costa debido a que la sequía afectó la cantidad de agua almacenada en reservorios para el riego de los cultivos de algodón y caña de azúcar. La superficie sembrada del cultivo de algodón disminuyó en Piura en un 31% mientras que en Ica fue del 21% para la campaña agrícola de 1991-1992. La producción de la caña de azúcar disminuyó en un 22% ocasionando problemas económicos en las cooperativas azucareras (52).

Sequía del 2004, tuvo efectos en la parte norte en los departamentos de Amazonas, San Martín, Ancash, Cajamarca, La Libertad y Piura y los departamentos del centro como Ancash, Cajamarca, Huánuco, Junín, Lima y Pasco; la sequía fue de intensidad moderada a severa y sus efectos fueron básicamente de índole local sin embargo, hubo menor oferta interna de productos tales como el arroz y azúcar ocasionando el incremento de sus precios en un 23% según el informe presentado por el Banco Central de Reserva del Perú (52), esta tuvo un efecto leve en la estación de Carania.

Sequía del 2005, fueron moderadas y sus impactos en sus áreas alcanzaron alrededor del 25% en los departamentos de Ancash, Ayacucho, Cusco, Huánuco, Pasco y San Martín mientras que entre 25 al 75% de las áreas para los departamentos de Apurímac, Huancavelica y Junín. El río Amazonas registró su caudal más bajo en los últimos 40 años durante esta sequía (53). No hubo eventos secos de importancia para las diferentes escalas evaluadas a través del SPI en la RPNYC.

#### Sequía 2016

Esta sequía tuvo impacto solo en la estación de Tanta y en los departamentos del sur en un porcentaje cercano al 25% como Apurímac, Cusco, Huancavelica y Puno.

## CONCLUSIONES

- Las sequías evaluadas con SPI para una escala de 3 meses indican periodos con sequías de moderada a extremadamente secos para a estación de estiaje en la RPNYC, se tiene 101 episodios para Carania, 109 para Vilca y 102 para Tanta, destacando de intensidad moderada para todas las estaciones; la intensidad media fluctúa entre -1.60 a -1.76; la intensidad máxima alcanza fue -1.78 para la estación Carania, -3.24 para Vilca y -3.40 para la estación de Tanta. La severidad que es el resultado de la suma de las intensidades por debajo del umbral de -1, indica 10 episodios de severidad extremadamente fuerte para Carania, 13 para Vilca y 9 para Tanta; siendo la más crítica para la estación Carania en 1995 con un valor de -9.34, para Vilca en 1971 con valor de -12.95 y en el 2016 con un valor de -11.47 para la estación de Tanta.
- Las sequías evaluadas para la escala de 6 meses indican sequías para la etapa subhúmeda comprendida en los meses de setiembre, octubre y noviembre en la RPNYC; se registraron 134 eventos en Carania, 109 en Vilca y 112 en Tanta de las tres intensidades, siendo en mayor porcentaje las de intensidad moderadamente seca. La intensidad media es -1.464 para Carania, -1.490 para Vilca, y -1.495 para Tanta; el valor extremo alcanzado fue -2.80 para Carania, -3.69 para Vilca y -5.07 para Tanta. Episodios de severidad extremadamente fuerte fueron 14 en Carania, 9 en Vilca y 10 en Tanta, la de 1991 y 1992 tuvo una duración de seis meses y valores de -8.91 y -7.43 respectivamente para la estación Carania, en la estación Vilca para ese mismo año 1992 con 6 meses de duración y valor -10.02 y el 2016 con un valor de -11.42 en Tanta.
- Para la escala de 9 meses, se tuvo 109 episodios en Carania, 80 en Vilca y 122 en Tanta, intensidades moderadas son más frecuentes. La intensidad media fluctúa entre -1.48 y -1.59, los valores extremos alcanzados para esta escala fueron de -3.34 para Carania, -2.85 para Vilca y -2.48 para Tanta, Los episodios de severidad extremadamente fuerte fueron 10 en Carania, 9 en Vilca y 15 en Tanta siendo la severidad crítica de noviembre de 1991 a diciembre de 1992 con un valor de -30.45 para la estación de Carania; de octubre de 1991 a enero de 1993 con un valor de -25.89 para Vilca; y de julio de 1979 a enero de 1981 con un valor de -30.43 para Tanta.

## **RECOMENDACIONES**

- Analizar las sequías meteorológicas con otros índices recomendado por la Organización Meteorológica Mundial.
- Analizar la tendencia de la duración, frecuencia e intensidad de las sequías.
- Evaluar la relación de la sequía con el fenómeno El Niño.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTÓN, D. y DÍAZ DELGADO, C. *Sequía en el mundo de agua*. Centro Interamericano de Recursos de Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Costa Rica : Piriguazú Ediciones, 2000.
2. SPDA ACTUALIDAD AMBIENTAL. [En línea] 13 de Junio de 2019. [Citado el: 16 de setiembre de 2021.] <https://www.actualidadambiental.pe/senamhi-peru-registro-10-episodios-de-sequias-severas-en-ultimos-37-anos/>.
3. FAGAN, BRIAN. *El Gran Calentamiento: como influyo el Cambio Climático en el apogeo y caída de las civilizaciones*. Barcelona : Gedisa, 2008.
4. *Sequía, un problema de perspectiva y gestión*. VELASCO, I., OCHOA, L. y GUTIÉRREZ, C. 34, Jiutepec : s.n., 2005, Vol. XVII.
5. GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO [IPCC]. *Calentamiento global de 1,5 °C; Afirmaciones principales del Resumen para responsables de políticas*. 2019.
6. MARTINS, ALEJANDRA. BBC NEWS. [En línea] 13 de Agosto de 2021. [Citado el: 16 de setiembre de 2021.] <https://www.bbc.com/mundo/noticias-58191363>.
7. MILNE, SANDY. BBC NEWS. [En línea] 24 de Agosto de 2021. [Citado el: 16 de setiembre de 2021.] <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-58259908>.
8. *Sequías: Efecto sobre los recursos naturales y el desarrollo sostenible*. MATAILO-RAMIREZ, L. , y otros. 3, Quito : s.n., 2019, Científica Agroecosistemas, Vol. 7, págs. 154-162.
9. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN Y LA CULTURA [UNESCO]. *Atlas de sequías de America Latina y el Caribe*. Centro de Zonas Áridas y Semáridas de America Latina y el Caribe (CAZALAC), Univerddidad de La Serena. La Serena : s.n., 2018. Institucional.
10. *Evaluation of trends and multivariate frequency analysis of droughts in three meteorological subdivisions of western Indian*. POULOMI, GANGULI y JANGA REDDY, M. 2013, International Journal of Climatology.
11. *Trends and Behavior of meteorological drought (1901-2008) over Indian region using standardized precipitation-evapotranspiration index*. PRABIR KUMAR, DAS, y otros. 2015, International Journal of Climatology.
12. *Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index*. PATEL, N. R., CHOPRA, P. y DADHWAL, V. K. 2007, Science and Technology for Weather and Climate.

13. *Intensity-Duration-Frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index*. MOHSENI SARAVI, M., SAFDARI, A. A. y MALEKLAN, A. 6, 2009, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, págs. 1347-1383.
14. *Assessment and Characterization of Meteorological Drought using Standardized Precipitation Index in the Upper Luni river Basin, Rajasthan*. HIMANI, CHOUHAN, y otros. 1, 2017, *International Journal on Emerging Technologies*, Vol. 8, págs. 265-271.
15. *Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México*. CASTILLO CASTILLO, MONICA y IBÁÑEZ CASTILLO, LAURA. 1, 2016, *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. VIII, págs. 35-52.
16. *Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado*. OLIVARES, BARLIN, y otros. 3, Cochabamba : s.n., marzo de 2016, *RevActaNova*, Vol. VII.
17. CRUZ CHAGUA, BYORGY NIWDEL. *Análisis de Sequías Meteorológicas, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), en el periodo (1964-2018) en la Región Puno*. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano. Puno : s.n., 2021. pág. 175, Tesis de título profesional.
18. BORZENKOVA, I. I. *Types and characteristics of precipitation*. Department of climatology, State Hydrological Institute. Russia : s.n., 2000.
19. SURADHUNI GHOSH. *Mechanism and forms of precipitation*. s/f.
20. WILHITE, D. y BUCHANAN, SMITH. *DROUGHT AS HAZARD: UNDERSTANDING THE NATURAL AND SOCIAL CONTEXT*. [ed.] Wilhite D. s.l. : Technology and Management Issues, 2005. pág. 120.
21. *The role of seasonal indices in monitoring and assessing agricultural and other droughts: a review*. WHITE, D.H. y WALCOTT, J.J. 60, 2009, *Crop and Pasture Science*, Vol. VII, págs. 599-616.
22. *Sequía: causas y efectos de un fenómeno global*. GAUCIN, O. D. 61, 2013, *Ciencia UANL*, Vol. 16, págs. 8-15.
23. MARTÍN, L., RIVERA, J. y CASTIZO, R. *Cambio climático y desarrollo sostenible en Iberoamérica 2018*. Informe La Rábida, Huelva. 2018.
24. *Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007)*. LAVADO, W. y ESPINOZA, J. 2, 2014, *Revista Brasileira de Meteorología*, Vol. 29, págs. 171-182.
25. ADMINISTRACIÓN NACIONAL OCEÁNICA Y ATMOSFÉRICA [NOAA]. *Pacific Marine Environmental Laboratory*. [En línea] 2023. [Citado el: 21 de junio de 2023.] [https://www.pmel.noaa.gov/el\\_nino/schematic-diagrams](https://www.pmel.noaa.gov/el_nino/schematic-diagrams).
26. *Calentamiento global y cambio climático en Sudamérica*. PATERSON, P. 130, 2017, *Política y Estrategia*, Vol. 2, págs. 153-188.
27. *Green Surprise? How terrestrial ecosystems could affect Earth's climate*. FOLEY, J., y otros. 1, 2003, *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 1, págs. 38-44.

28. *Sequía: Definiciones, Tipologías y Métodos de cuantificación*. MARCOS VALIENTE, ÓSCAR. Barcelona : s.n., 2001, Investigaciones Geográficas, Vol. 26, págs. 59-80.
29. CHOPRA, PARUL. *Drought risk Assessment using Remote Sensing and GIS: A case study of Gujarat*. International Institute for Geo-Information Science and Earth observation Enschede. Netherlands : s.n., 2006. pág. 81, Informe para grado de maestría.
30. BOCANEGRA DIAZ, JENNIFER. *Hydrological drought assessment in the Tempisque-Bebedero catchment system in Costa Rica*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí y Th Köln-University of Applied Sciences Institute for Technology and Resources Mangement in the Tropics and Subtropics. Cologne : s.n., 2017. pág. 107, Informe para grado de Magister.
31. WMO. *Handbook of Drought Indicator and Indices*. Integrated Drought Management. Geneva : s.n., 2016.
32. *A review of drought indices*. ZARGAR, A., y otros. 19, Environmental Reviews, págs. 333-349.
33. CENTER, NATIONAL DROUGHT MITIGATION. Interpretation of Standardized Precipitation Index Maps. [En línea]  
<https://drought.unl.edu/MonitoringTools/ClimateDivisionsSPI/Interpretation.aspx>.
34. *On the sensitivity of sample L moments to sample size*. GUTTMAN, N. B. 6, 1994, Journal of Climate, Vol. 7, págs. 1026-1029.
35. ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL [OMM]. *Manual de indicadores e índices de sequía*. Asociación Mundial para el Agua. Ginebra : s.n., 2016. pág. 54, Institucional.
36. PODESTÁ, G. *Descripción de Índices para el monitoreo de sequía meteorológica*. Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Argentina. 2015.
37. BARRANTES ÁNGULO, INDIRA GIULIANA. *Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos hídricos en la cuenca del río Cañete: análisis para su implementación y gobernanza*. Facultad de Derecho, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima : s.n., 2018. pág. 55, Tesis de especialidad.
38. INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES - INRENA. *Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas*. Oficinas de Coordinación de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cocha. Lima : s.n., 2006. pág. 263.
39. MINISTERIO DEL AMBIENTE [MINAM]. *Inventario y Evaluación del Patrimonio Natural en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas*. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, del Ministerio del Ambiente. Lima : s.n., 2011. pág. 264, Institucional.
40. MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT . *Exosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC : World Resources Institute, 2005.

41. *Cambios en los ingresos económicos familiares por el uso de los servicios ecosistémicos debido a su afectación por el cambio climático en la Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas, Perú.* MERCADO, Waldemar y GÓMEZ, Harriet. 37, Bogota - Colombia : s.n., 2015, Ambiente y Desarrollo, Vol. XIIX, págs. 83-99.
42. MINISTERIO DE ASUNTOS CAMPESINOS Y AGROPECUARIOS. *Glosario de definiciones y términos técnicos relativos al medio ambiente y al manejo forestal.* Sistema Nacional de Información Forestal. La Paz : s.n., s/f. pág. 69, Institucional.
43. INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM. *Glosario meteorológico.* Subdirección de Meteorología, IDEAM. Bogota : s.n., 2019. Institucional.
44. SALGADO VALDÉS, SEBASTIAN EDUARDO. *Problema con los humedales.* s/f.
45. *Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas.* CARO CARO, CLARA y TORRES MORA, MARCO. 2, Colombia : s.n., 2015, Orinoquia, Vol. 19, págs. 237-252.
46. *La Investigación Aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica.* VARGAS CORDERO, Z. 1, San Pedro : s.n., 2009, Revista Educación, Vol. 33, págs. 155-165.
47. HERNANDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P. *Metodología de la Investigación.* Quinta. México D.F. : Mc Graw Hill, 2010.
48. CARO, L. *Técnicas e Instrumentos para la Recolección de datos.* s/f.
49. *The relationship of drought frequency and duration to time scales.* MCKEE, T., DOESKEN, N. y KLEIST, J. [ed.] American Meteorological Society. California, USA : s.n., 1993. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology.
50. HERNÁNDEZ, R. *Caracterización de la sequía meteorológica en los climas Árido, Semiárido y Subhúmedo seco en los Llanos }centro Orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos.* Centro de Investigación y Postgrado, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada. Macaray, Venezuela : s.n., 2008. Trabajo de grado.
51. MARENGO, J. *Impacto de la sequía de los años 1982-83 en la agricultura del Altiplano peruano, estudios agroclimáticos.* [En línea] 1987.  
<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Noviembre2004/pdf/spa/doc38/doc38-a.pdf>.
52. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERÚ [SENAMHI]. *Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú (1981-2018).* Lima : s.n., 2019. pág. 31, Institucional.
53. *Causes and Impact of the 2005 Amazon Drought.* ZENG, N., y otros. 2008, Env. Res., Vol. 3.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Datos de precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Carania (1964 - 2019)

|      | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOST | SET   | OCT   | NOV   | DIC    |
|------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1964 | 50.4   | 168.8   | 169.7  | 36.7  | 0     | 0     | 0     | 0     | 27.1  | 25.6  | 23.4  | 52     |
| 1965 | 76     | 220.9   | 118.9  | 9.2   | 14.9  | 4     | 4     | 14.4  | 14.5  | 26.6  | 21.6  | 70.2   |
| 1966 | 101.8  | 81.9    | 101.6  | 47.92 | 9.92  | 0     | 1.4   | 0     | 25.7  | 97.71 | 42.11 | 87.3   |
| 1967 | 174.2  | 212.41  | 141.92 | 36.81 | 18.13 | 8.6   | 21.91 | 12.3  | 19.2  | 31.6  | 12.7  | 44.23  |
| 1968 | 0      | 51.28   | 81.76  | 8.73  | 16.94 | 12.22 | 9.44  | 21.03 | 13.32 | 42.44 | 28.01 | 47.64  |
| 1969 | 58.02  | 29.83   | 101.16 | 40.62 | 0     | 6.01  | 1.61  | 16.03 | 19.92 | 46.8  | 84.62 | 242.62 |
| 1970 | 223.43 | 38.62   | 108.12 | 42.95 | 30.22 | 0.03  | 1.62  | 1.32  | 37.55 | 37.03 | 7.52  | 51.23  |
| 1971 | 139.51 | 137.34  | 134.33 | 17.97 | 2.13  | 2.4   | 0     | 1.41  | 0     | 13.02 | 8.02  | 103.82 |
| 1972 | 137.31 | 138.84  | 219.01 | 88.71 | 3.31  | 0.01  | 6.21  | 0.01  | 19.9  | 47.73 | 24.31 | 70.5   |
| 1973 | 254    | 130.93  | 194.34 | 75.83 | 43    | 0     | 0     | 12.9  | 2.6   | 37.32 | 15.32 | 148.7  |
| 1974 | 139.23 | 79.6    | 59.13  | 6.01  | 3.7   | 10.81 | 0.04  | 10.72 | 19.91 | 0     | 21.41 | 20     |
| 1975 | 75.91  | 70.11   | 181.11 | 55    | 37.6  | 19.9  | 17.82 | 23.81 | 42.9  | 24.51 | 62.7  | 101.8  |
| 1976 | 203    | 159.7   | 117.7  | 32.5  | 5.2   | 4.1   | 0     | 15.5  | 21    | 1.4   | 1.9   | 34.2   |
| 1977 | 69.82  | 90.3    | 101.7  | 31.6  | 3.7   | 2.4   | 3.82  | 0     | 15.1  | 0.01  | 71.7  | 21     |
| 1978 | 111.7  | 68.7    | 41.7   | 50.3  | 21.3  | 0     | 0     | 0     | 0     | 27.4  | 45.6  | 77.52  |
| 1979 | 17.8   | 121.7   | 98.2   | 7.8   | 6     | 11    | 0     | 1.4   | 7.3   | 0.4   | 0.4   | 10.8   |
| 1980 | 45.4   | 45.6    | 36.5   | 24.7  | 12.4  | 5     | 20.9  | 0.01  | 7     | 52.2  | 33.1  | 53.3   |
| 1981 | 101.6  | 163.4   | 117.2  | 56.9  | 2.62  | 4.4   | 6     | 12.6  | 12.4  | 27.1  | 40.4  | 44.2   |
| 1982 | 60.4   | 85.8    | 36.5   | 31.7  | 11    | 4.4   | 10.9  | 5.7   | 23.6  | 62.9  | 116.7 | 41.2   |
| 1983 | 48.2   | 2.4     | 132.2  | 29.8  | 33.7  | 11.2  | 4.3   | 13.7  | 12.4  | 11.1  | 24.5  | 55.6   |
| 1984 | 84.6   | 102.1   | 80.7   | 47.2  | 31.7  | 11.3  | 0     | 5.3   | 20.1  | 25.7  | 29.6  | 56.7   |
| 1985 | 44.9   | 42.8    | 79.1   | 38.6  | 39.1  | 19.9  | 15.9  | 0     | 5.8   | 57.4  | 40.9  | 72.4   |
| 1986 | 71.9   | 268.11  | 160.03 | 77.52 | 47.7  | 0     | 0.9   | 0.6   | 0     | 5.5   | 30.51 | 79.11  |
| 1987 | 250.2  | 81.6    | 47.8   | 21.4  | 0     | 0     | 0     | 14.3  | 0     | 9.5   | 15.1  | 29.2   |
| 1988 | 236.1  | 78.7    | 111.6  | 29.8  | 16.6  | 0     | 0     | 0     | 0     | 30.8  | 0     | 132.1  |
| 1989 | 139.4  | 156.9   | 215.5  | 30.5  | 7.1   | 0.6   | 0     | 3.5   | 6.9   | 41.4  | 12.9  | 0      |
| 1990 | 74.3   | 84.6    | 102.7  | 48.73 | 16.51 | 21.92 | 0     | 0.42  | 6.92  | 10.82 | 11.62 | 86.71  |
| 1991 | 79.41  | 73.56   | 131.41 | 27.77 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 41.02 | 3.3   | 13.23  |
| 1992 | 1.33   | 1.23    | 54.74  | 24.77 | 0     | 0     | 0     | 0.31  | 0     | 67.72 | 3.3   | 34.82  |
| 1993 | 136.82 | 134.71  | 113.82 | 41.82 | 1.11  | 0     | 0     | 6.02  | 5.2   | 16.31 | 76.61 | 141.42 |
| 1994 | 131.33 | 163.2   | 111.32 | 32.2  | 0     | 0     | 0     | 0     | 2.7   | 2.71  | 22.81 | 32.01  |
| 1995 | 86.93  | 49.14   | 65.24  | 29.44 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 10.23 | 0     | 37.91  |
| 1996 | 203.43 | 210.91  | 178.3  | 65.62 | 0     | 0     | 0     | 0.41  | 2.11  | 22.72 | 11.91 | 114.32 |
| 1997 | 128.9  | 156.8   | 130.5  | 37.1  | 3.6   | 0     | 0     | 7.9   | 14.1  | 28    | 58.6  | 115.5  |
| 1998 | 176.2  | 126.3   | 155.5  | 50.4  | 0     | 0     | 0     | 0     | 6.6   | 9.5   | 13.1  | 45     |
| 1999 | 82.2   | 232.3   | 175    | 140.6 | 60.6  | 0     | 0     | 0     | 12.9  | 64.9  | 45.8  | 218.7  |
| 2000 | 191.8  | 158.8   | 189.1  | 73.5  | 17.8  | 0     | 3.1   | 0     | 5.7   | 43.1  | 36.9  | 172.3  |
| 2001 | 198.8  | 120.7   | 228.2  | 29.7  | 7.9   | 0     | 0     | 0     | 12.6  | 19.3  | 45.4  | 41.9   |
| 2002 | 77.2   | 147.2   | 200.8  | 85.7  | 7     | 8.2   | 3.4   | 0     | 18    | 43.7  | 58.2  | 116.8  |
| 2003 | 115.8  | 146     | 150.5  | 35.7  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 26.1  | 12.5  | 129.5  |
| 2004 | 26.4   | 136.7   | 98.9   | 56.1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 23.1  | 55.8  | 151.42 |
| 2005 | 76.7   | 57.1    | 142.2  | 60.1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 30.6  | 10.1  | 8.8   | 159.2  |
| 2006 | 165.3  | 143     | 198.31 | 63.72 | 0     | 0.02  | 0     | 2.32  | 14.52 | 26.81 | 72.5  | 110.81 |
| 2007 | 94.63  | 100.91  | 169.2  | 53.9  | 0     | 2.6   | 0.02  | 0     | 2.23  | 13.81 | 28.11 | 78.41  |
| 2008 | 212.6  | 197.1   | 81.5   | 13.8  | 0     | 0     | 0     | 10.1  | 0     | 32.2  | 20.4  | 73     |
| 2009 | 119.9  | 220.1   | 83.8   | 47.1  | 11.8  | 0     | 7.2   | 5.2   | 1.3   | 54.8  | 82.3  | 116.2  |
| 2010 | 140.3  | 109.2   | 122.1  | 51.1  | 7     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 10.9  | 182.1  |
| 2011 | 202.4  | 166.5   | 164.7  | 84    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 14.1  | 32.3  | 110    |
| 2012 | 29.3   | 156.6   | 166.6  | 111.4 | 0     | 0     | 0     | 0     | 18.5  | 33.4  | 27.4  | 102.9  |
| 2013 | 100.1  | 120.1   | 129.7  | 11.8  | 24.5  | 0     | 0     | 4.5   | 0     | 0     | 23.9  | 75.5   |
| 2014 | 134.9  | 57.3    | 112.4  | 41.9  | 11.5  | 0     | 0     | 7.3   | 1.9   | 45.7  | 72.6  | 118.7  |
| 2015 | 189.5  | 205.3   | 92.3   | 52.1  | 0     | 0     | 3.2   | 6.1   | 0     | 28.1  | 20.4  | 68.7   |
| 2016 | 95.8   | 105.6   | 129.7  | 60.1  | 12.5  | 0.04  | 2.3   | 1.2   | 7.8   | 14.9  | 56.8  | 42.7   |
| 2017 | 179.6  | 134.4   | 142.8  | 29.7  | 21.5  | 1     | 0     | 0.7   | 13.8  | 43.6  | 17.7  | 44.2   |
| 2018 | 147.6  | 64.8    | 159    | 58.6  | 3.7   | 17    | 8     | 3.7   | 0.9   | 29.8  | 8.4   | 15.7   |
| 2019 | 138.5  | 128.1   | 125.4  | 16.8  | 7.4   | 2.5   | 5.2   | 0     | 14.8  | 33.9  | 55.9  | 98.7   |

Anexo 2. Datos de precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Vilca (1964-2019)

|      | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL  | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOS  | SET   | OCT    | NOV    | DIC    |
|------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1964 | 236.24 | 209.7   | 128.23 | 143.23 | 20.19 | 0.02  | 0.04  | 0.05  | 29.06 | 57.03  | 36.8   | 42.8   |
| 1965 | 120.9  | 225.2   | 135.4  | 37.7   | 11.2  | 0     | 15.8  | 32.4  | 60.2  | 61.51  | 68.7   | 141.7  |
| 1966 | 189.4  | 103.7   | 179    | 58.8   | 21.01 | 9.93  | 3.41  | 1.84  | 51.24 | 170.31 | 148.7  | 141.7  |
| 1967 | 283.22 | 450.2   | 454.1  | 38.4   | 10.42 | 10.93 | 9.64  | 20.55 | 53.72 | 95.62  | 123.23 | 190.2  |
| 1968 | 168.36 | 199.26  | 114.57 | 27.66  | 1.55  | 8.57  | 0.06  | 0.36  | 12.67 | 45.18  | 64.35  | 116.24 |
| 1969 | 43.33  | 66.36   | 41.36  | 0      | 8.07  | 0.22  | 0.03  | 2.96  | 37.78 | 57.44  | 42.97  | 3.56   |
| 1970 | 142.26 | 102.34  | 89.45  | 63.45  | 26.35 | 0.08  | 0.04  | 0.03  | 42.77 | 66.96  | 39.99  | 190.82 |
| 1971 | 173.04 | 216.14  | 133.54 | 9.28   | 0.01  | 0.08  | 0.06  | 0.08  | 1.36  | 0.05   | 7.45   | 61.35  |
| 1972 | 106.91 | 100.25  | 200.61 | 21.98  | 0.38  | 0.06  | 1.2   | 0.01  | 8.14  | 88.02  | 67.11  | 67.23  |
| 1973 | 123.53 | 105     | 105.31 | 29.5   | 1.7   | 0     | 0     | 8.8   | 8.4   | 56.5   | 169.2  | 8.8    |
| 1974 | 254.7  | 210.5   | 155.8  | 38.1   | 5.5   | 9.3   | 0     | 70.9  | 0     | 18     | 9.4    | 44.9   |
| 1975 | 98.9   | 189.31  | 227.4  | 0      | 4     | 0     | 0     | 6.3   | 32.2  | 0      | 97.61  | 167.8  |
| 1976 | 295.01 | 149.3   | 105.31 | 38.1   | 0.9   | 0     | 0     | 29.8  | 47.4  | 0      | 5.1    | 27.3   |
| 1977 | 117.9  | 198.9   | 169.9  | 28.2   | 0.03  | 0.04  | 1.23  | 0     | 0.5   | 23.3   | 55.3   | 33.3   |
| 1978 | 147.2  | 172.1   | 77.3   | 28.3   | 0     | 0     | 2     | 4.82  | 2.4   | 9.4    | 17.8   | 58.7   |
| 1979 | 54.7   | 213.8   | 281.1  | 31     | 0.8   | 0.03  | 0     | 0.9   | 2.1   | 6.2    | 15.8   | 49.5   |
| 1980 | 62.31  | 63.2    | 263.4  | 55.4   | 6.9   | 0     | 1.5   | 0     | 10.5  | 156.5  | 63.6   | 85.51  |
| 1981 | 234.6  | 270.7   | 310.8  | 136.5  | 1     | 0     | 0     | 0     | 14.1  | 54     | 92     | 76.9   |
| 1982 | 252.9  | 217.9   | 176.6  | 99.2   | 0     | 7.4   | 0     | 0     | 3.1   | 18.6   | 53.7   | 73.3   |
| 1983 | 92.5   | 101.9   | 49.6   | 32.3   | 13    | 7.1   | 0     | 0     | 6.2   | 0      | 13.3   | 38     |
| 1984 | 153.7  | 346     | 201.5  | 140.9  | 102.8 | 36.1  | 0     | 0     | 0     | 39.4   | 62     | 144.5  |
| 1985 | 141.9  | 145.9   | 139.2  | 43.4   | 32.5  | 27.8  | 4.4   | 0     | 19.6  | 36.5   | 46     | 51.8   |
| 1986 | 239.4  | 269     | 231    | 167.1  | 54.9  | 0     | 2     | 0     | 17.02 | 0      | 7.9    | 71.21  |
| 1987 | 331.1  | 146     | 74.1   | 18.4   | 3.5   | 13    | 0     | 0.03  | 14.3  | 101.7  | 117.1  | 122.3  |
| 1988 | 228.1  | 210     | 228.3  | 124.9  | 54.7  | 0     | 0.03  | 0     | 18.6  | 43.8   | 51.3   | 156.1  |
| 1989 | 169.2  | 190.6   | 182.2  | 81.8   | 23.9  | 15    | 5.3   | 0     | 14.6  | 14.7   | 54.5   | 76.6   |
| 1990 | 120    | 86.2    | 58.2   | 56.1   | 9.6   | 2.3   | 7.2   | 16.1  | 18.7  | 29.6   | 28.21  | 38.9   |
| 1991 | 62.8   | 33.6    | 126.2  | 76.62  | 4.51  | 0.8   | 0     | 28.8  | 37.81 | 0      | 17.62  | 40.32  |
| 1992 | 88.01  | 18.02   | 50.71  | 21.22  | 13.51 | 9.9   | 9.4   | 2     | 0     | 0.41   | 11.4   | 31.9   |
| 1993 | 141.6  | 173.09  | 90.62  | 114.22 | 50.71 | 11.7  | 31.51 | 28.21 | 166.6 | 374.9  | 399.6  | 550    |
| 1994 | 579.1  | 597.1   | 494.7  | 541.3  | 65.7  | 21.11 | 14.3  | 70.6  | 120.4 | 213    | 69.1   | 276.9  |
| 1995 | 336    | 251     | 433.3  | 135.6  | 34.01 | 0     | 34.5  | 0     | 43.3  | 40     | 39.7   | 79.2   |
| 1996 | 160    | 78.4    | 56.6   | 43.2   | 6.7   | 0.3   | 0     | 35.7  | 14.8  | 40.5   | 75.8   | 71.5   |
| 1997 | 149.5  | 175     | 27.1   | 21.9   | 4.9   | 7.7   | 7.3   | 40.8  | 39.1  | 45.3   | 104    | 147.2  |
| 1998 | 199.1  | 165     | 119.6  | 50     | 0     | 8.6   | 0     | 2.5   | 16.7  | 49.9   | 90.3   | 111.9  |
| 1999 | 79.8   | 188     | 122.1  | 116.8  | 19.6  | 0.6   | 3.1   | 0     | 37.5  | 64.9   | 60     | 146    |
| 2000 | 232.2  | 160.2   | 173    | 55.3   | 4.4   | 0     | 11.6  | 18.7  | 43.4  | 51.8   | 69.4   | 103.8  |
| 2001 | 166.1  | 118     | 227.8  | 44.8   | 18.3  | 7.3   | 10.6  | 8.2   | 46    | 87.1   | 96.2   | 107.4  |
| 2002 | 192.1  | 146.9   | 127.8  | 87.8   | 14.4  | 13.4  | 23.5  | 14.2  | 50    | 73     | 87.9   | 128.4  |
| 2003 | 116.1  | 183.9   | 98.8   | 72.5   | 18.1  | 12.2  | 5.2   | 15.2  | 41.7  | 65.9   | 37.3   | 134.5  |
| 2004 | 40.2   | 220.9   | 69.8   | 34.8   | 21    | 13.9  | 1.2   | 19.5  | 95.7  | 76     | 64.1   | 128.9  |
| 2005 | 58.5   | 116.7   | 132.5  | 80.2   | 0     | 9.8   | 10.5  | 23.7  | 38.5  | 37.9   | 17.8   | 162.2  |
| 2006 | 136.3  | 148.6   | 166.5  | 84.1   | 2.8   | 17.4  | 0     | 30.7  | 37    | 81.4   | 104.3  | 89.9   |
| 2007 | 140.5  | 106.6   | 205.7  | 106.4  | 29    | 7     | 2.5   | 1.7   | 18.2  | 77.8   | 69.4   | 110.5  |
| 2008 | 201.9  | 151.9   | 76.6   | 67.5   | 5.4   | 0.9   | 2     | 7.9   | 20.3  | 56     | 50.4   | 157.7  |
| 2009 | 158    | 174.6   | 181.5  | 116    | 20.1  | 10.2  | 7.5   | 7.5   | 10.8  | 149.5  | 152.7  | 280.7  |
| 2010 | 167.7  | 139     | 104.3  | 41.2   | 10.5  | 0     |       | 14.6  | 19    | 35.1   | 65.2   | 156.3  |
| 2011 | 195    | 188.4   | 220.9  | 77.8   | 0     | 5.1   | 7.4   | 18.6  | 54.7  | 72.2   | 92.7   | 151    |
| 2012 | 106.2  | 138.1   | 175.2  | 137.7  | 9.6   | 3.5   | 2.9   | 25.7  | 59    | 59.3   | 67.5   | 102.3  |
| 2013 | 118.8  | 163.6   | 129.1  | 89.4   | 39.4  | 14.9  | 6.4   | 33.6  | 7.6   | 35.5   | 60.7   | 79.4   |
| 2014 | 159.9  | 99.4    | 132.4  | 48.8   | 18    | 1     | 0     | 15.6  | 15.1  | 42.1   | 50.1   | 128.5  |
| 2015 | 160.1  | 125.3   | 138    | 91.3   | 22.9  | 7.4   | 0     | 37.4  | 22.4  | 16.6   | 62.2   | 138.2  |
| 2016 | 148.8  | 161.5   | 108.1  | 88.7   | 16.4  | 0     | 0     | 0     | 18.2  | 47     | 85.7   | 164    |
| 2017 | 240.9  | 195.2   | 208.2  | 89.8   | 42.1  | 11.6  | 0     | 8.1   | 47.7  | 72.8   | 60.1   | 99.6   |
| 2018 | 206.3  | 131.9   | 159.7  | 72.2   | 2     | 0.2   | 27.8  | 35    | 2.2   | 138.6  | 91.4   | 60.7   |
| 2019 | 214.2  | 81.1    | 220.8  | 83.2   | 31    | 4.4   | 7.6   | 0     | 27.8  | 21.5   | 127.2  | 210.1  |

Anexo 3. Datos de precipitación mensual acumulada de la estación meteorológica Tanta (1964 – 2019)

|      | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL  | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOS  | SET    | OCT    | NOV    | DIC    |
|------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1964 | 89.95  | 159.74  | 212.11 | 93.47  | 21.12 | 6.5   | 0     | 1.1   | 10.06  | 49.83  | 68.3   | 75.3   |
| 1965 | 98.1   | 274.7   | 114.33 | 67.33  | 29.51 | 0     | 7.61  | 1.11  | 3.14   | 44.8   | 10.1   | 90.7   |
| 1966 | 159.6  | 115.3   | 159.3  | 99.5   | 21.31 | 0     | 0     | 4.4   | 32.67  | 84.25  | 79.62  | 151.11 |
| 1967 | 184.1  | 233.4   | 133.6  | 52.87  | 42.8  | 0.03  | 15.3  | 3.77  | 22.88  | 100.7  | 25.93  | 43.84  |
| 1968 | 138.62 | 138.62  | 134.46 | 38.64  | 5.12  | 0     | 2.29  | 23.38 | 68.95  | 116.4  | 69.74  | 75.56  |
| 1969 | 94.74  | 163.62  | 125.43 | 114.73 | 0     | 4.31  | 0     | 5.14  | 40.33  | 113.98 | 143.72 | 268.04 |
| 1970 | 335.91 | 18.05   | 135.51 | 160.53 | 74.32 | 0     | 8.6   | 0.02  | 111.03 | 29.31  | 109.93 | 187.71 |
| 1971 | 76.82  | 180.5   | 215.31 | 69.91  | 0     | 0     | 0     | 28.11 | 0      | 35.3   | 48.32  | 185.6  |
| 1972 | 131.01 | 75.41   | 354.9  | 230.4  | 0     | 0     | 14.4  | 9.01  | 0      | 63.51  | 94.53  | 78.42  |
| 1973 | 230.4  | 108     | 185.71 | 153.91 | 218.4 | 0     | 6.3   | 12    | 104.6  | 125.5  | 87.2   | 159.7  |
| 1974 | 259.2  | 259.5   | 250.6  | 111.71 | 22.82 | 17.52 | 0     | 30.8  | 15.71  | 26.82  | 84.9   | 103.8  |
| 1975 | 111    | 109.6   | 218.4  | 196.6  | 84.31 | 10.7  | 0     | 16.1  | 58.2   | 91.1   | 42.21  | 84.8   |
| 1976 | 168.51 | 160.3   | 127.81 | 34.7   | 22.32 | 25.41 | 14.8  | 8.2   | 0.04   | 21     | 10.5   | 56.61  |
| 1977 | 131.8  | 115.8   | 141.3  | 74.9   | 19.5  | 0     | 0     | 1     | 14.9   | 32.2   | 68.7   | 52.5   |
| 1978 | 71     | 86.7    | 95.3   | 77.31  | 23.52 | 3.5   | 0.01  | 11.02 | 27.81  | 53.21  | 18.4   | 30.2   |
| 1979 | 46.5   | 100.6   | 97.9   | 53.8   | 17    | 6.21  | 0     | 0     | 8.11   | 12.6   | 26.3   | 21.3   |
| 1980 | 71.1   | 36.4    | 90.5   | 19.5   | 2.22  | 0     | 9.7   | 9.6   | 5.5    | 71.7   | 77     | 57.4   |
| 1981 | 89     | 186     | 219.3  | 29.4   | 0     | 0     | 0     | 9.6   | 16.1   | 31.8   | 49.9   | 41     |
| 1982 | 82.8   | 82.8    | 79.4   | 57.8   | 29.4  | 0     | 3.1   | 4.5   | 12.5   | 31.4   | 94.6   | 47     |
| 1983 | 45.7   | 51.7    | 78.5   | 20.7   | 2.3   | 7.8   | 4.5   | 7.5   | 14.2   | 9.1    | 21.8   | 56.7   |
| 1984 | 120.1  | 122.4   | 84.9   | 50.7   | 50.6  | 63.2  | 1     | 5.3   | 2.3    | 14.2   | 46.9   | 73.7   |
| 1985 | 101.2  | 90.7    | 21.1   | 95.6   | 21.1  | 15.6  | 12.1  | 18.9  | 3.4    | 25.5   | 37.3   | 47.8   |
| 1986 | 105.9  | 182.9   | 146.2  | 151.4  | 114.3 | 59.12 | 34.9  | 63.21 | 76.6   | 130.2  | 59.8   | 78.2   |
| 1987 | 175.6  | 132.3   | 37     | 24.3   | 0     | 7.2   | 9.3   | 20.1  | 5.8    | 13     | 30.6   | 48.3   |
| 1988 | 72.1   | 67.1    | 100.2  | 51.1   | 8.4   | 3.4   | 7.8   | 12.2  | 3.1    | 5.3    | 51.6   | 65.3   |
| 1989 | 98.4   | 72      | 107.9  | 50.5   | 15.4  | 3.1   | 5.6   | 16.1  | 9.7    | 28.1   | 120.4  | 19.7   |
| 1990 | 38.7   | 32.7    | 64.1   | 79.7   | 15.8  | 16.9  | 24.9  | 19.8  | 34.6   | 11.3   | 85.6   | 67.7   |
| 1991 | 108.7  | 88.3    | 73.7   | 71.4   | 45.6  | 16.1  | 11.7  | 14.7  | 3.4    | 22.6   | 53.9   | 42.8   |
| 1992 | 61.2   | 52.3    | 78.5   | 20.6   | 3.1   | 6.7   | 13.6  | 14.6  | 15.1   | 47.11  | 56.2   | 81     |
| 1993 | 231.4  | 243.7   | 199.6  | 120.7  | 29.6  | 8.51  | 7.5   | 8.5   | 35.7   | 101.4  | 162.2  | 163.2  |
| 1994 | 228.7  | 309.9   | 154.4  | 103.41 | 33    | 22.7  | 3.91  | 9.6   | 87.6   | 38.4   | 86.3   | 97.61  |
| 1995 | 213.41 | 76.52   | 165.71 | 54.9   | 13.41 | 2.6   | 1.7   | 0.02  | 36.8   | 66.12  | 81.4   | 135.61 |
| 1996 | 223.8  | 230.5   | 166.01 | 129.8  | 16.11 | 0.02  | 0.02  | 13.81 | 16.62  | 61.41  | 34.82  | 134.1  |
| 1997 | 177.1  | 253.6   | 24.4   | 36.12  | 5.4   | 0     | 0     | 21.41 | 50.21  | 45.6   | 133.1  | 178    |
| 1998 | 248.4  | 142.1   | 121.8  | 94.2   | 0.01  | 0     | 0     | 9     | 35.51  | 65.3   | 72.91  | 124.34 |
| 1999 | 165.51 | 296.8   | 162.6  | 155.01 | 84.6  | 7.32  | 5.5   | 7.02  | 21.9   | 148.8  | 136.61 | 269.3  |
| 2000 | 201.1  | 310.2   | 254.91 | 103.8  | 46.5  | 0     | 11.81 | 15.72 | 58.82  | 104.9  | 89.21  | 197.71 |
| 2001 | 237.21 | 173.71  | 310.5  | 23.81  | 15.71 | 0.02  | 2.41  | 0.02  | 47.41  | 56.61  | 191.61 | 56.61  |
| 2002 | 150.73 | 178.81  | 283.6  | 123.91 | 26.11 | 0.01  | 3.93  | 0.02  | 52.32  | 94.92  | 147.81 | 133.3  |
| 2003 | 197.01 | 202.31  | 219.84 | 104.71 | 32.1  | 0     | 6.6   | 0.2   | 6.61   | 61.41  | 59.43  | 228.1  |
| 2004 | 58.3   | 280.31  | 201.12 | 80.51  | 13.21 | 5.01  | 1.84  | 12.91 | 76.53  | 116.93 | 97.31  | 208.1  |
| 2005 | 131.02 | 136.41  | 215.3  | 138.5  | 6.11  | 0     | 0     | 0     | 9.6    | 25.52  | 35.9   | 160.62 |
| 2006 | 204.42 | 181.9   | 249.13 | 169.31 | 6.31  | 6.3   | 0     | 12.44 | 57.83  | 69.52  | 133.71 | 193.1  |
| 2007 | 254.02 | 181.3   | 288.83 | 142.4  | 38.5  | 6.8   | 0.02  | 6.4   | 14.8   | 118.7  | 66.52  | 108.11 |
| 2008 | 219.41 | 198.5   | 124.7  | 70.1   | 0     | 0     | 0     | 5.61  | 3      | 46.4   | 62.52  | 131.7  |
| 2009 | 218.12 | 290.4   | 286.6  | 114.4  | 33.3  | 0     | 0     | 19    | 13.8   | 145.21 | 167.6  | 193.81 |
| 2010 | 194.22 | 169.1   | 234.12 | 47     | 0     | 0     | 0     | 0     | 29.71  | 44.7   | 95.31  | 260.4  |
| 2011 | 272.6  | 208.9   | 242.7  | 172.2  | 0     | 0     | 0     | 0     | 67.9   | 89.4   | 173.3  | 249.3  |
| 2012 | 96.8   | 256.4   | 293.3  | 0      | 36.7  | 0     | 0     | 0     | 28.5   | 71     | 71.3   | 195.3  |
| 2013 | 178.4  | 317.2   | 216.6  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 74.4   | 68.3   | 55.7   |
| 2014 | 183    | 230     | 280.2  | 95.7   | 37    | 6.7   | 0.7   | 6.14  | 17.9   | 98.7   | 65.3   | 108.4  |
| 2015 | 165.7  | 225.1   | 184.7  | 80.1   | 25.4  | 0     | 0     | 0     | 0      | 34.5   | 28.5   | 109.1  |
| 2016 | 68.5   | 85.6    | 66.1   | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 30.2   | 159.4  | 213.9  |
| 2017 | 242    | 251.9   | 333.8  | 157.5  | 33.9  | 7.6   | 1.6   | 7.2   | 19.2   | 106.9  | 57     | 185.6  |
| 2018 | 173.2  | 127     | 207.1  | 119.4  | 0     | 0     | 2.5   | 4.1   | 4      | 60.4   | 0      | 80.4   |
| 2019 | 160.9  | 189.2   | 90.8   | 60.1   | 23.4  | 0     | 0     | 7.8   | 13.4   | 61.7   | 59.6   | 132    |

Anexo 4. Promedio, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, mínima y máxima de los datos mensuales de precipitación para las tres estaciones meteorológicas de la RPNYC

| ESTACIÓN CARANIA         |        |         |        |        |        |       |       |       |       |        |        |        |
|--------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|                          | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL  | MAYO   | JUNIO | JULIO | AGOST | SET   | OCT    | NOV    | DIC    |
| Promedio                 | 118.8  | 120.3   | 126.7  | 44.9   | 11.3   | 3.4   | 2.8   | 4.3   | 10.1  | 28.5   | 32.3   | 82.1   |
| Desviación estandar      | 64.2   | 59.8    | 47.7   | 25.8   | 14.2   | 5.8   | 5.3   | 6.2   | 10.4  | 20.2   | 25.8   | 52.6   |
| Varianza                 | 4119.9 | 3571.8  | 2274.2 | 667.3  | 201.4  | 33.6  | 28.3  | 37.9  | 108.2 | 409.4  | 663.8  | 2762.1 |
| Coeficiente de variación | 54.0   | 49.7    | 37.6   | 57.6   | 125.7  | 169.4 | 187.0 | 142.0 | 102.7 | 71.1   | 79.7   | 64.0   |
| Mínima                   | 0.0    | 1.2     | 36.5   | 6.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 0.0    | 0.0    |
| Máxima                   | 254.0  | 268.1   | 228.2  | 140.6  | 60.6   | 21.9  | 21.9  | 23.8  | 42.9  | 97.7   | 116.7  | 242.6  |
|                          |        |         |        |        |        |       |       |       |       |        |        |        |
| ESTACIÓN VILCA           |        |         |        |        |        |       |       |       |       |        |        |        |
|                          | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL  | MAYO   | JUNIO | JULIO | AGOST | SET   | OCT    | NOV    | DIC    |
| Promedio                 | 170.3  | 171.3   | 162.3  | 75.7   | 16.8   | 6.2   | 5.1   | 13.2  | 30.0  | 60.3   | 70.3   | 114.8  |
| Desviación estandar      | 88.7   | 92.7    | 95.5   | 75.1   | 19.8   | 7.6   | 8.1   | 16.9  | 30.1  | 61.9   | 58.6   | 84.0   |
| Varianza                 | 7875.1 | 8584.3  | 9122.8 | 5642.9 | 392.1  | 58.1  | 65.0  | 285.6 | 905.2 | 3837.3 | 3435.7 | 7057.9 |
| Coeficiente de variación | 52.1   | 54.1    | 58.8   | 99.2   | 118.0  | 122.4 | 158.0 | 127.8 | 100.4 | 102.7  | 83.3   | 73.2   |
| Mínima                   | 40.2   | 18.0    | 27.1   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0    | 5.1    | 3.6    |
| Máxima                   | 579.1  | 597.1   | 494.7  | 541.3  | 102.8  | 36.1  | 34.5  | 70.9  | 166.6 | 374.9  | 399.6  | 550.0  |
|                          |        |         |        |        |        |       |       |       |       |        |        |        |
| ESTACIÓN TANTA           |        |         |        |        |        |       |       |       |       |        |        |        |
|                          | ENERO  | FEBRERO | MARZO  | ABRIL  | MAYO   | JUNIO | JULIO | AGOST | SET   | OCT    | NOV    | DIC    |
| Promedio                 | 153.4  | 165.1   | 169.0  | 86.6   | 26.2   | 6.2   | 4.6   | 9.6   | 27.3  | 62.2   | 77.0   | 119.6  |
| Desviación estandar      | 69.4   | 80.2    | 82.1   | 52.5   | 35.4   | 12.3  | 6.9   | 10.6  | 27.9  | 38.0   | 45.2   | 69.1   |
| Varianza                 | 4816.7 | 6433.6  | 6736.6 | 2758.2 | 1254.4 | 151.8 | 47.0  | 113.4 | 777.8 | 1441.8 | 2041.6 | 4778.1 |
| Coeficiente de variación | 45.2   | 48.6    | 48.6   | 60.6   | 135.2  | 198.9 | 149.0 | 110.8 | 102.3 | 61.1   | 58.7   | 57.8   |
| Mínima                   | 38.7   | 18.1    | 21.1   | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 5.3    | 0.0    | 19.7   |
| Máxima                   | 335.9  | 317.2   | 354.9  | 230.4  | 218.4  | 63.2  | 34.9  | 63.2  | 111.0 | 148.8  | 191.6  | 269.3  |

Anexo 5. Formato para el cálculo de SPI

| AÑO  | MES | X Pp | X mean | ln(Xm) | Gamma | SPI-12 | Description |
|------|-----|------|--------|--------|-------|--------|-------------|
| 1964 | 1   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 2   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 3   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 4   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 5   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 6   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 7   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 8   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 9   |      |        |        |       |        |             |
| 1964 | 10  |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 11  |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 12  |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 1   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 2   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 3   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 4   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 5   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 6   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 7   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 8   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 9   |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 10  |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 11  |      |        |        |       |        |             |
| 1965 | 12  |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 1   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 2   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 3   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 4   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 5   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 6   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 7   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 8   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 9   |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 10  |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 11  |      |        |        |       |        |             |
| 1966 | 12  |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 1   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 2   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 3   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 4   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 5   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 6   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 7   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 8   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 9   |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 10  |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 11  |      |        |        |       |        |             |
| 1967 | 12  |      |        |        |       |        |             |

Anexo 6. Resultado del SPI para la escala de 3 meses, estación Carania

| AÑO  | MES | X Pp   | X Mean | ln(Xm) | Gamma | SPI-3 | Description   |
|------|-----|--------|--------|--------|-------|-------|---------------|
| 1964 | 1   | 50.4   |        |        |       |       |               |
| 1964 | 2   | 168.8  |        |        |       |       |               |
| 1964 | 3   | 169.7  | 129.63 | 4.86   | 0.91  | 1.32  | Moderatly wet |
| 1964 | 4   | 36.7   | 125.07 | 4.83   | 0.90  | 1.28  | Moderatly wet |
| 1964 | 5   | 0      | 68.80  | 4.23   | 0.76  | 0.70  | Near normal   |
| 1964 | 6   | 0      | 12.23  | 2.50   | 0.32  | -0.46 | Near normal   |
| 1964 | 7   | 0.1    | 0.03   | -3.40  | 0.01  | -2.42 | Extreme dry   |
| 1964 | 8   | 0      | 0.03   | -3.40  | 0.01  | -2.42 | Extreme dry   |
| 1964 | 9   | 27.1   | 9.07   | 2.20   | 0.27  | -0.61 | Near normal   |
| 1964 | 10  | 25.6   | 17.57  | 2.87   | 0.40  | -0.26 | Near normal   |
| 1964 | 11  | 23.4   | 25.37  | 3.23   | 0.48  | -0.04 | Near normal   |
| 1964 | 12  | 52     | 33.67  | 3.52   | 0.56  | 0.15  | Near normal   |
| 1965 | 1   | 76     | 50.47  | 3.92   | 0.67  | 0.45  | Near normal   |
| 1965 | 2   | 220.9  | 116.30 | 4.76   | 0.89  | 1.21  | Moderatly wet |
| 1965 | 3   | 118.9  | 138.60 | 4.93   | 0.92  | 1.40  | Moderatly wet |
| 1965 | 4   | 9.2    | 116.33 | 4.76   | 0.89  | 1.21  | Moderatly wet |
| 1965 | 5   | 14.9   | 47.67  | 3.86   | 0.66  | 0.40  | Near normal   |
| 1965 | 6   | 4      | 9.37   | 2.24   | 0.28  | -0.59 | Near normal   |
| 1965 | 7   | 4      | 7.63   | 2.03   | 0.24  | -0.69 | Near normal   |
| 1965 | 8   | 14.4   | 7.47   | 2.01   | 0.24  | -0.70 | Near normal   |
| 1965 | 9   | 14.5   | 10.97  | 2.39   | 0.30  | -0.51 | Near normal   |
| 1965 | 10  | 26.6   | 18.50  | 2.92   | 0.41  | -0.23 | Near normal   |
| 1965 | 11  | 21.6   | 20.90  | 3.04   | 0.44  | -0.16 | Near normal   |
| 1965 | 12  | 70.2   | 39.47  | 3.68   | 0.60  | 0.26  | Near normal   |
| 1966 | 1   | 101.8  | 64.53  | 4.17   | 0.74  | 0.65  | Near normal   |
| 1966 | 2   | 81.9   | 84.63  | 4.44   | 0.81  | 0.89  | Near normal   |
| 1966 | 3   | 101.6  | 95.10  | 4.55   | 0.84  | 1.00  | Moderatly wet |
| 1966 | 4   | 47.92  | 77.14  | 4.35   | 0.79  | 0.80  | Near normal   |
| 1966 | 5   | 9.92   | 53.15  | 3.97   | 0.69  | 0.49  | Near normal   |
| 1966 | 6   | 0      | 19.28  | 2.96   | 0.42  | -0.21 | Near normal   |
| 1966 | 7   | 1.4    | 3.77   | 1.33   | 0.16  | -1.00 | Moderatly dry |
| 1966 | 8   | 0      | 0.47   | -0.76  | 0.04  | -1.73 | Severily dry  |
| 1966 | 9   | 25.7   | 9.03   | 2.20   | 0.27  | -0.61 | Near normal   |
| 1966 | 10  | 97.71  | 41.14  | 3.72   | 0.61  | 0.29  | Near normal   |
| 1966 | 11  | 42.11  | 55.17  | 4.01   | 0.70  | 0.52  | Near normal   |
| 1966 | 12  | 87.3   | 75.71  | 4.33   | 0.78  | 0.79  | Near normal   |
| 1967 | 1   | 174.2  | 101.20 | 4.62   | 0.86  | 1.06  | Moderatly wet |
| 1967 | 2   | 212.41 | 157.97 | 5.06   | 0.94  | 1.55  | Very wet      |
| 1967 | 3   | 141.92 | 176.18 | 5.17   | 0.95  | 1.68  | Very wet      |
| 1967 | 4   | 36.81  | 130.38 | 4.87   | 0.91  | 1.33  | Moderatly wet |
| 1967 | 5   | 18.13  | 65.62  | 4.18   | 0.75  | 0.66  | Near normal   |
| 1967 | 6   | 8.6    | 21.18  | 3.05   | 0.44  | -0.15 | Near normal   |
| 1967 | 7   | 21.91  | 16.21  | 2.79   | 0.38  | -0.30 | Near normal   |
| 1967 | 8   | 12.3   | 14.27  | 2.66   | 0.35  | -0.38 | Near normal   |
| 1967 | 9   | 19.2   | 17.80  | 2.88   | 0.40  | -0.25 | Near normal   |
| 1967 | 10  | 31.6   | 21.03  | 3.05   | 0.44  | -0.15 | Near normal   |
| 1967 | 11  | 12.7   | 21.17  | 3.05   | 0.44  | -0.15 | Near normal   |
| 1967 | 12  | 44.23  | 29.51  | 3.38   | 0.52  | 0.06  | Near normal   |

Anexo 7. Tabla de frecuencia de los eventos por estación y según escala del SPI

| <b>Estación Carania SPI-3</b> |               |        |
|-------------------------------|---------------|--------|
| Categoría                     | N°<br>Eventos | %      |
| Moderatly dry                 | 46            | 45.54  |
| Severily dry                  | 13            | 12.87  |
| Extremely dry                 | 42            | 41.58  |
| Total de eventos              | 101           | 100.00 |

| <b>Estación Vilca SPI-3</b> |               |        |
|-----------------------------|---------------|--------|
| Categoría                   | N°<br>Eventos | %      |
| Moderatly dry               | 58            | 53.21  |
| Severily dry                | 27            | 24.77  |
| Extremely dry               | 24            | 22.02  |
| Tota de eventos             | 109           | 100.00 |

| <b>Estación Tanta SPI-3</b> |               |        |
|-----------------------------|---------------|--------|
| Categoría                   | N°<br>Eventos | %      |
| Moderatly dry               | 61            | 59.80  |
| Severily dry                | 20            | 19.61  |
| Extremely dry               | 21            | 20.59  |
| Total de meses              | 102           | 100.00 |

| <b>Estación Carania SPI-6</b> |               |        |
|-------------------------------|---------------|--------|
| Categoría                     | N°<br>Eventos | %      |
| Moderatly dry                 | 83            | 61.94  |
| Severily dry                  | 40            | 29.85  |
| Extremely dry                 | 11            | 8.21   |
| Total de eventos              | 134           | 100.00 |

| <b>Estación Tanta SPI-6</b> |               |        |
|-----------------------------|---------------|--------|
| Categoría                   | N°<br>Eventos | %      |
| Moderatly dry               | 69            | 61.61  |
| Severily dry                | 37            | 33.04  |
| Extremely dry               | 6             | 5.36   |
| Total de meses              | 112           | 100.00 |

| <b>Estación Vilca SPI-6</b> |               |        |
|-----------------------------|---------------|--------|
| Categoría                   | N°<br>Eventos | %      |
| Moderatly dry               | 68            | 62.39  |
| Severily dry                | 23            | 21.10  |
| Extremely dry               | 18            | 16.51  |
| Total, de meses             | 109           | 100.00 |

| <b>Estación Carania SPI-9</b> |               |       |
|-------------------------------|---------------|-------|
| Categoría                     | N°<br>Eventos | %     |
| Moderatly dry                 | 62            | 56.88 |
| Severily dry                  | 28            | 25.69 |
| Extremely dry                 | 19            | 17.43 |
| Total de eventos              | 109           | 100   |

| <b>Estación Tanta SPI-9</b> |               |       |
|-----------------------------|---------------|-------|
| Categoría                   | N°<br>Eventos | %     |
| Moderatly dry               | 66            | 54.10 |
| Severily dry                | 44            | 36.07 |
| Extremely dry               | 12            | 9.84  |
| Total de meses              | 122           | 100   |

| <b>Estación Vilca SPI-9</b> |               |       |
|-----------------------------|---------------|-------|
| Categoría                   | N°<br>Eventos | %     |
| Moderatly dry               | 46            | 57.5  |
| Severily dry                | 19            | 23.75 |
| Extremely dry               | 15            | 18.75 |
| Total de meses              | 80            | 100   |

| <b>Estación Carania SPI-12</b> |               |       |
|--------------------------------|---------------|-------|
| Categoría                      | N°<br>Eventos | %     |
| Moderatly dry                  | 54            | 54.00 |
| Severily dry                   | 26            | 26.00 |
| Extremely dry                  | 20            | 20.00 |
| Total de eventos               | 100           | 100   |

| <b>Estación Tanta SPI-12</b> |               |       |
|------------------------------|---------------|-------|
| Categoría                    | N°<br>Eventos | %     |
| Moderatly dry                | 72            | 51.43 |
| Severily dry                 | 56            | 40.00 |
| Extremely dry                | 12            | 8.57  |
| Total de meses               | 140           | 100   |

| <b>Estación Vilca SPI-12</b> |               |       |
|------------------------------|---------------|-------|
| Categoría                    | N°<br>Eventos | %     |
| Moderatly dry                | 60            | 75.00 |
| Severily dry                 | 13            | 16.25 |
| Extremely dry                | 7             | 8.75  |
| Total de meses               | 80            | 100   |

Anexo 8. Informe de criterios de experto



FICHA DE VALIDACION DE CRITERIO DE EXPERTO

Considerando que el estudiante Engel Ulises Carrasco Orihuela, realizo la tesis titulada "SEQUIAS METEOROLÓGICAS EN LA RESERVA PAISAJISTICA NOR YAUYOS COCHAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO (SPI)" solicita la validación de los resultados en función a la metodología respectiva por expertos o entendidos en el tema.

Instrucciones: Marque con una "X" según considere la valoración de acuerdo a cada ítem.

| Criterios de Evaluación  | PARA: congruencia y claridad del método, los instrumentos de recogida de datos |   |   |   |   | PARA: Tendenciosidad (propensión hacia determinados fines) |   |   |   |   |   |  |   |  |
|--|--|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|---|--|
|  | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |   |  |   |  |
| 1. El trabajo de recopilación de datos corresponde a los registros del portal web del SENAMHI  |  |   |   | X |   |  |   | X |   |   | X |  |   |  |
| 2. El análisis de datos a partir del portal web del SENAMHI ofrece validez interna a la metodología                                  |  |   |   | X |   |  |   |   | X |   | X |  |   |  |
| 3. El uso de datos continuos de precipitación por más de 30 años permite identificar años secos, húmedos y normales a través del SPI |  |   | X |   |   |  |   | X |   |   |   |  | X |  |
| 4. El índice de precipitación estandarizada (SPI) es usado para determinar sequías   |  |   |   | X |   |  |   |   | X |   | X |  |   |  |
| 5. El proceso de análisis para la determinación del SPI está sujeta al índice  |  |   |   | X |   |  |   |   | X |   | X |  |   |  |
| 6. La determinación del SPI para las escalas de tiempo de 1-mes, 3-meses y 9-meses son resultados coherentes                         |  |   |   | X |   |  |   |   | X |   | X |  |   |  |
| 7. La determinación de la intensidad media, mínima y máxima, duración, frecuencia y severidad responden al método del SPI            |  |   |   | X |   |  |   |   | X |   | X |  |   |  |
| 8. Los resultados responden a los objetivos y son confiables   |  |   |   |   | X |  |   |   | X |   | X |  |   |  |
| Sumatoria parcial  |  |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |  |   |  |
| Sumatoria Total  |  |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |  |   |  |

Observaciones:

Ninguna

Fecha: 07 de agosto de 2024

Nombres y Apellidos del experto: Gary Alexis Meza Carbón

Especialidad: Ing. Ambiental Dr. Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible

DNI: 46271744 Nro. Celular: 95737022

Firma:

### ESCALA DICOTÓMICA PARA JUICIO DE EXPERTOS

Apreciación del experto sobre el resultado:

Los resultados son congruentes con los objetivos planteados en la investigación, el SPI permitió en el trabajo de investigación, determinar las sequías para el periodo de estudio.

| Criterios de Evaluación   | Correcto | Incorrecto |
|---|----------|------------|
| 1. El Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) permite determinar las sequías  | X        |            |
| 2. La secuencia de recopilación de datos es adecuada para el índice   | X        |            |
| 3. La secuencia de análisis de datos son los indicados  | X        |            |
| 4. El orden de análisis de la información histórica de la precipitación para la determinación del SPI es el indicado para el índice | X        |            |
| 5. Las estaciones seleccionadas cumplen con los requisitos que exige el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)                 | X        |            |
| 6. Las salidas del SPI para las escalas temporales de 3-mes, 6-meses y 9-meses responden a la realidad.                             | X        |            |
| 7. Las características determinadas a partir del resultado del SPI para las diferentes escalas son objetivas.                       | X        |            |
| 8. Los resultados obtenidos a partir del SPI son reales y congruentes con la realidad.  | X        |            |

Fecha: 07 de agosto de 2024

Nombres y apellidos del Experto: Gary Alexis Meza Cárdenas

Especialidad: Ing. Ambiental Dr. Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible

Institución donde labora: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

Teléfono: 957370172

DNI: 416271744

Firma: 