

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Determinación de la variabilidad climática y cambio
climático en el distrito de Sicuani - Cusco,
de 1981 al 2021**

Mijhael Joshep Yupanqui Conza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| Agradecimientos..... | ii |
| Dedicatoria | iii |
| Índice..... | iv |
| Índice de tablas..... | vii |
| Índice de figuras..... | ix |
| Resumen..... | xi |
| Abstract..... | xii |
| Introducción | xiii |
| CAPÍTULO I..... | 15 |
| PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO..... | 15 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 15 |
| 1.2. Formulación del problema | 16 |
| 1.2.1. Problema general | 16 |
| 1.2.2. Problemas Específicos | 16 |
| 1.3. Objetivos | 17 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 17 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 17 |
| 1.4. Justificación e importancia..... | 17 |
| 1.4.1. Justificación | 17 |
| 1.4.2. Importancia | 18 |
| 1.5. Limitaciones de la presente investigación..... | 18 |
| 1.6. Hipótesis y variables | 18 |
| 1.6.1. Hipótesis general..... | 18 |
| 1.6.2. Hipótesis específicas..... | 18 |
| 1.6.3. Variables | 19 |
| 1.6.3.1. Operacionalización de variables | 19 |
| CAPÍTULO II | 20 |
| MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 20 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales..... | 20 |
| 2.1.2. Nacionales..... | 22 |
| 2.2. Bases teóricas | 23 |
| 2.2.1. Clima..... | 23 |
| 2.2.2. El sistema climático | 24 |
| 2.2.3. El clima en el Perú | 24 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3.1. Corriente de Humboldt..... | 24 |
| 2.2.3.2. Anticiclón del Pacífico sur | 25 |
| 2.2.4. El clima en el Cusco | 26 |
| 2.2.5. Clima del distrito de Sicuani..... | 26 |
| 2.2.6. Elementos climáticos | 27 |
| 2.2.6.1. Temperatura | 27 |
| 2.2.6.2. Precipitación..... | 28 |
| 2.2.7. Variabilidad climática..... | 29 |
| 2.2.8. Cambio climático | 30 |
| 2.2.9. Fenómeno de El Niño | 30 |
| 2.2.9.1. El Niño | 31 |
| 2.2.9.2. La Niña..... | 33 |
| 2.2.9.3. Fase neutral | 33 |
| 2.2.9.4. Modos de El Niño | 34 |
| 2.2.9.5. El Niño en el Perú | 35 |
| 2.2.9.6. Índices climáticos de El Niño | 40 |
| 2.2.9.7. Variabilidad de la TSM en el mar peruano | 41 |
| 2.3. Definición de términos básicos | 41 |
| CAPÍTULO III..... | 45 |
| METODOLOGÍA..... | 45 |
| 3.1. Método, tipo y alcance de la investigación | 45 |
| 2.3.1. Método de la investigación | 45 |
| 2.3.2. Tipo de la investigación | 45 |
| 2.3.3. Alcance | 45 |
| 2.3.4. Diseño | 45 |
| 3.2. Materiales y métodos | 46 |
| 3.2.1. Descripción del área de estudio | 46 |
| 3.2.2. Población | 47 |
| 3.2.3. Muestra | 47 |
| 3.2.4. Procedimiento de la investigación | 47 |
| 3.2.4.1. Control de datos | 47 |
| 3.2.4.2. Análisis de la variabilidad climática | 48 |
| 3.2.4.3. Análisis del cambio climático..... | 51 |
| 3.2.4.4. Conexión entre (ICEN) y la variabilidad climática..... | 53 |
| CAPÍTULO IV..... | 54 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 54 |
| 4.1. Presentación de resultados | 54 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.1. Variabilidad climática..... | 54 |
| 4.1.1.1. Temperatura máxima | 54 |
| 4.1.1.2. Temperatura mínima | 63 |
| 4.1.1.3. Precipitación..... | 70 |
| 4.1.2. Cambio climático | 82 |
| 4.1.3. Conexión entre el ICEN y la variabilidad climática | 84 |
| 4.1.3.1. Análisis de conexión entre el ICEN y la precipitación | 91 |
| 4.1.3.2. Análisis de conexión entre el ICEN y la temperatura máxima | 93 |
| 4.1.3.3. Análisis de conexión entre el ICEN y la temperatura mínima | 95 |
| 4.2. Discusión de resultados..... | 97 |
| Conclusiones | 100 |
| Recomendaciones | 101 |
| Lista de referencias | 102 |
| Anexos | 110 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Operacionalización de variables | 19 |
| Tabla 2. Características genéricas del FEN | 37 |
| Tabla 3. Características más significativas del FEN (1982-1983 y 1997 -1998) en el Perú..... | 37 |
| Tabla 4. Impactos de El Niño en el Perú..... | 39 |
| Tabla 5. Índice ONI (Características de ENSO) | 40 |
| Tabla 6. Índice ICEN (Características del FEN 1+2) | 41 |
| Tabla 7. Ubicación de la estación meteorológica de Sicuani..... | 47 |
| Tabla 8. Clasificación del rango de intensidad de las anomalías | 50 |
| Tabla 9. Interpretación del valor “Z” De Mann – Kendall | 52 |
| Tabla 10. Datos de temperatura máxima mensual multianual en °C, su media, máxima y mínima para los periodos 1981-2010 y 1991-2021 | 55 |
| Tabla 11. Variabilidad interanual de las medias de la temperatura máxima del distrito de Sicuani en comparación con la normal para cada periodo | 58 |
| Tabla 12. Anomalías de la temperatura máxima para periodo de 1981 - 2010 y para el periodo de 1991 – 2021 | 60 |
| Tabla 13. Datos de temperatura máxima mensual multianual en °C, su media, máxima y mínima para los periodos 1981-2010 y 1991-2021 | 63 |
| Tabla 14. Temperatura mínima media anual, temperatura normal y anomalía de la temperatura mínima para los periodos de 1981-2010 y 1991–2021..... | 67 |
| Tabla 15. Datos de la precipitación acumulada multianual en mm, su media, máxima y mínima para los periodos 1981-2010 y 1991-2021 | 72 |
| Tabla 16. Precipitación acumulada, precipitación normal y anomalías de precipitación para el periodo de 1981 – 2010..... | 74 |
| Tabla 17. Precipitación acumulada, precipitación normal y anomalías de precipitación para el periodo de 1991 – 2021 | 75 |
| Tabla 18. Resultados del análisis de tendencias según el test de Mann Kendall para cada periodo de estudio..... | 78 |
| Tabla 19. Resultados del análisis de tendencias según el test de Mann Kendall entre 1981- 2021 | 82 |
| Tabla 20. Hipótesis estadística para determinar la conexión entre el ICEN y la variabilidad climática | 84 |
| Tabla 21. Ocurrencia y categorización de El Niño de acuerdo al ICEN entre 1981-2021 | 85 |
| Tabla 22. Análisis de Varianza de la regresión del ICEN y la precipitación acumulada mensual..... | 92 |

| | |
|--|----|
| Tabla 23. Coeficientes del modelo de regresión entre la precipitación acumulada mensual y el ICEN..... | 92 |
| Tabla 24. Análisis de Varianza de la regresión del ICEN y la temperatura máxima mensual. | 94 |
| Tabla 25. Coeficientes del modelo de regresión entre la temperatura máxima mensual y el ICEN..... | 94 |
| Tabla 26. Análisis de Varianza de la regresión del ICEN y la temperatura mínima mensual . | 96 |
| Tabla 27. Coeficientes del modelo de regresión entre la temperatura mínima y el ICEN..... | 96 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa climático del Perú | 25 |
| Figura 2. Mapa climático del distrito de Sicuani | 27 |
| Figura 3. Sectores del océano pacifico para el estudio del fenómeno El Niño | 31 |
| Figura 4. Condiciones de El Niño | 33 |
| Figura 5. Condiciones de La Niña | 33 |
| Figura 6. Condiciones Neutrales | 34 |
| Figura 7. Niño Canónico (1951, 1953, 1957, 1965, 1969, 1972) | 34 |
| Figura 8. Niño Modoki (1977, 1990, 1994, 2002, 2004, 2009) | 35 |
| Figura 9. Niño Extraordinario (1982, 1997) | 35 |
| Figura 10. El Niño y La Niña de 1992 y 1998 | 38 |
| Figura 11. Ubicación geográfica del distrito de Sicuani | 46 |
| Figura 12. Diagrama de relación a determinar entre el FEN (ICEN) y la variabilidad climática | 53 |
| Figura 13. Diagrama de cajas de la temperatura media máxima mensual multianual para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 56 |
| Figura 14. Diagrama de cajas de los datos máximos de temperatura máxima para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 57 |
| Figura 15. Serie anual, tendencia y normal de la temperatura media máxima para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 59 |
| Figura 16. Anomalías de la temperatura máxima de Sicuani para el periodo 1981 – 2021 | 61 |
| Figura 17. Anomalías de la temperatura máxima de Sicuani para el periodo 1991–2021 | 61 |
| Figura 18. Temperatura mínima media mensual multianual de Sicuani para el periodo 1981 – 2010. | 64 |
| Figura 19. Temperatura mínima media mensual multianual de Sicuani para el periodo de 1991–2021. | 65 |
| Figura 20. Datos mínimos mensuales multianuales de la temperatura mínima para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B). | 66 |
| Figura 21. Serie anual, tendencia y normal de la temperatura media mínima para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 68 |
| Figura 22. Anomalías de temperatura mínima de Sicuani entre 1981 – 2010 | 70 |
| Figura 23. Anomalías de temperatura mínima de Sicuani para el periodo 1991 – 2021 | 70 |
| Figura 24. Precipitación acumulada mensual multianual para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B)..... | 73 |
| Figura 25. Precipitación acumulada anual, tendencia y normal de precipitación para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 76 |

| | |
|---|----|
| Figura 26. Anomalías de precipitación (Ap) anual de la estación de Sicuani entre 1981 – 2010 | 77 |
| Figura 27. Anomalías de precipitación (Ap) anual de la estación de Sicuani para el periodo de 1991 – 2021 | 77 |
| Figura 28. Temperatura máxima media con línea de tendencia en °C para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 79 |
| Figura 29. Temperatura mínima media con línea de tendencia en °C para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 80 |
| Figura 30. Precipitación acumulada con línea de tendencia en mm para los periodos 1981 – 2010 (A), y periodo 1991-2021 (B) | 81 |
| Figura 31. Temperatura máxima media en °C y línea de tendencia entre 1981 – 2021 | 82 |
| Figura 32. Temperatura mínima media en °C y línea de tendencia entre 1981 – 2021 | 83 |
| Figura 33. Precipitación anual acumulada en mm y línea de tendencia entre 1981 – 2021..... | 83 |
| Figura 34. Duración de El Niño y categoría entre 1981 -2021 | 86 |
| Figura 35. Valores del ICEN entre 1981 – 2021..... | 87 |
| Figura 36. Precipitación con presencia del FEN Y FEN neutro en el distrito de Sicuani entre 1981-2021 | 88 |
| Figura 37. Precipitación en la estación de Sicuani con presencia del FEN clasificado entre 1981 – 2021 | 88 |
| Figura 38. Diagrama de cajas de la precipitación durante el fen en el distrito de Sicuani..... | 89 |
| Figura 39. Temperatura media máxima mensual de la estación de Sicuani con FEN neutro Y FEN..... | 89 |
| Figura 40. Diagrama de cajas de la temperatura media máxima durante el FEN en la estación de Sicuani..... | 90 |
| Figura 41. Temperatura media mínima mensual en la estación de Sicuani con FEN neutro y cálido..... | 90 |
| Figura 42. Diagrama de cajas de la temperatura media mínima durante el FEN en la estación de Sicuani..... | 91 |
| Figura 43. Tendencia de la precipitación Y El ICEN | 93 |
| Figura 44. Tendencia de la temperatura máxima y El ICEN | 95 |
| Figura 45. Tendencia de la temperatura mínima y El ICEN..... | 97 |

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el distrito de Sicuani, provincia de Canchis, departamento del Cusco, debido a que en los últimos años se experimentó alteraciones en la temperatura, y la frecuencia e intensidad de la lluvia, generando variaciones en la climatología local, teniendo como objetivo el estudio de la variabilidad climática, así como el cambio climático local y la relación del fenómeno El Niño con la temperatura y precipitación (indicadores de la variabilidad climática), para ello, se eligieron datos de temperatura y precipitación que fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), planteándose una metodología hipotética deductiva con enfoque cuantitativo con alcance descriptivo correlacional con diseño no experimental, teniendo como instrumento las fichas de datos, aplicándose métodos de estadística para el alcance de los objetivos. Concluyéndose que el comportamiento de la precipitación disminuye entre los meses de mayo, junio y julio, pero entre octubre y marzo las precipitaciones aumentan, indicando una estacionariedad (regido por estaciones), del mismo modo, la temperatura máxima y mínima presentan estacionariedad, por otro lado, los resultados del test de Mann Kendall para la temperatura máxima y mínima para el periodo entre 1981 – 2021 muestran una tendencia creciente, mostrando incrementos de 0.42 °C y 0.86 °C en la temperatura máxima y mínima, asimismo, la temperatura máxima presenta una conexión lineal creciente con el índice costero de El Niño (ICEN), mientras que, la precipitación muestra una conexión lineal decreciente con el ICEN.

Palabras claves: cambio climático, tendencias climáticas, variabilidad climática

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the district of Sicuani, province of Canchis, department of Cusco, because in recent years changes in temperature, frequency, and intensity of rain have been experienced, generating variations in the local climatology, with the objective of the study of climatic variability as well as local climate change and the relationship of the El Niño Phenomenon with temperature and precipitation (indicators of climatic variability), for which temperature and precipitation data obtained from National Meteorology and Hydrology Service (Senamhi) were chosen, considering a hypothetical deductive methodology with a quantitative approach with a descriptive correlational scope with a non-experimental design, using the data sheets as an instrument, applying statistical methods to achieve the objectives. Concluding that the behavior of precipitation decreases between May, June, and July but between October and March rainfall increases indicating stationarity (governed by seasons), in the same way, the maximum and minimum temperature present stationarity on the other hand the results of the Mann Kendall test for the maximum and minimum temperature for the period between 1981 - 2021 show an increasing trend, showing increases of 0.42 °C and 0.86 °C in the maximum and minimum temperature, likewise the maximum temperature presents an increasing linear connection with the Coastal El Niño Index (ICEN), while precipitation shows a decreasing linear connection with the ICEN.

Keywords: climate change, climate trends, climate variability