



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA
MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y AGUA



Financiado por
la Unión Europea

Este proyecto forma parte de: EUROCLIMA+



CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS

Estudio para los Municipios de
Sica Sica, Achacachi y Calacoto



senamhi
SERVICIO NACIONAL DE
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS

**Estudio para los Municipios de
Sica Sica, Achacachi y Calacoto**

CRÉDITOS

Hugo Mamani Ticona

Director Nacional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

DESARROLLO

Michelle Vásquez (autora principal)

Willy Rocha

José Miguel Ugarte

FOTOGRAFÍAS

Proyecto Pacha Yatiña Pacha Yachai

PORTADA

Proyecto Pacha Yatiña Pacha Yachai

IMPRESIÓN

HERMENCA SRL

Esta publicación ha sido elaborada con la asistencia técnica y financiera del Proyecto Pachayatiña Pachayachay de EUROCLIMA+ Gestión del Riesgo, implementado por AECID y AFD, ejecutado por SENAMHI Bolivia, SENAMHI Perú, HELVETAS Bolivia y Perú, y PREDES.

Depósito Legal: 4244192021

La Paz, noviembre de 2021



RESUMEN EJECUTIVO

La sequía es un factor complejo que afecta diferentes sectores y actividades productivas, pero sobre todo el bienestar y seguridad alimentaria, debido a que la vulnerabilidad a efectos adversos como la sequía ha aumentado en los últimos años y se ha hecho importante iniciar procesos de vigilancia climática, así como coadyuvar en la reducción de riesgos ante efectos adversos como la sequía.

El objetivo del presente estudio, es identificar y caracterizar los tipos de sequía en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi, priorizados por el Proyecto Pachayatiña Pachayachay Euroclima+, a partir de la generación de diferentes índices de sequía. Para ello se realizó análisis de series temporales de precipitación y temperatura registrados por la red de estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) para el periodo de 1981 al 2021, implementando procesos de control de calidad y consistencia de datos, a fin de utilizar los mismos dentro de este estudio.

Con los controles respectivos a la información, se procedió a generar diferentes índices, los cuales nos permitirán realizar la caracterización de eventos de sequía. Debido a la baja densidad de estaciones meteorológicas, se complementó el estudio con la disponibilidad de sensores satelitales, como sensores MODIS y PERSIANN, para la regionalización de los índices de sequía y la identificación de los periodos de retorno en lugares críticos dentro de la zona de estudio.

Finalmente se realizó la regionalización de los índices generados para los Municipios de Sica Sica, Achacachi y Calacoto.

Lic. Hugo Mamani Ticona

Director Nacional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

ÍNDICE

1	Introducción	11
2	Antecedentes	11
3	Planteamiento del problema	12
3.1	Identificación de las variables	12
3.2	Formulación de la hipótesis	13
4	Objetivos	13
4.1	Objetivo general	13
4.2	Objetivos específicos	13
5	Descripción de la zona de estudio	14
5.1	Municipio de Sica Sica	14
5.2	Municipio de Calacoto	16
5.3	Municipio de Achacachi	18
6	Metodología	20
6.1	Identificación y procesamiento de estaciones meteorológicas utilizadas	20
6.1.1	Software R	21
6.1.2	Estudio	21
6.1.3	Control de calidad utilizado	21
6.1.3.1	Andesc QC	21
6.1.3.2	Climatol	22
6.1.4	Metodología de relleno de datos	22
6.1.5	Procesamiento de la información de fuentes locales	23
6.2	Identificación y procesamiento de índices	24
6.2.1	Índice estandarizado de precipitación SPI	24
6.2.2	Índice estandarizado de evapotranspiración (SPEI)	24
6.2.3	Índice de Salud de la Vegetación VHI	25
6.2.4	Índice estandarizado de humedad del suelo SSMI	26
6.2.5	Índice de Déficit de Agua en el Suelo SWDI	26
6.2.6	Procesamiento de índices	27
6.2.7	Análisis de zonas de aprovechamiento agrícola	28
6.2.7.1	Municipio de Achacachi	29
6.2.7.2	Municipio de Calacoto	31
6.2.7.3	Municipio de Sica Sica	32
6.3	Caracterización climática	35
6.4	Caracterización de sequía	40
6.4.1	Criterios para la caracterización	40
6.4.1.1	Municipio de Calacoto	41
6.4.1.2	Municipio de Sica Sica	42
6.4.1.3	Municipio de Achacachi	44
6.4.2	Análisis regionalizado y periodos de retorno	45

6.4.3 Análisis de recurrencia	46
6.4.4 Análisis de severidad.....	47
6.4.5 Análisis de continuidad.....	48
6.4.6 Relación de datos de observación e índices calculados por la herramienta "monitor de sequía"	49
7 Resultados	53
7.1 Análisis de información de cobertura.....	53
7.2 Probabilidades de ocurrencia	54
7.2.1 Periodos de mayor importancia identificados.....	54
7.3 Validación con registros externos	57
7.3.1 Municipio de Sica Sica	58
7.3.2 Municipio de Calacoto.....	59
7.3.3 Municipio de Achacachi.....	60
7.4 Análisis de Resiliencia	61
8 Conclusiones	62
9 Bibliografía	62

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Hipsometría Municipio Sica Sica	14
TABLA 2. Índices de amenaza Municipio Sica Sica	15
TABLA 3. Hipsometría Municipio Calacoto	16
TABLA 4. Hipsometría Municipio Achacachi	18
TABLA 5. Estaciones meteorológicas consideradas en el estudio	20
TABLA 6. Resumen de información satelital utilizada	27
TABLA 7. Análisis de cobertura para el Municipio de Achacachi.....	29
TABLA 8. Análisis de cobertura para el Municipio de Calacoto.....	31
TABLA 9. Análisis de Cobertura para el Municipio de Sica Sica	33
TABLA 10. Periodos identificados más críticos	54
TABLA 11. Periodos identificados más críticos para el Municipio de Sica Sica	54
TABLA 12. Periodos identificados más críticos para el Municipio de Calacoto	55
TABLA 13. Periodos identificados más críticos para el Municipio de Achacachi	55
TABLA 14. Tabla comparativa de periodos anómalos para el Municipio de Sica Sica	58
TABLA 15. Tabla comparativa de periodos anómalos para el Municipio de Calacoto	59
TABLA 16. Tabla comparativa de periodos anómalos para el Municipio de Achacachi	60

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Formulación de hipótesis.....	13
FIGURA 2. Proceso de control de calidad.....	21
FIGURA 3. Esquema de manejo de la información climática.....	23
FIGURA 4. Secuencia de procesamiento de la información.....	23
FIGURA 5. Rango del índice estandarizado de precipitación (SPI), probabilidad de ocurrencia.....	24
FIGURA 6. Rango del índice estandarizado de evapotranspiración (SPEI), probabilidad de ocurrencia.....	25
FIGURA 7. Rango del índice de salud de la vegetación (VHI).....	25
FIGURA 8. Rango del índice estandarizado de humedad del suelo (SSMI), probabilidad de ocurrencia.....	26
FIGURA 9. Rango del índice de déficit de agua en el suelo (SWDI) probabilidad de ocurrencia.....	27
FIGURA 10. Portal de consulta y descarga de información de CLC Corine LC.....	28
FIGURA 11. Metodología utilizada para la actualización de la información de cobertura.....	29
FIGURA 12. Distribución porcentual de unidades de cobertura y uso de suelos en el Municipio de Achacachi.....	30
FIGURA 13. Distribución porcentual de unidades de cobertura y uso de suelos en el Municipio de Calacoto.....	31
FIGURA 14. Distribución porcentual de unidades de cobertura y uso de suelos en el Municipio de Sica Sica.....	33
FIGURA 15. Promedios normales del Municipio de Calacoto.....	37
FIGURA 16. Promedios normales del Municipio de Sica Sica.....	38
FIGURA 17. Promedios normales del Municipio de Achacachi.....	40
FIGURA 18. Criterios para la caracterización de la sequía.....	40
FIGURA 19. Índice SPEI de las estaciones del Municipio de Calacoto.....	41
FIGURA 20. Análisis de correlación de datos estadísticos.....	42
FIGURA 21. Índice SPEI de las estaciones del Municipio de Sica Sica.....	42
FIGURA 22. Análisis de correlación de datos estadísticos.....	43
FIGURA 23. Índice SPEI de las estaciones del Municipio de Achacachi.....	44
FIGURA 24. Análisis de correlación de datos estadísticos.....	44
FIGURA 25. Régimen de precipitaciones para la papa.....	46
FIGURA 26. Cantidad de meses con SPEI negativo.....	46
FIGURA 27. Cantidad de meses con SPEI negativo con umbral menor a -0.5.....	47

FIGURA 28. Intensidad de condiciones deficitarias.....	47
FIGURA 29. Severidad de condiciones deficitarias con umbral menor a -1.5 de SPEI	48
FIGURA 30. Continuidad de condiciones deficitarias.....	48
FIGURA 31. Continuidad de condiciones deficitarias con umbral al de -0.5 de SPEI.....	49
FIGURA 32. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SPEI Monitor en el Municipio de Calacoto	49
FIGURA 33. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SSMI Monitor en el Municipio de Calacoto	50
FIGURA 34. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SWDI Monitor en el Municipio de Calacoto	50
FIGURA 35. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/VHI Monitor en el Municipio de Calacoto	50
FIGURA 36. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SPEI Monitor en el Municipio de Sica Sica.....	50
FIGURA 37. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SSMI Monitor en el Municipio de Sica Sica.....	51
FIGURA 38. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SWDI Monitor en el Municipio de Sica Sica.....	51
FIGURA 39. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/VHI Monitor en el Municipio de Sica Sica.....	51
FIGURA 40. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SPEI Monitor en el Municipio de Achacachi	51
FIGURA 41. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SSMI Monitor en el Municipio de Achacachi	52
FIGURA 42. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SWDI Monitor en el Municipio de Achacachi	52
FIGURA 43. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/VHI Monitor en el Municipio de Achacachi	52
FIGURA 44. Probabilidades de ocurrencia Municipio de Sica Sica	56
FIGURA 45. Probabilidades de ocurrencia Municipio de Calacoto	56
FIGURA 46. Probabilidades de ocurrencia Municipio de Achacachi	57
FIGURA 47. Metodología de análisis de información	57
FIGURA 48. Afectación en función a los eventos de sequía identificados	61
FIGURA 49. Resumen de afectaciones por Municipios	61

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1. Hipsometría Municipio Sica Sica	15
MAPA 2. Hidrografía Municipio de Sica Sica	16
MAPA 3. Hipsometría Municipio Calacoto	17
MAPA 4. Hidrografía Municipio Calacoto	18
MAPA 5. Hipsometría Municipio Achacachi	19
MAPA 6. Hidrográfica Municipio Achacachi.....	20
MAPA 7. Mapa de aprovechamiento agrícola del Municipio de Achacachi.....	30
MAPA 8. Mapa de aprovechamiento agrícola del Municipio de Calacoto.....	32
MAPA 9. Mapa de Aprovechamiento Agrícola del Municipio de Sica Sica	34
MAPA 10. Mapa de clasificación climática	35
MAPA 11. Mapa de clasificación climática del Municipio de Calacoto.....	36
MAPA 12. Mapa de clasificación climática del Municipio de Sica Sica	37
MAPA 13. Mapa de clasificación climática del Municipio de Achacachi.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

AASANA	Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea
CLC	Corine Land Cover
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CODERADE	Comité Departamental de Reducción de Riesgos y Atención de Desastres
COE	Comité de Operaciones de Emergencia
COMURADE	Comité Municipal de Reducción de Riesgo y Atención de Desastres
CONARADE	Consejo Nacional de Reducción de Riesgos y Atención de Desastres
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
MODIS	Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PERSIANN	Estimación de la precipitación a partir de información de teledetección mediante redes neuronales artificiales
SEMENA	Servicio al Mejoramiento de la Navegación Amazónica
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SIG	Sistema de información geográfica
SPEI	Índice estandarizado de evapotranspiración
SPI	Índice Estandarizado de Precipitación
SSMI	Índice Estandarizado de agua (o humedad) del suelo
SWDI	Índice de déficit de agua / humedad del suelo
UCR	Unidad de Contingencia Rural
VHI	Índice de Salud de la Vegetación
VIDECI	Viceministerio de Defensa Civil
VRHR	Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego



1. Introducción

Las sequías son fenómenos complejos que afectan de manera significativa el desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos en una región. Si bien existen innumerables definiciones de sequías, en general se considera como períodos prolongados de déficit de precipitación, lo cual implica una escasez de recursos hídricos capaces de provocar efectos adversos sobre la sociedad o los sistemas productivos (Beran & Rodier, 1985). Tiene un lento desarrollo temporal y amplia cobertura espacial, lo que hace difícil precisar con exactitud su duración y extensión, dificultando la adopción oportuna de medidas concretas para mitigar sus efectos. Su ocurrencia no provoca el colapso ni la falla destructiva de las obras, pero puede condicionar la operación de los sistemas de utilización de recursos hídricos, imponiendo condiciones más exigentes que las de diseño con graves consecuencias económicas y sociales.

Bolivia es uno de los países en Sudamérica con los índices de vulnerabilidad climática más altos (Mapplecroft, 2014). De acuerdo a la geografía y diversidad de climas, combinada con un alto nivel de pobreza, lo ponen en una situación de alta vulnerabilidad al cambio climático. Eventos extremos como es el caso específico de las sequías como consecuencia de cambios en el inicio y duración del periodo de lluvia y su distribución, impactan a la población y los sectores económicos de forma negativa. El aumento gradual de la temperatura por el calentamiento global ha introducido cambios en el ciclo hidrológico que eventualmente están exacerbando esta condición y recurrencia del fenómeno de la sequía.

2. Antecedentes

La ocurrencia de sequías en Bolivia es errática y presenta una variabilidad espacial intensa; además, no se puede olvidar el entorno de cambio climático en el cual se encuentra el mundo entero, Bolivia incluida y esto repercute en la combinación de temperaturas más elevadas en el inicio del verano y una época de lluvias aparentemente retrasada que incrementará la amenaza de sequías intensas; de igual manera, al inicio de la época de lluvias provocará déficits e incrementará el riesgo de fracaso de la agricultura en la zona.

La naturaleza de la sequía está caracterizada por un fenómeno climático gradual, poco perceptible en sus inicios, aun cuando una vez esté establecida y manifieste efectos negativos sobre la producción de cultivos, las condiciones de pastoreo y el riesgo de incendios. Esto se

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (SENAMHI), tiene como parte de sus responsabilidades asignadas, según el Decreto Supremo N° 8465, proveer información estratégica relacionada al monitoreo hidrometeorológico, tanto para el apoyo a los sistemas de defensa civil en la gestión del riesgo de desastres (para la prevención de los mismos), como también para la difusión del estado de situación ante riesgos de eventos hidrometeorológicos extremos (inundaciones y sequías), a toda la población en general. Así mismo, el SENAMHI es por Ley, el responsable de formar y mantener el Archivo Nacional de Datos Meteorológicos e Hidrológicos.

Es importante recordar el rol fundamental del SENAMHI en la concentración y procesamiento de la información meteorológica a partir de la red de estaciones, más las redes de la Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea (AASANA), del Servicio de Mejoramiento de la Navegación Amazónica (SEMENA) y las pequeñas redes de agricultores del Oriente del país. El análisis y monitoreo de esta información es muy importante para predecir el potencial de sequía y realizar pronósticos.

Las entidades nacionales y locales pueden trabajar juntas para contribuir a la reducción de riesgos y así los Municipios alcancen a aplicar medidas que permitan reducir los efectos nocivos de la sequía.

presenta así debido a la acumulación de materias secas y la aceleración de la desertificación por la pérdida de cobertura vegetal en terrenos fácilmente erosionables. Entonces, si bien no existen mecanismos que puedan evitar la ocurrencia de sequías, es posible, mediante el análisis de la información climática, meteorológica e hidrológica, realizar una identificación, valoración y previsión del fenómeno.

La ocurrencia histórica del evento de sequía en Bolivia y sus impactos cuantificados, dan como resultado lo siguiente:

- Desde 1920 hasta 2005 del total de 3363 eventos extremos o desastres reportados el 7,5% se debieron a sequía.
- Desde 1990 hasta 2014, la sequía contribuyó a las pérdidas con un 15,8% y a las muertes con un 4,9%.¹

¹ Los datos se encuentran en el documento original "Estrategia de acciones para enfrentar la sequía" Fuente: www.preventionweb.net

La sequía de 2015-2016 en el territorio boliviano, fue el primer evento que impactó de forma drástica a un gran número de centros urbanos, poniendo en evidencia que la mayoría de las entidades prestadoras de servicios de agua, de los centros urbanos, todavía no se encontraban preparadas para gestionar este tipo de sucesos por falta de sistemas de alertas temprana y planes de contingencia.

Es importante conocer los mecanismos globales que inducen a la variabilidad de precipitaciones en el país y definen la frecuencia del evento de sequía y estos son:

- La presencia de la Cordillera de los Andes como obstáculo al flujo de humedad.
- La corriente de chorro de baja altitud que traslada humedad desde el Amazonas hasta la Cordillera y la planicie del Este de Bolivia.
- El fenómeno de El Niño o ENSO (El Niño Oscilación del Sur) que provoca con frecuencia sequía en el Oeste de Bolivia e inundaciones en el Este.
- El gradiente meridional de la temperatura de la superficie del mar (SST) sobre el Atlántico que tiene un profundo impacto en el clima del Este de América del Sur.
- La Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) que influye la variabilidad de la lluvia.

En Bolivia los indicadores más comunes utilizados para estas evaluaciones son:

- Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI)
- Índice normalizado de precipitación (SPI)
- Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI)
- Déficit en Porcentaje de la precipitación habitual
- Deciles

La importancia de la comunicación en la implementación de un sistema de mitigación y respuesta en periodos de sequías y la claridad de los roles deben tomar en cuenta:

- Monitoreo y pronóstico que están a cargo del SENAMHI, con la utilización de índices para definir condiciones diferentes de sequía.

Atención y respuesta, bajo la tuición del Viceministerio de Defensa Civil (VIDECL). A cargo del COE (Comité de Operaciones de Emergencia), según activación respectivamente por parte de Comité Municipal de Reducción de Riesgo y Atención de Desastres (COMURADE), el Comité Departamental de Reducción de Riesgos y Atención de Desastres (CODERADE) y el Consejo Nacional de Reducción de Riesgos y Atención de Desastres (CONARADE).

3. Planteamiento del problema

Durante los últimos años se ha observado un cambio progresivo de las condiciones climáticas en el mundo, que ha tenido como consecuencia aumentos de la frecuencia y severidad de fenómenos como la sequía. Es necesario distinguir la sequía de los conceptos de aridez (característica climática permanente) y escasez (asociado a la demanda de agua en una determinada zona). La sequía es un evento extremo cuyos límites geográficos y temporales son difíciles de determinar. Se considera una anomalía transitoria, caracterizada por un periodo de tiempo con precipitaciones inferiores a los normales que afecta de gran manera nuestro bienestar y la seguridad alimentaria.

El objetivo de este trabajo consiste en identificar y caracterizar los tipos de sequía en los municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi, priorizados del Proyecto Pachayatiña/Pachayachay Euroclima+, a partir de la generación de diferentes índices.

Estos resultados permiten realizar una interpretación espacial y temporal del comportamiento de la sequía identificando la caracterización con respecto a duración, intensidad y severidad, para detectar las condiciones de escasez que pueden afectar el desarrollo productivo o tener impactos negativos económicos y sociales. La

vulnerabilidad a la sequía va aumentando cada vez más por lo que debe generar procesos de prevención; es una meta fundamental para poder contribuir a la reducción de riesgos, en que los municipios puedan aplicar medidas para reducir los efectos nocivos de la sequía.

En este sentido, el problema radica en poder optimizar las condiciones del desarrollo productivo, las condiciones de mejora económica y social de las comunidades que se encuentran en los municipios priorizados por el proyecto. La mejora va por el lado de la prevención, identificando las regiones que sufren de vulnerabilidad a la sequía, utilizando índices y registros históricos de eventos para la interpretación espacial y temporal del comportamiento de la sequía.

3.1 Identificación de las variables

A fin de analizar el problema, se utilizó un análisis de causa-efecto y la inclusión de nuevas capacidades y de manera metodológica se obtuvo lo siguiente:

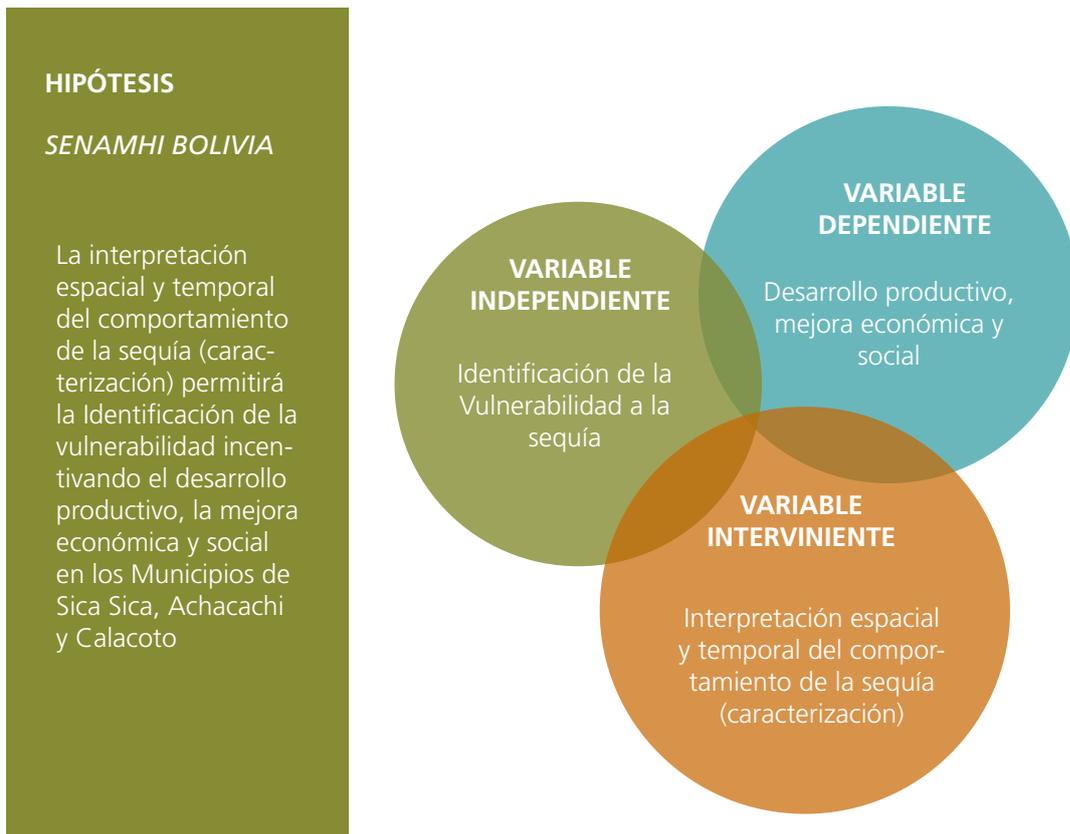
- Variable Independiente: Identificación de la vulnerabilidad a la sequía.

- Variable Dependiente: Desarrollo productivo, mejora económica y social.
- Variable Interviniente: Interpretación espacial y temporal del comportamiento de la sequía (caracterización).

La relación entre estas variables, determinará el problema a resolver y con la inclusión de la caracterización de la sequía se pretende incidir en el desarrollo productivo, económico y social de la región.

3.2 Formulación de la hipótesis

FIGURA 1. Formulación de hipótesis



Fuente: Elaboración propia

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Desarrollar la caracterización de sequía en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi, a través de índices y análisis de eventos pasados.

4.2 Objetivos específicos

- a) Realizar la identificación y procesamiento de datos de la red de estaciones de SENAMHI seleccionada para los Municipios priorizados.
- b) Identificar y procesar los índices de sequía.
- c) Determinar con base a los registros históricos la clasificación climática de los Municipios priorizados.
- d) Desarrollar el análisis y caracterización de sequía para los tres Municipios priorizados con base a criterios de persistencia, severidad y continuidad.

5. Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio del proyecto EUROCLIMA+ incluye los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi. Los mismos se encuentran en la zona del altiplano boliviano, en el Departamento de La Paz; si bien todos están ubicados en la zona del altiplano, cada uno tiene características diferentes en cuanto a su fisiografía, climatología y la actividad económica y agropecuaria que realizan, esto incluye también las condiciones de riego y el acceso al agua.

5.1 Municipio de Sica Sica

El Municipio de Sica Sica es la capital de la provincia Aroma, perteneciente al Departamento de La Paz. Geográficamente se encuentra ubicado en la zona altiplánica de los Andes, a una altitud de 3917 m.s.n.m., al Sud Este de La Paz. El acceso vial principal, es a través de la carretera interdepartamental de doble vía La Paz – Oruro.

En el Municipio se desarrolla actividades productivas agropecuarias integrales y sustentables, promoviendo la generación de programas productivos que responden a las necesidades locales y regionales, utilizan de forma sustentable los recursos naturales, generan ingresos y

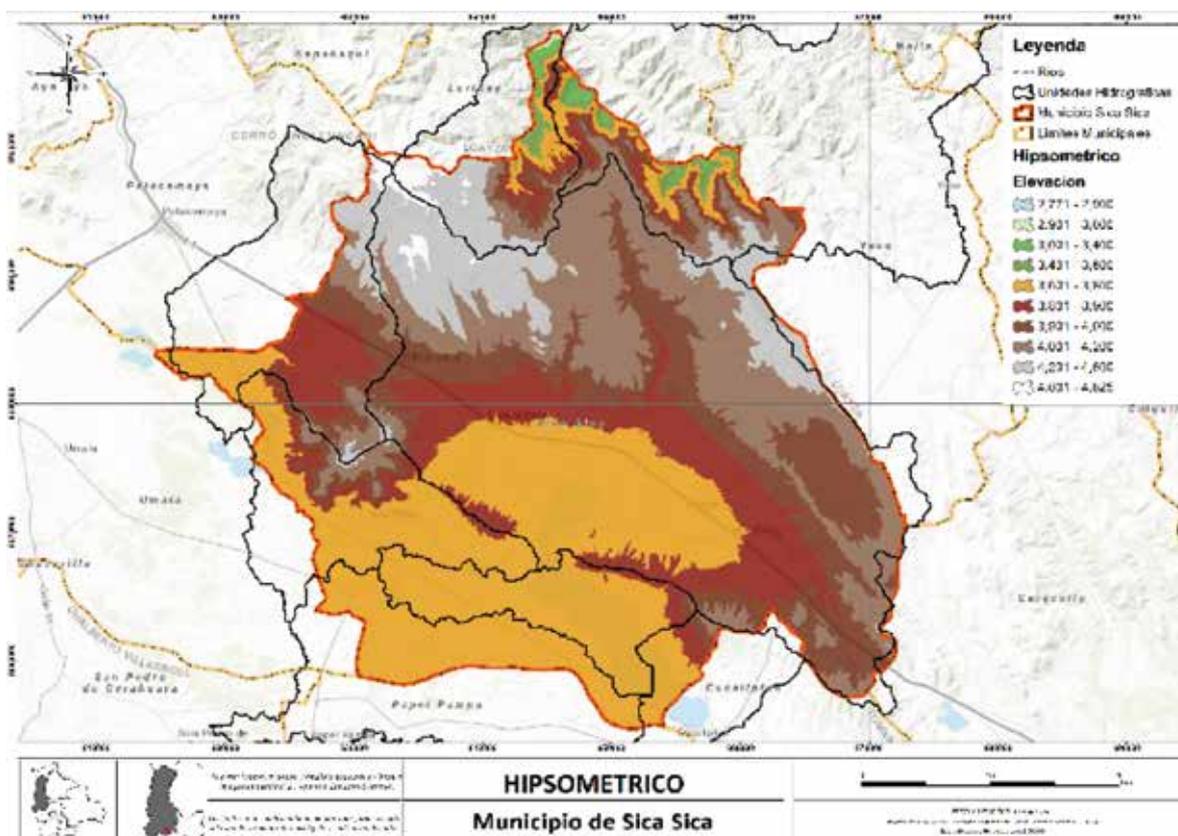
empleo para la población y garantizan la seguridad y soberanía alimentaria.

TABLA 1. Hipsometría Municipio Sica Sica

Elevación	Superficie Km ²	Porcentaje
2771 - 2900	0,51	0,03
2901 - 3000	0,57	0,03
3001 - 3400	9,61	0,55
3401 - 3600	17,77	1,03
3601 - 3800	583,06	33,65
3801 - 3900	276,36	15,95
3901 - 4000	283,27	16,35
4001 - 4200	362,83	20,94
4201 - 4400	115,40	6,66
4401 - 4825	83,60	4,82
Total	1732,89	100,00

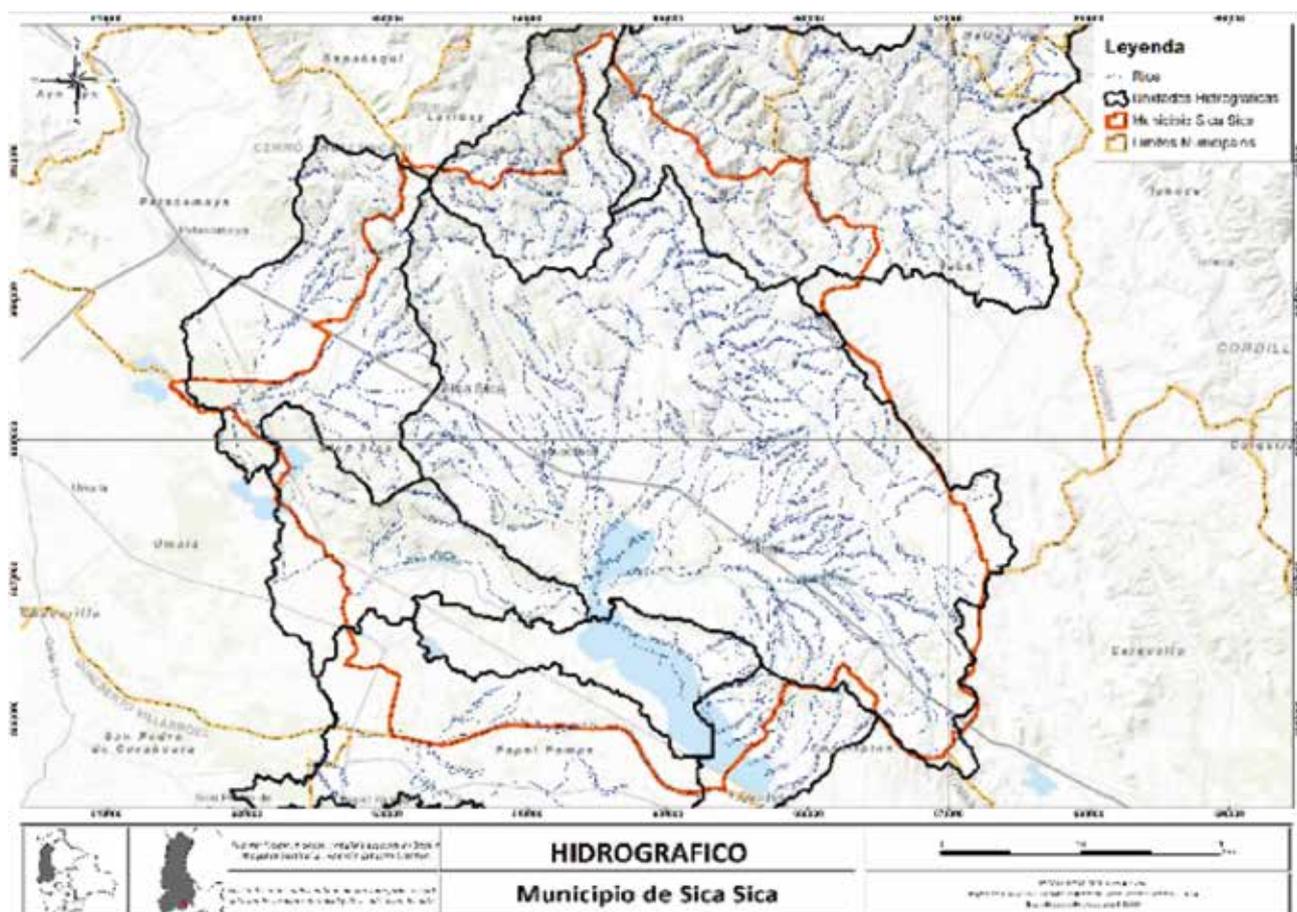
Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

MAPA 1. Hipsometría Municipio Sica Sica



Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

MAPA 2. Hidrografía Municipio de Sica Sica



Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

El municipio Sica Sica tiene una extensión aproximada de 1.732 km² de los cuales el 12% son terrenos destinados a la agricultura, el 68% son tierras de pastoreo y 20% restante son tierras no utilizables en la agricultura, correspondiendo a montañas y sectores mineralógicos además de los espacios “físico transformados”.

El principal producto de los cereales es la cebada en grano y la quinua; mientras que la principal raíz y tubérculo está constituida por la papa y la oca; respecto a los forrajes de alfa y cebada forrajera son los de mayor superficie y volumen de producción.

TABLA 2. Índices de amenaza Municipio Sica Sica

Amenaza	Índice
Granizo	Medio
Sequia	Alto
Inundación	Medio
Helada	Muy Alto
Incendio Forestal	Muy Bajo

Fuente: PTDI 2016-2020 Sica Sica (Gobierno Autónomo Municipal de Sica Sica, 2015)

De acuerdo al Índice de Amenaza, la helada y la sequía representan las mayores amenazas para el Municipio de Sica Sica.



5.2 Municipio de Calacoto

La ocupación actual del territorio calacoteño responde al proceso histórico, de Marcas (Ulloma, Calacoto) y Ayllus, conformado por sayañas, aynokas, usos y costumbres, como actores económicos, productivos, sociocultural, turístico y de aprovechamiento de los recursos naturales.

Se cuenta con la producción de especies pecuarias como camélidos, ovinos, bovinos y otras; así también, especies en fauna y flora nativas, propias de la región de ciclo corto y permanente (thola, paja brava, pastos nativos, vicuña, aves y otros). También el atractivo turístico es una de las potencialidades (chullpares, Ciudad de Piedra, templos coloniales) y también cuenta los diferentes saberes ancestrales, culturales, religiosos (wajthas) y artesanales, heredados de nuestros antepasados; es decir, gran parte del territorio calacoteño cuenta con áreas de producción agrícola, pecuaria, pesquera, minera y turística. (Gobierno Autónomo Municipal de Calacoto, 2016)

El Municipio se encuentra en la zona de transición entre la provincia fisiográfica de la cordillera Occidental y la del Altiplano, con una mayor proporción de superficie.

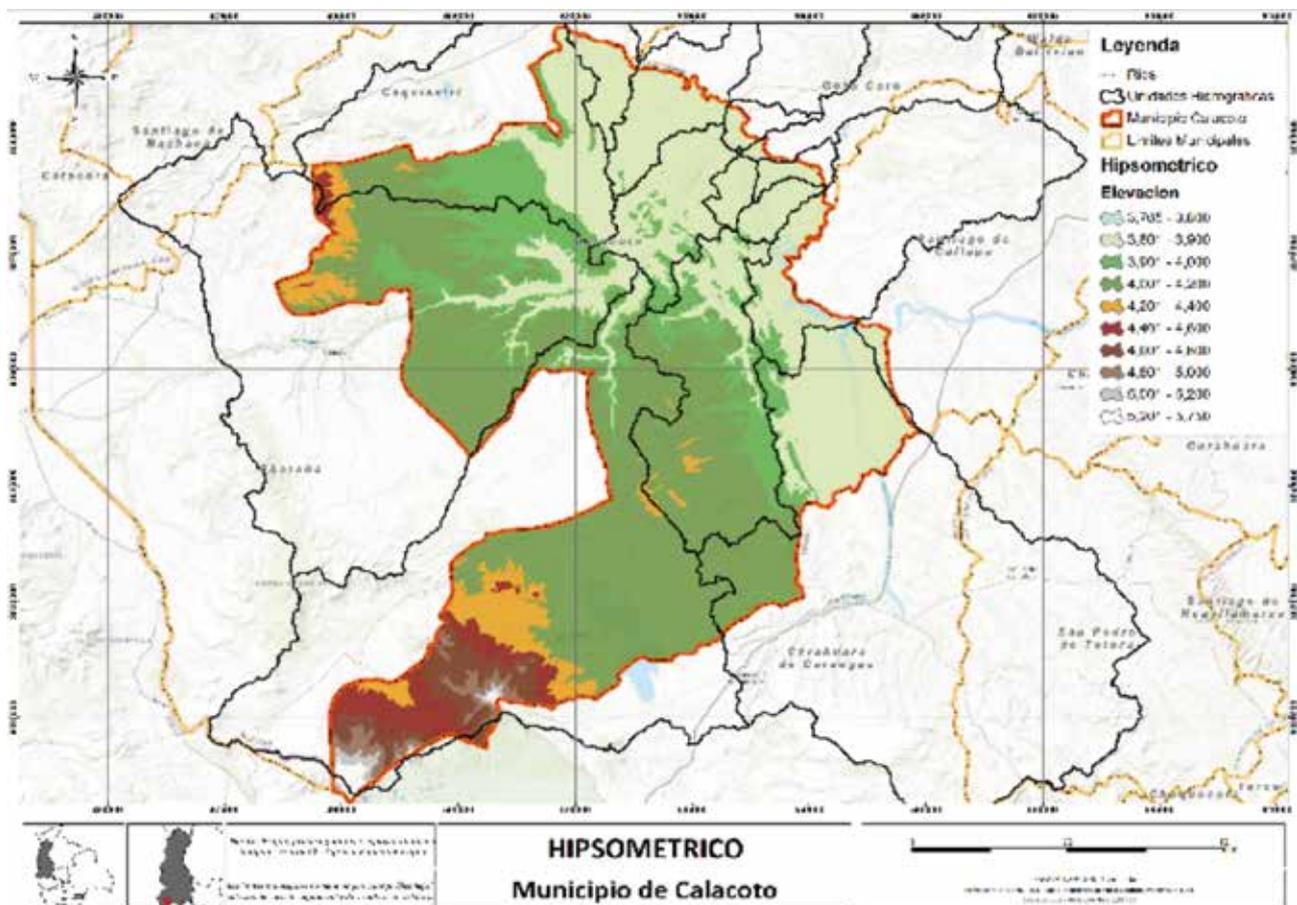
Al Oeste se tiene a la “Ciudad de Piedra” que se constituye en planicies fuertemente erosionadas y cubiertas por ignimbritas.

TABLA 3. Hipsometría Municipio Calacoto

Elevación	Superficie Km ²	Porcentaje
3765 - 3800	21,66	0,55
3801 - 3900	1225,49	31,25
3901 - 4000	582,53	14,86
4001 - 4200	1549,87	39,52
4201 - 4400	206,50	5,27
4401 - 4600	131,33	3,35
4601 - 4800	114,98	2,93
4801 - 5000	54,35	1,39
5001 - 5200	18,35	0,47
5201 - 5750	3921,39	100,00

Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

MAPA 3. Hipsometría Municipio Calacoto



Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

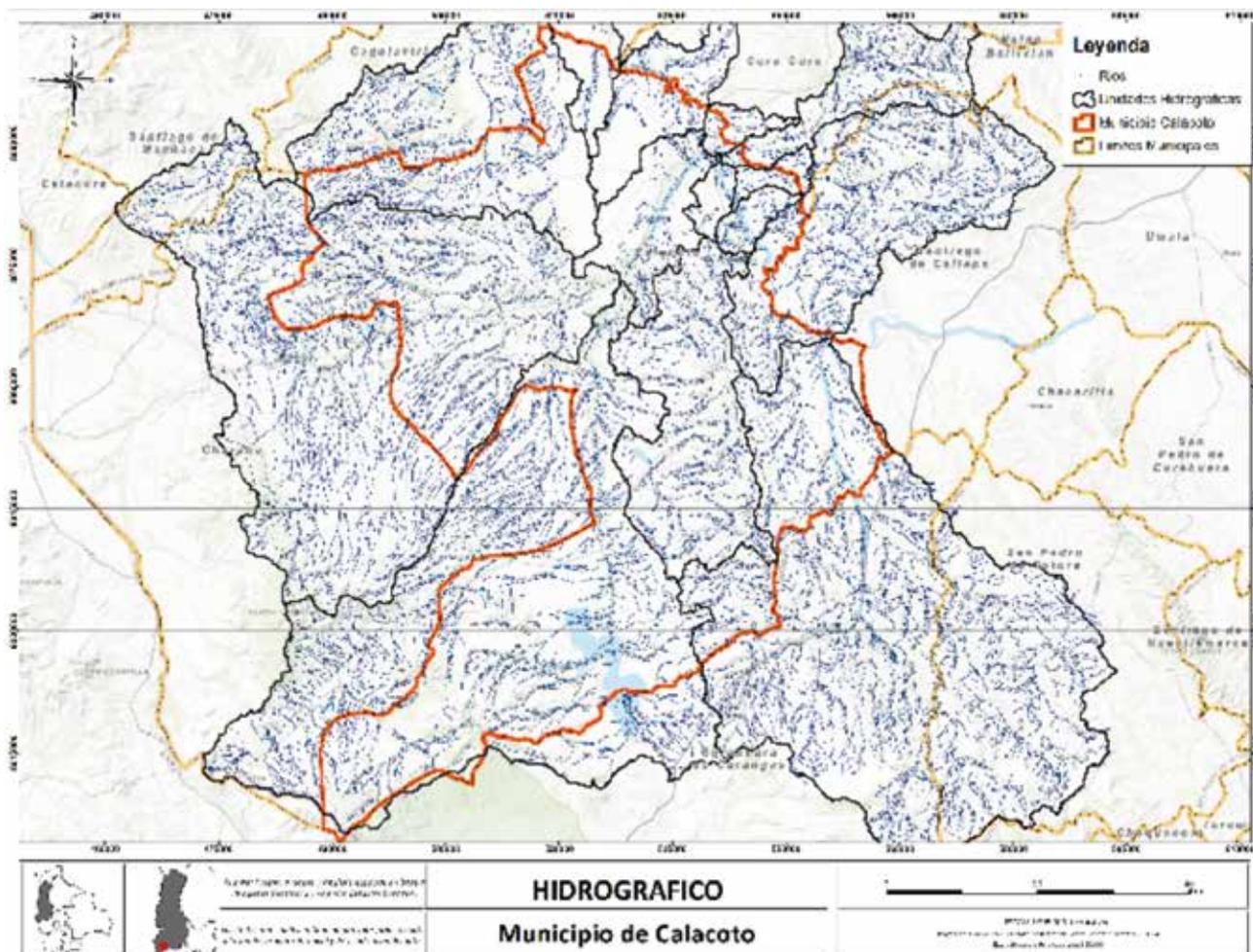
Hidrográficamente, la Provincia Pacajes pertenece a la Cuenca Cerrada del Altiplano, que tiene identificada dos subcuencas menores, la del río Desaguadero y la del río Mauri.

El río Mauri es un río afluente del río Desaguadero. Nace en la laguna de Vilacota, a 4.500 metros sobre el nivel del mar en territorio peruano y su cuenca se distribuye

entre Bolivia, Chile y Perú; tiene 202 kilómetros, de los que 124 recorren por Bolivia; confluye con el río Desaguadero en la localidad de Calacoto, en la Provincia Pacajes del Departamento de La Paz.

Los agropecuarios utilizan las aguas del río Mauri para consumo animal y algunos pequeños sistemas de riego a nivel familiar y rústico.

MAPA 4. Hidrografía Municipio Calacoto



Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

El Municipio de Calacoto enfrenta principalmente dos tipos de amenazas: sequías y heladas. La zona de sequía, por las características de altitud, se encuentra presente a lo largo del altiplano boliviano y cuyo grado de amenaza es bastante alto durante la estación de

otoño, invierno y parte de primavera del año, debido a la poca precipitación existente en la macro región durante la estación del verano. La capacidad de adaptación es entre medio, baja y muy baja, debido a la no existencia de programas de contingencia.

5.3 Municipio de Achacachi

El Municipio de Achacachi, es la primera sección municipal de la Provincia Omasuyos del Departamento de La Paz. Achacachi es la capital de la Provincia y la sede de los órganos judiciales y administrativos.

El relieve topográfico del Municipio de Achacachi se define por las características de la cordillera de los Andes y su planicie altiplánica, cuya elevación varía entre los 3.823,0 a los 5.000,0 m.s.n.m.

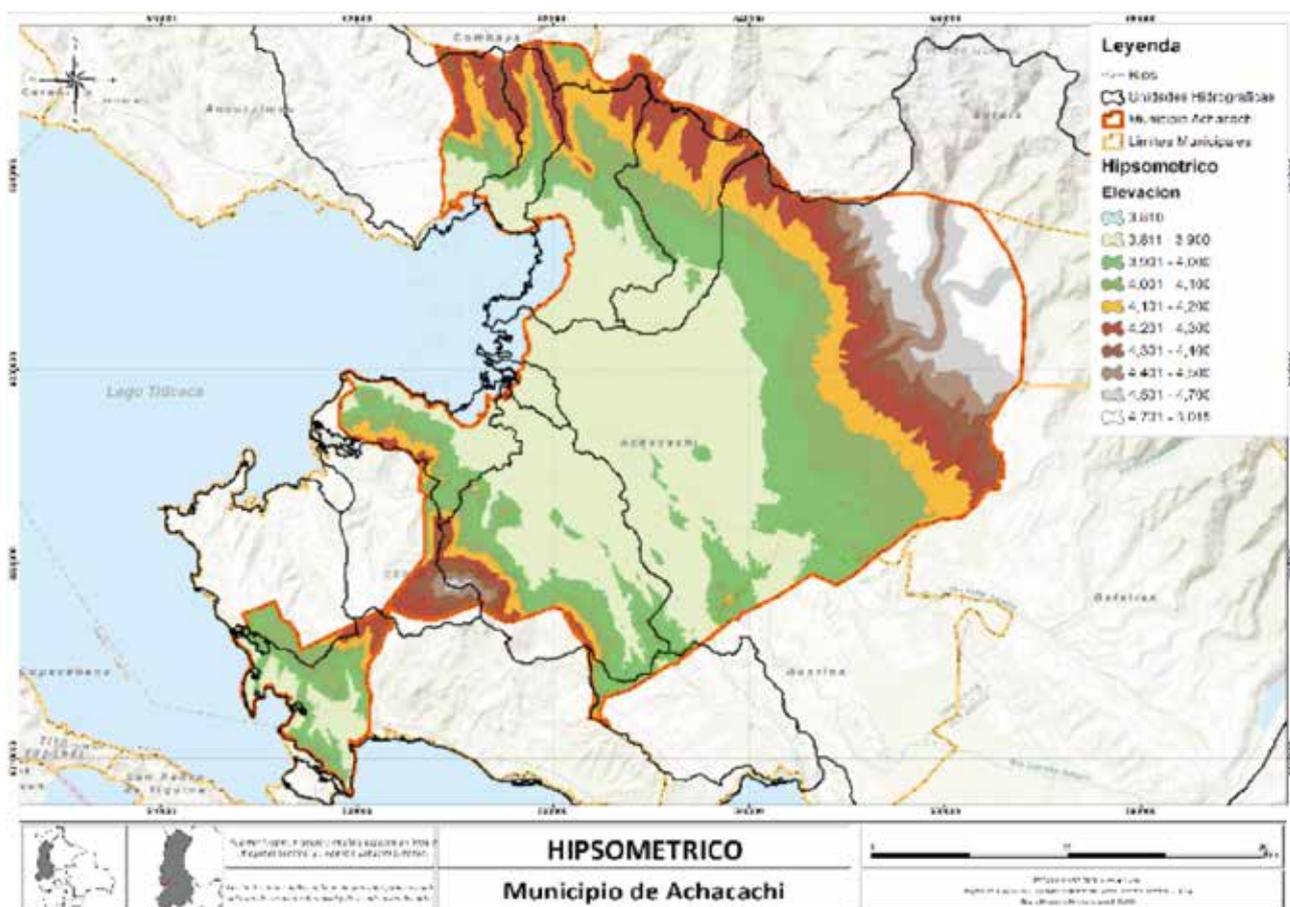
Los imponentes nevados que se encuentran en el Municipio son: el Ancohuma, Achiaraco y el Illampu con cimas que alcanzan a aproximadamente 6.388,0 m.s.n.m., de los cuales se originan los deshielos que generan masas de agua y que circulan por los drenajes naturales de la cuenca del Municipio.

TABLA 4. Hipsometría Municipio Achacachi

Elevación	Superficie Km ²	Porcentaje
3811 - 3900	257,56	36,01
3901 - 4000	117,81	16,47
4001 - 4100	95,54	13,36
4101 - 4200	69,93	9,78
4201 - 4300	69,21	9,68
4301 - 4400	28,60	4,00
4401 - 4500	20,98	2,93
4501 - 4700	29,37	4,11
4701 - 5015	26,32	3,68
Total	715,33	100,00

Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

MAPA 5. Hipsometría Municipio Achacachi



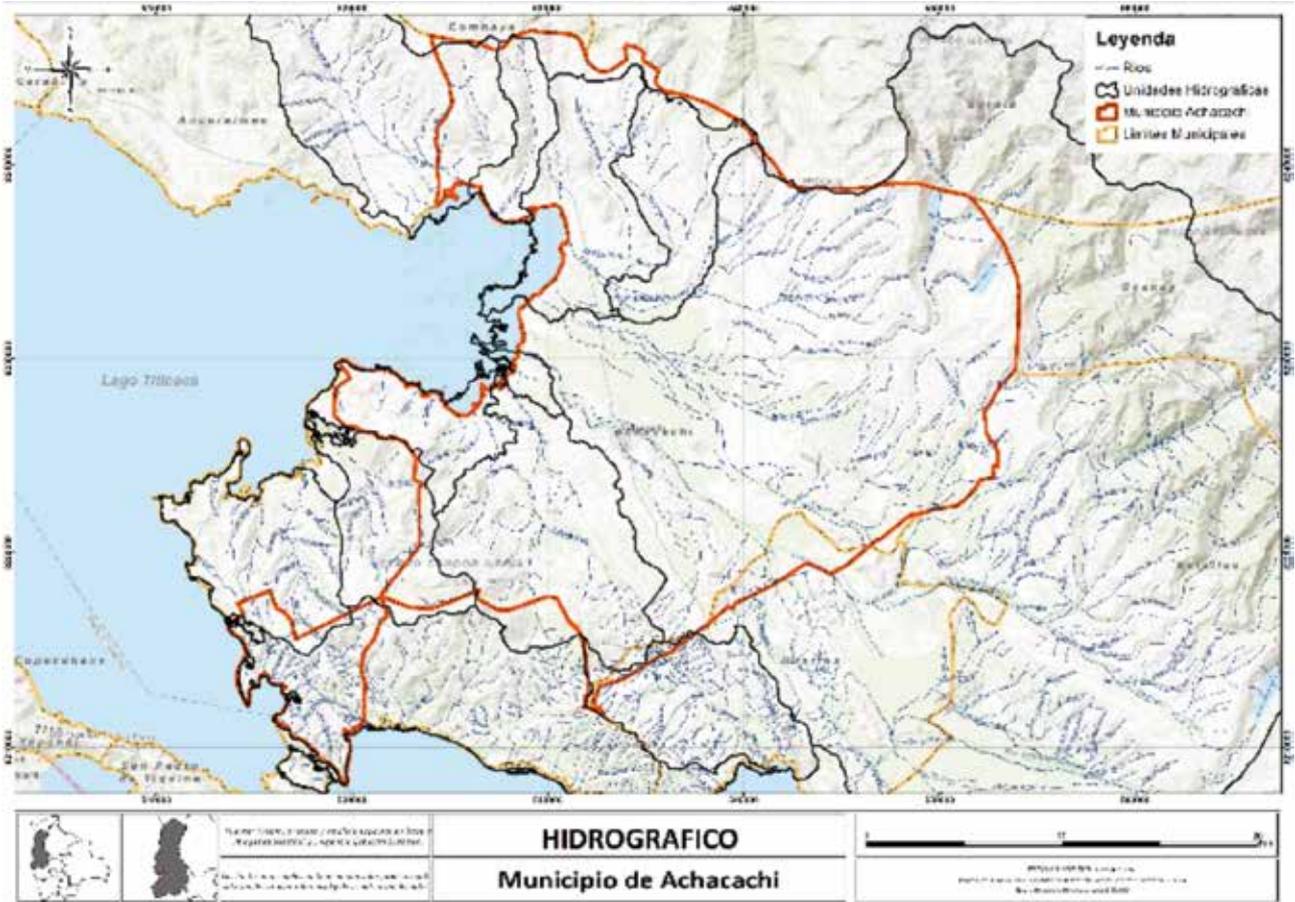
Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

Los recursos hídricos en el Municipio de Achacachi son de carácter permanente e intermitente, algunos de los ríos permanentes son aprovechados para el riego de

diversos cultivos, entre los permanentes se destacan el río Keka y río Huana, además de ostentar lagunas con aguas de los deshielos glaciales.



MAPA 6. Hidrográfica Municipio Achacachi



Fuente: Evaluación del riesgo de sequías en los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi (Mendoza, 2021)

6. Metodología

6.1 Identificación y procesamiento de estaciones meteorológicas utilizadas

Se hizo un relevamiento de información meteorológica, identificando las estaciones meteorológicas con mayor récord de datos.

Los controles de calidad de los datos permiten comprobar la credibilidad de los mismos, aún más para el presente estudio ya que es necesario contar con una base de datos confiable que nos permita obtener resultados óptimos.

TABLA 5. Estaciones meteorológicas consideradas en el estudio

Nº	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Récord	Tipo
1	Achiri	-17.21169	-68.99939	3,880	1981-2021	Climatológica Ordinaria
2	Ancoraimes	-15.89829	-68.90419	3,870	1981-2021	Pluviométrica
3	Ayo Ayo	-17.09419	-68.00829	3,888	1981-2021	Climatológica Ordinaria
4	Berenguela	-17.28889	-69.21419	4,120	1981-2021	Pluviométrica
5	Calacoto	-17.28059	-68.63599	3,826	1981-2021	Termopluiométrica
6	Camata	-15.24829	-68.74499	2,250	1981-2021	Termopluiométrica
7	Charaña	-17.58329	-69.44999	4,057	1981-2008	Sinóptica
8	Collana	-16.90029	-68.28169	3,911	1981-2021	Termopluiométrica
9	Conchamarca	-17.37689	-67.45529	3,965	1981-2021	Pluviométrica
10	El Belen	-16.01639	-68.69779	3,833	1981-2021	Climatológica Ordinaria
11	Hichucota	-16.17669	-68.38109	4,460	1981-2021	Termopluiométrica
12	Huarina Cota Cota	-16.17609	-68.63059	3,838	1981-2011	Climatológica Ordinaria
13	Isla del Sol	-16.03669	-69.14829	3,976	1981-2021	Climatológica Ordinaria
14	Patacamaya	-17.23859	-67.92309	3,793	1981-2016	Climatológica Principal
15	Pinaya	-16.63829	-67.85829	3,780	1981-2017	Pluviométrica
16	Puerto Acosta	-15.52669	-69.25309	3,880	1981-2013	Termopluiométrica
17	Salla	-17.19029	-67.62079	3,500	1981-2021	Pluviométrica
18	San José Alto	-17.70439	-67.77859	3,746	1981-2017	Termopluiométrica
19	Santiago de Huata	-16.05109	-68.81029	3,845	1981-2021	Climatológica Ordinaria
20	Santiago de Machaca	-17.06385	-69.18939	3,874	1981-2021	Climatológica Ordinaria
21	Sica Sica	-17.38329	-67.74999	3,917	1981-2002	Climatológica Ordinaria
22	Tiawanacu	-16.56859	-68.67829	3,863	1981-2016	Termopluiométrica
23	Viacha	-16.65829	-68.28189	3,850	1981-2015	Termopluiométrica

Fuente: *Elaboración propia con base al estudio*

Se dice que un dato es homogéneo cuando su variabilidad obedece únicamente a causas climáticas (Mitchell, et al., 1966). La obtención de datos tiene muchas incidencias, sobre todo en las series temporales más largas, cuya detección no es fácil. Registros

falsos, movimiento de estaciones o cambio en las características físicas del lugar, dan lugar a la aparición de inhomogeneidades ajenas a la realidad climática. Su detección y corrección es fundamental para poder elaborar conclusiones fiables sobre la tendencia de variación de la serie.

FIGURA 2. Proceso de control de calidad



Fuente: Elaboración propia con base al estudio

6.1.1 Software R

Para la homogenización de datos se utilizó el lenguaje de programación R, que proporciona una amplia variedad de técnicas estadísticas (modelos lineales y no lineales, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series de tiempo, clasificación, agrupamiento y otros), técnicas gráficas, por lo que es altamente extensible. R es un entorno de software libre para gráficos y computación estadística. Se compila y se ejecuta en una amplia variedad de plataformas UNIX, Windows y MacOS.

6.1.2 Estudio

Es un entorno de programación en R, disponible en la mayor parte de los sistemas operativos. Está organizado en cuatro zonas de trabajo distintas:

- Fichero para editar código en R
- Consola para ejecutar comandos
- Workspace, History
- Files y Plots

6.1.3 Control de calidad utilizado

6.1.3.1 Andesc QC

Andes QC se ha programado sobre R, a partir de RClindex-extraqc. Los errores que se quieren detectar y ajustar, mediante los procesos de homogeneización y ajustar, mediante los procesos de homogeneización, son de carácter sistemático y responden a fenómenos como el cambio de emplazamiento, entorno o instrumentación de los observatorios meteorológicos.

Test incluidos en el Andes QC:

- 1) Outliers por meses
- 2) Outliers pentadales
- 3) Outliers gamma
- 4) Outliers espaciales
- 5) Tmax < Tmin
- 6) Valores fuera de rango
- 7) Valores duplicados
- 8) Diferencias interdiarias
- 9) Valores consecutivos
- 10) Precipitación acumulada
- 11) Cadenas de Markov
- 12) Cadena de precipitación
- 13) Redondeo



6.1.3.2 Climatol

Para el análisis se usó el paquete de software libre denominado "Climatol" y sirve como método basado en la interpolación de datos estandarizados de las estaciones vecinas a la que se trata de homogeneizar, de manera similar al utilizado por Paulus y Kohler (1952) para el relleno de datos ausentes. Este método se implementó en forma de paquete para la aplicación estadística, se puede comparar cada serie con su referencia sintética para detectar las anomalías puntuales, saltos en los valores medios y tendencias no atribuibles al clima.

Los datos pueden ser series simples (como sería el caso si se tratara de valores anuales, o conjuntos de series (valores mensuales o estacionales). En cualquier caso, se leen cronológicamente, estación por estación, junto con las coordenadas e identificadores de cada una de ellas. A continuación, se procede serie a serie, calculando todos sus datos (como si no existieran) a partir de estos datos de las demás estaciones, mediante medias ponderadas de valores estandarizados. Además de la estandarización propiamente dicha, también se puede optar por dividir los valores por sus respectivas medias, lo que resulta más recomendable para el tratamiento de la precipitación y otras variables con un cero natural. La ponderación se realiza mediante la función $a/(a+d^2)$, donde "d" es la distancia a cada estación, y "a" un parámetro de forma que permite modular la influencia relativa de las estaciones más próximas respecto de las más alejadas. Cuando las series están incompletas, sus promedios no son comparables, pero se vuelven a calcular tras el relleno de las lagunas, proceso que se repite hasta alcanzar valores estables.

Después se procede a estudiar las diferencias entre cada serie estandarizada y su réplica estimada en función de las demás, que sirve como serie de comparación. Opcionalmente se pueden sustituir los valores anómalos por los estimados y también visualizar gráficos de diagnóstico de cada una de las series.

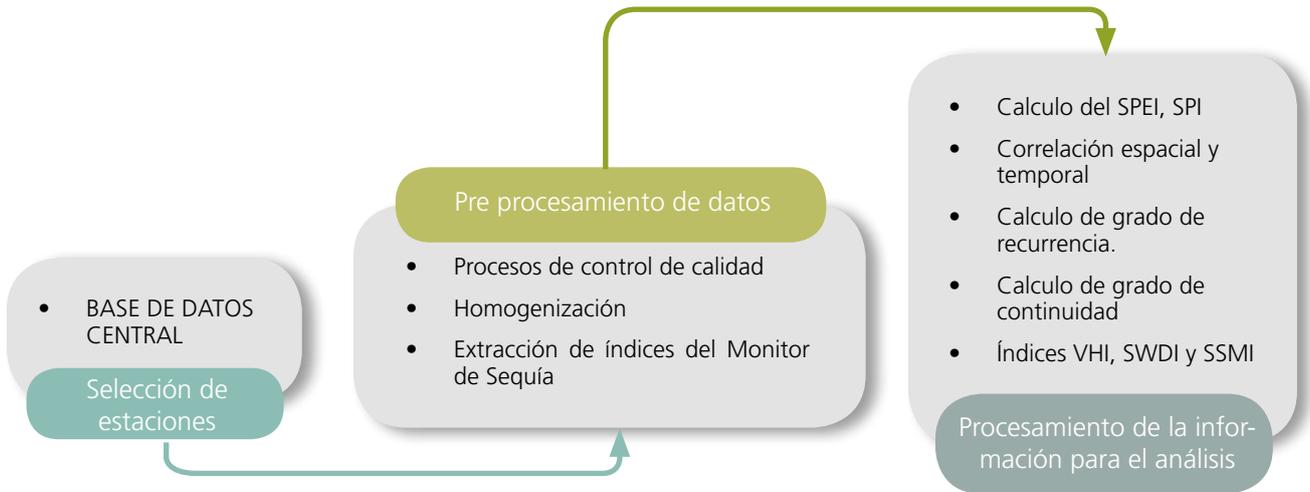
6.1.4 Metodología de relleno de datos

Para proceder con la metodología del relleno de datos debemos tener en cuenta que:

- Los valores faltantes en las series climáticas son comunes en nuestra realidad. Complementar estas series es primordial para cualquier estudio.
- La metodología utilizada para el relleno de datos faltantes en las series climáticas es el método de interpolación espacial Distancia Inversa Ponderada (IDW).
- La distancia inversa ponderada (IDW) es un método de interpolación determinista que actúa como un promedio ponderado, allí la influencia de un punto con respecto a otros, se ve afectada por su distancia y a partir de la asignación de pesos se acepta que el comportamiento de un punto se asemeja a los puntos más próximos. (Roshan & Lulu, 2011)
- Haciendo uso de datos de reanálisis que son tomados a partir de datos de medición, observación, simulación y aplicando técnicas de asimilación de datos, se obtiene la descripción más realista como datos referenciales para la complementación de las series climáticas.
- De los diferentes modelos de reanálisis disponibles se usó el modelo MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications), que fueron obtenidos de Giovanni <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/> y <https://power.larc.nasa.gov/> en archivos de valores separados por comas (*.csv). El conjunto de datos utilizado está a una resolución temporal diaria y una espacial de $0, 5^\circ \times 0, 625^\circ$ (latitud/longitud), el modelo atmosférico de NASA cuenta con información desde 1980 al presente.
- La elección de este modelo de reanálisis fue tomado por su alto índice de correlación con los datos de estaciones planteadas para el presente estudio.

6.1.5 Procesamiento de la información de fuentes locales

FIGURA 3. Esquema de manejo de la información climática

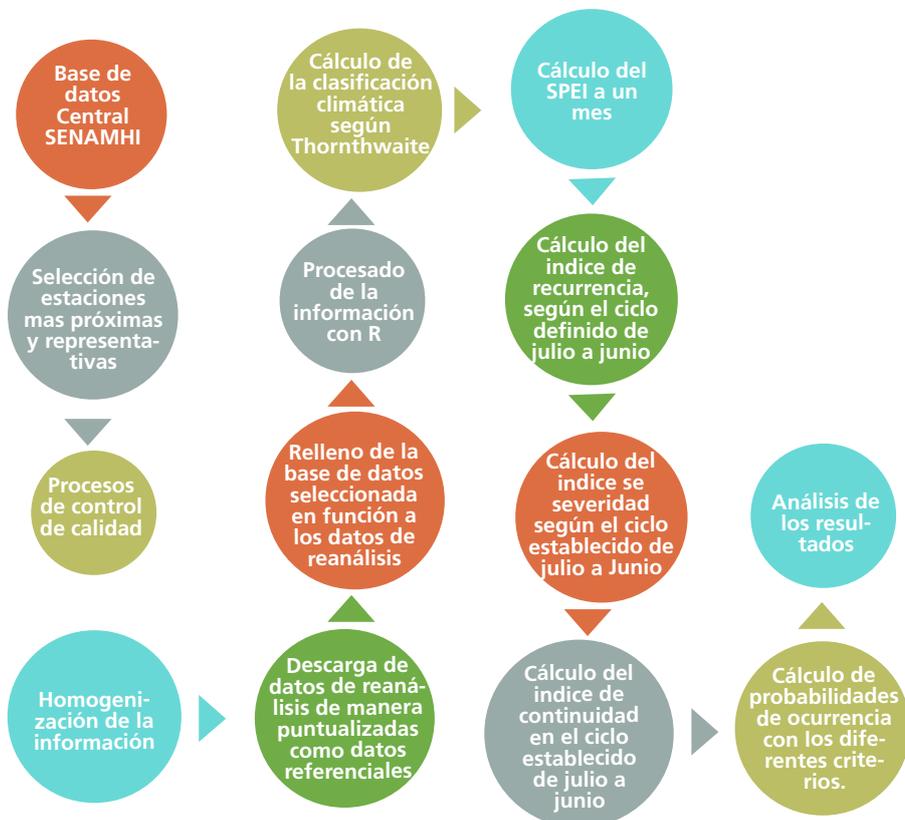


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En la figura anterior se detalla el proceso que comienza con la identificación de las estaciones del SENAMHI, tomadas como información base para el estudio. Como segunda etapa se desarrolla el pre procesamiento de datos, que incluye los procesos de control de calidad, homogeneización de información y procesos de extracción de índices del monitor de sequías.

Posterior al preparado de la información y con una base de datos ya establecida con los debidos controles de calidad y relleno, se procede al cálculo de los índices que ayudarán a caracterizar las condiciones de sequía en los tres Municipios.

FIGURA 4. Secuencia de procesamiento de la información



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En su mayoría las fuentes de información utilizadas para el análisis de caracterización son los disponibles en la base de datos obtenidos por las estaciones meteorológicas del SENAMHI – Bolivia y también son obtenidos de la herramienta de Monitor de Sequía, a partir de los cuales se podrán calcular los diferentes índices utilizados para la caracterización.

Por otro lado, mediante gestiones del Proyecto Euroclima+ se implementaron algunas estaciones en los municipios priorizados para optimizar de mejor manera el resultado buscado; sin embargo, la serie con la que cuentan estas estaciones son cortas por lo que no son utilizables aun para el análisis de caracterización, así como también los protocolos de reporte de la información no son los adecuados para la generación de información meteorológica.

6.2 Identificación y procesamiento de índices

6.2.1 Índice estandarizado de precipitación SPI

El índice estandarizado de precipitación (SPI) es el índice de sequía meteorológica más utilizado y puede estimarse para diferentes períodos de acumulación de un mes a años. Para cualquier región dada (estación pluviométrica puntual o píxel del dato satelital), se indican déficits de lluvia cada vez más severos (es decir, sequías meteorológicas) a medida que el SPI disminuye por debajo de -1.0; mientras que el exceso de lluvia, cada vez más severo, se indica a medida que el SPI aumenta por encima de 1.0. El índice puede usarse para comparar anomalías de precipitación para cualquier ubicación geográfica y para cualquier número de escalas de tiempo.

Se utilizarán los datos del SPI implementados en Bolivia para una acumulación a nivel mensual de un mes (existe la disponibilidad de acumulados de 1, 2, 3 y 6 meses), se encuentran basados en la red pluviométrica terrestre SENAMHI y el producto de precipitación satelital.

FIGURA 5. Rango del índice estandarizado de precipitación (SPI), probabilidad de ocurrencia

Anomalía	Rango de SPI	Régimen de precipitación	Probabilidad de ocurrencia	Código color típicamente utilizado
Positiva	2.0 - ∞	Extremadamente húmedo	2.3	púrpura
	1.5 - 2.0	Muy húmedo	4.4	ciruela
	1.0 - 1.5	Moderadamente húmedo	9.2	lila
Ninguna	-1.0 - 1.0	Precipitación normal	68.2	blanco
	-1.5 - (-1.0)	Moderadamente seco	9.2	amarillo
Negativa	-2.0 - (-1.5)	Muy seco	4.4	naranja
	-∞ - (-2.0)	Extremadamente seco	2.3	rojo
periodo de registro			1983-2019 (satélite) 1990-2019 (estaciones)	

Fuente: PPCR ("Programa Piloto de Resiliencia Climática," 2020)

6.2.2 Índice estandarizado de evapotranspiración (SPEI)

El Índice estandarizado de evapotranspiración (SPEI por sus siglas en inglés) fue propuesto por primera vez por Vicente-Serrano et al. (2010) como un índice de sequía mejorado, que es especialmente adecuado para estudios sobre el efecto del calentamiento global en la severidad de la sequía. El SPEI considera el efecto de la evapotranspiración de referencia sobre la severidad de la sequía, pero la naturaleza multiescalar del SPEI permite la identificación de diferentes tipos e impactos de sequía en diversos sistemas (Beguería et al., 2014). Por lo tanto, el SPEI tiene la sensibilidad en la medición de la demanda de evapotranspiración (causada por fluctuaciones y tendencias en variables climáticas distintas de la precipitación), además es simple de

calcular y es multiescalar, como el Índice de Precipitación estandarizado (SPI por sus siglas en inglés).

El procedimiento para calcular el SPEI es similar a lo que se aplica para el SPI; sin embargo, el SPEI utiliza el "balance hídrico climático", la diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial (P - PET), en lugar de la precipitación (P), como datos de entrada. El balance hídrico climático compara el agua disponible (P) con la demanda de evaporación atmosférica y, por lo tanto, proporciona una medida más confiable de la severidad de la sequía que si se considerase solo la precipitación. El balance hídrico climático se calcula en varias escalas de tiempo (un mes, dos meses, tres

meses, etc.), y los valores resultantes se ajustan a una distribución de probabilidad logística para transformar los valores originales en unidades estandarizadas que sean comparables en espacio y tiempo y en diferentes escalas de tiempo del SPEI en términos de puntajes-Z.

Se utilizarán los datos del SPEI en Bolivia para una acumulación de 1, 2, 3 y 6 meses, se encuentran basados en la red pluviométrica terrestre SENAMHI y el producto de precipitación satelital.

FIGURA 6. Rango del índice estandarizado de evapotranspiración (SPEI), probabilidad de ocurrencia

Anomalía	Rango de SPEI	Régimen de equilibrio del agua	Probabilidad de ocurrencia	Código color típicamente utilizado
Positiva	2.0 - ∞	Extremadamente húmedo	2.3	púrpura
	1.5 - 2.0	Muy húmedo	4.4	ciruela
	1.0 - 1.5	Moderadamente húmedo	9.2	lila
Ninguna	-1.0 - 1.0	Precipitación normal	68.2	blanco
Negativa	-1.5 - (-1.0)	Moderadamente seco	9.2	amarillo
	-2.0 - (-1.5)	Muy seco	4.4	naranja
	-∞ - (-2.0)	Extremadamente seco	2.3	rojo
periodo de registro			2001 - 2019 (MODIS)	

Fuente: PPCR ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

6.2.3 Índice de Salud de la Vegetación VHI

El Índice de Salud de la Vegetación (VHI, por sus siglas en inglés) es un índice de sequía agrícola ampliamente utilizado y que toma en cuenta la información de teledetección. Se asienta en una combinación lineal de dos componentes: el Índice de Condición de Vegetación (VCI, por sus siglas en inglés), y el Índice de Condición Térmica (TCI), basado en el infrarrojo térmico (TIR); según su rango (es decir, promedios mensuales mínimos y máximos registrados para cada mes del año). El VHI generalmente se considera como el promedio de las contribuciones de la vegetación y la temperatura. ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

Se utilizarán los datos del VHI implementados en Bolivia para una acumulación a nivel mensual de un mes (existe la disponibilidad de acumulados de 1, 2, 3 y 6 meses), se encuentran establecidos en los productos globales de Índice de Vegetación MODIS, disponibles gratuitamente (MOD13A2, Colección 6), que se derivan de las reflectancias de la superficie y en el producto de Temperatura de la Superficie Terrestre (MOD11A2) que se deriva de las bandas infrarrojas con un algoritmo de split-window generalizado (Wan and Dozier, 1996), obtenido por el sensor MODIS (Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada) llevado a bordo de los satélites en órbita terrestre de la NASA, Terra y Aqua. ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

FIGURA 7. Rango del índice de salud de la vegetación (VHI)

Anomalía	Rango de VHI	Salud de la vegetación	Código color típicamente utilizado
Positiva	0.95 - 1.00	Extremadamente buena	Menta
	0.80 - 0.95	Muy buena	Lima
	0.60 - 0.80	Moderadamente buena	Verde claro
Ninguna	0.40 - 0.60	casi normal	Blanco
Negativa	0.20 - 0.40	Moderadamente pobre	Amarillo
	0.05 - 0.20	Muy pobre	Naranja
	0.00 - 0.05	Extremadamente pobre	Rojo

Fuente: PPCR ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

6.2.4 Índice estandarizado de humedad del suelo SSMI

El índice estandarizado de humedad del suelo (SSMI o SSWI, por su sigla en inglés - Standardized Soil Moisture Index, Standardized Soil Water Index, también llamado simplemente Soil Moisture Index, SMI), se puede clasificar como indicador hidrológico, basado en la medición de la cantidad de agua en el suelo, que es un parámetro hidrológico.

El índice SSMI, está específicamente pensado para utilizarse en las reconstrucciones de la humedad del suelo, a partir de datos satelitales de la misión NASA SMAP. Las condiciones de déficit de humedad del suelo, cada vez más severas (sequías hidrológicas), se indican en cuanto el SSMI se encuentre bajo el valor de -1,0; mientras que condiciones de humedad cada vez más

persistentes se indican en cuanto el SSMI se encuentre superior al valor de 1,0. ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

Se utilizarán los datos del SSMI implementados en Bolivia para una acumulación a nivel mensual de un mes (existe la disponibilidad de acumulados de 1, 2, 3 y 6 meses) y se encuentran basados en reconstrucciones de humedad del suelo de nivel 4, a partir de la misión SMAP (producto L4_SM de humedad del suelo de la zona de las raíces). Las mediciones de la misión SMAP proporcionan una estimación directa de la humedad del suelo en los 5 cm. más superficiales de la columna de suelo. ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

FIGURA 8. Rango del índice estandarizado de humedad del suelo (SSMI), probabilidad de ocurrencia

Anomalía	Rango de SSMI	Condición de humedad del suelo	Probabilidad de ocurrencia	Código color típicamente utilizado
Positiva	2.0 - ∞	Extremadamente húmeda	2.3	morado
	1.5 - 2.0	Muy húmeda	4.4	color ciruela
	1.0 - 1.5	Moderadamente húmeda	9.2	lila
Ninguna	-1.0 - 1.0	Precipitación normal	68.2	blanco
Negativa	-1.5 - (-1.0)	Moderadamente seca	9.2	amarillo
	-2.0 - (-1.5)	Muy seca	4.4	naranja
	-∞ - (-2.0)	Extremadamente seca	2.3	rojo
periodo de registro			2015-2019 (SMAP)	

Fuente: PPCR ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

6.2.5 Índice de Déficit de Agua en el Suelo SWDI

El Índice de Déficit de Agua en el Suelo (SWDI por sus siglas en inglés) captura las condiciones de sequía cuantificando el déficit asociado de humedad del suelo. El SWDI tiene una relación directa con la sequía agrícola, porque afecta la capacidad de succión de humedad del suelo de diferentes tipos de cultivos. El SWDI se considera un índice de sequía agrícola eficaz, ya que se basa en la humedad del suelo y los parámetros básicos del agua en el suelo. Este índice de sequía es capaz de identificar adecuadamente los principales atributos que definen un evento de sequía agrícola. ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

Se utilizarán los datos del SWDI implementados en Bolivia para una acumulación a nivel mensual de un mes (existe la disponibilidad de acumulados de 1, 2, 3 y 6 meses), se encuentran basados en campos usados en el modelo del terreno para los productos L4-SMAP, estimando la condición de humedad del suelo a la capacidad de campo y en el punto de marchitez: punto de marchitez, profundidad hasta el substrato rocoso, capacidad total de campo. ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

FIGURA 9. Rango del índice de déficit de agua en el suelo (SWDI) probabilidad de ocurrencia

Anomalía	Rango de SWDI	Condición de humedad del suelo	Probabilidad de ocurrencia	Código color típicamente utilizado
Positiva	2.0 - ∞	Extremadamente húmedo	2.3	Púrpura
	1.5 - 2.0	Muy húmedo	4.4	Color ciruela
	1.0 - 1.5	Moderadamente húmedo	9.2	Lila
Ninguna	-1.0 - 1.0	Precipitación normal	68.2	Blanco
Negativa	-1.5 - (-1.0)	Moderadamente seco	9.2	Amarillo
	-2.0 - (-1.5)	Muy seco	4.4	Naranja
	-∞ - (-2.0)	Extremadamente seco	2.3	Rojo
periodo de registro			2015-2019 (SMAP)	

Fuente: PPCR ("Programa Piloto de Resiliencia Climática", 2020)

6.2.6 Procesamiento de índices

Para la evaluación de los datos registrados de los diferentes índices, se trabajó con repositorios de información georeferenciada, disponibles en el monitor de sequía. Los índices utilizados para la caracterización de la sequía a nivel municipal son los siguientes:

- SPI - Para analizar sequía meteorológica
- VHI - Para analizar la sequía agrícola
- SSMI y SWDI - Para analizar la sequía hidrológica

Con base a estos índices, se realizó una regionalización de la información para los municipios que se busca analizar.

Para el análisis de cada índice de sequía, se tomaron en cuenta los datos en los siguientes periodos de tiempo, los índices fueron utilizados de manera mensual:

TABLA 6. Resumen de información satelital utilizada

Índice	Resolución Espacial (M)	Fecha de inicio	Fecha final	Número de meses colectados para cada Municipio
SPI	4550	01/1983	04/2021	461
VHI	4550	01/2001	04/2021	248
SSMI	4550	06/2015	04/2021	71
SWDI	4550	06/2015	04/2021	71

Fuente: Elaboración propia con base al estudio

Cada uno de estos índices fue descargado del repositorio de información de la plataforma del monitor de sequías.

En el análisis se tomó en cuenta los límites municipales como factor principal para la evaluación de datos. Debido a su variabilidad espacial, se advirtió la existencia de pixeles vacíos y la manera y distribución de la información. Se realizó un análisis a nivel Municipal, con esto si bien se pierde la exactitud en algunos puntos; pero ayuda a tener una visión más amplia del comportamiento regional de cada uno de los índices.

Cada uno de los índices tiene una cobertura a nivel nacional, por lo que el primer paso es realizar la

extracción de la información para cada municipio, el resultado específico a nivel municipal fue evaluada, determinando el promedio de los valores de cada pixel que abarcan el Municipio.

Al margen del cálculo de promedio, también se determinaron los máximos y mínimos para cada mes por Municipio. Este análisis se realizó para las series de tiempo mencionadas en Achacachi, Calacoto y Sica Sica.

Con los datos se generaron series continuas para su análisis y comparación con los resultados de información colectada por otras fuentes.

6.2.7 Análisis de zonas de aprovechamiento agrícola

Para la realización del mapa de cobertura se eligió la base de datos de CLC (CORINE Land Cover) que permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las peculiaridades de la cobertura de la tierra. El proyecto CORINE, se desarrolló en Europa, en la década de los 90, con el fin de estandarizar las nomenclaturas de las coberturas terrestres para todos los países de la región europea (Corredor et al., 2011), esta metodología fue aplicada a las coberturas existentes en África, en base a la validación de los resultados obtenidos y se generalizó para aplicarse a todo el mundo, contando con un registro anual continuo desde 1992 al 2015. ("UCL-Geomatics", 2017)

Las ventajas que supone la utilización del método, son varias, de entre estas podemos mencionar su fácil aplicabilidad y adaptación de unidades ya existentes.

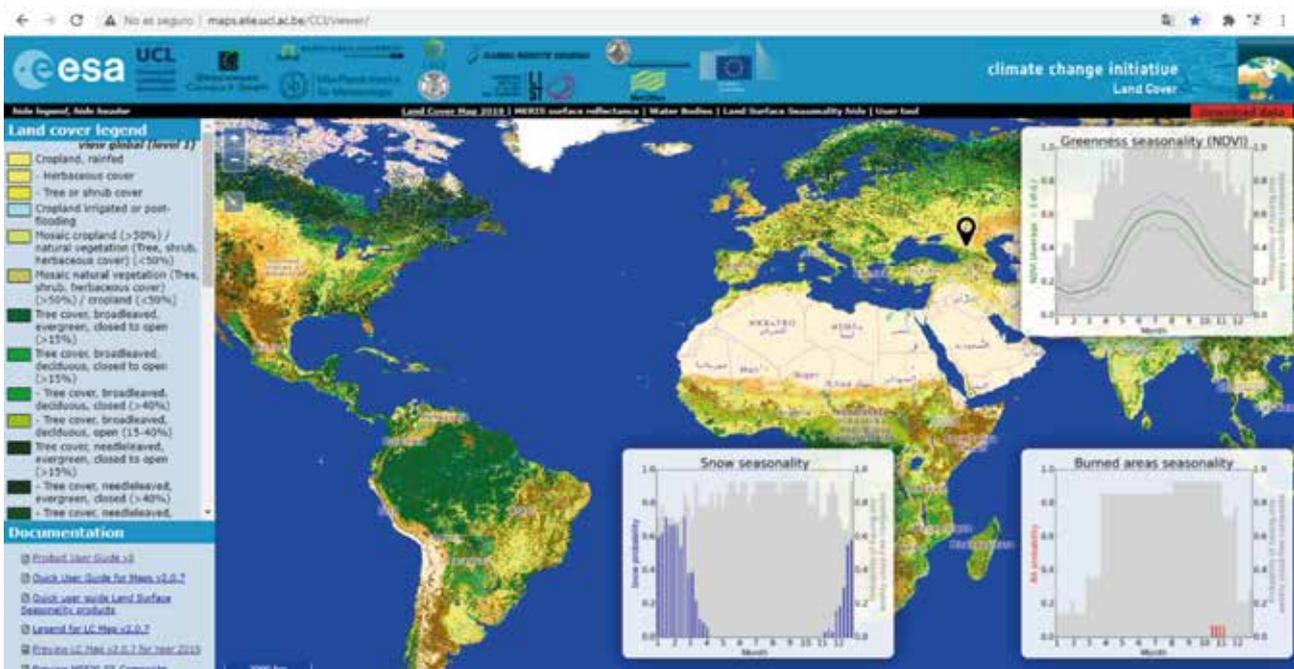
El método CLC posee una sencilla estructuración por categorías jerarquizadas, esto permite generar un sistema de clasificación sostenible en el tiempo y capaz de adaptarse a la inclusión de nuevas coberturas por medio de la eliminación e inclusión de subniveles.

Adicionalmente, debido a su flexibilidad y sostenibilidad en el tiempo el método CLC permite ser rápidamente utilizado como base para posteriores estudios.

El método CLC se basa en la diferenciación de cinco clases principales, de las cuales va a dividir y separar, según la escala requerida por el proyecto, por niveles. Los primeros tres niveles fueron extraídos de la metodología de CLC ("UCL-Geomatics," 2017), en la misma se muestra los criterios y lineamientos básicos para la definición de los niveles.

Ya que se combinan muchos sensores de diferentes resolución espacial, temporal y espectral; el producto resultante posee una resolución espacial de aproximadamente 300 metros, con valores representativos anuales y sólo consta de los datos en una sola banda. Esta información es clasificada y se expresa en un archivo utilizando su código de cobertura. El modelo completo se encuentra disponible para su descarga gratuita (luego de un registro de información básico) en el siguiente URL: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/>

FIGURA 10. Portal de consulta y descarga de información de CLC Corine LC



Fuente: Proyecto Corine Land Cover (2020)

Una vez descargada la información, se procede a procesar los resultados y ampliar los parámetros de identificación de cultivo. En este sentido se tiene que considerar el tipo de agricultura que se desarrolla en el sector. En el altiplano, los cultivos se componen normalmente de franjas largas, pero con un ancho reducido. En base a este criterio, la definición del suelo utilizado para cultivo puede verse afectado.

Normalmente estas extensiones se clasifican por el CLC como "Suelo Desnudo" (COD: 200), "Mosaico de tierras de cultivo (> 50%) / vegetación natural (árbol, arbusto, cobertura herbácea) (<50%)" (COD: 30), "Pradera" (COD: 130), entre algunas otras coberturas. El trabajo se desarrolla partiendo del principio de que algunas unidades de cobertura son mejor identificadas que otras en diferentes zonas.

FIGURA 11. Metodología utilizada para la actualización de la información de cobertura



Fuente: Elaboración propia con base a resultados del estudio

Existen muchas coberturas que fueron correctamente identificadas, pero existen muchas otras coberturas que cambiaron, por ejemplo, las áreas urbanas. Estas deben ser actualizadas para representar el uso del suelo alrededor de los cultivos y detectar nuevas extensiones.

Al realizar la extracción de la información municipal, se sugiere extender el área de análisis en al menos 300 metros alrededor, ya que debido a la geometría del límite municipal puede no considerar algunas áreas completas.

Siguiendo la metodología antes mencionada, se aplicó este análisis para los municipios de Achacachi, Calacoto y Sica Sica. En este sentido, se identificaron y mapearon las áreas de cultivo a secano. Cabe recalcar que debido a la resolución del análisis, únicamente se identifican áreas de cultivo en general y no áreas cultivadas de una especie específica. Tampoco se toma en cuenta que existen pequeñas pircas (áreas cerradas delimitadas por piedras), las que desde la vista satelital podrían confundirse con áreas de cultivo, estas sólo se utilizan para forraje.

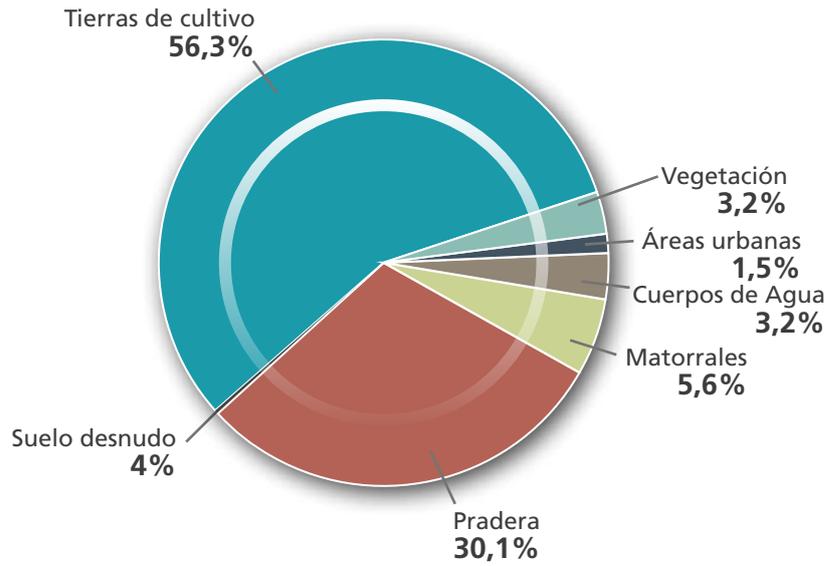
6.2.7.1 Municipio de Achacachi

En este Municipio la cobertura predominante es la tierra de cultivo y las praderas, lo cual es congruente con su vocación agrícola. El área urbana ostenta la mayor extensión de entre todos los municipios paceños.

TABLA 7. Análisis de cobertura para el Municipio de Achacachi

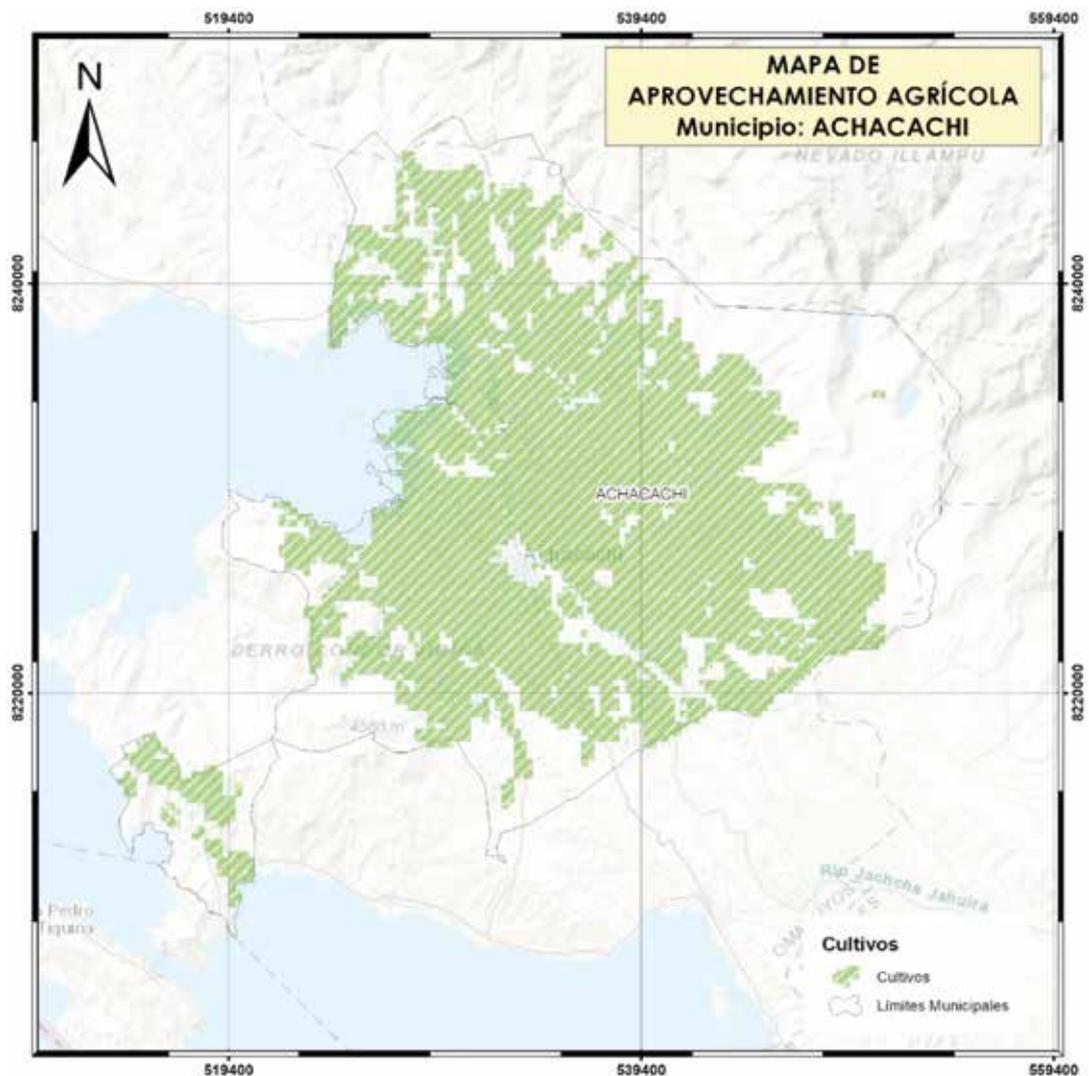
Unidades de Cobertura y Uso de Suelo	Área (HA)	Porcentaje
Áreas urbanas	1141.62	1.53%
Cuerpos de Agua	2395.16	3.21%
Matorrales	4171.00	5.59%
Pradera	22436.87	30.07%
Suelo desnudo	89.54	0.12%
Tierras de cultivo	41978.66	56.26%
Vegetación escasa	2402.62	3.22%
Total general	74615.46	100.00%

FIGURA 12. Distribución porcentual de unidades de cobertura y uso de suelos en el Municipio de Achacachi



Fuente: Elaboración propia con base a resultados del estudio

MAPA 7. Mapa de aprovechamiento agrícola del Municipio de Achacachi



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

La cobertura que fue identificada para el aprovechamiento agrícola muestra la fuerte vocación de este Municipio a la producción agropecuaria, gran parte de esta actividad se concentra en los centros urbanos y la cercanía con el lago Titicaca.

Otra ventaja con la que cuenta el Municipio es que presenta zonas muy elevadas, que son fuentes de aprovechamiento hídrico para las partes más bajas.

6.2.7.2 Municipio de Calacoto

El Municipio se destaca por tener vegetación escasa y suelo desnudo en un gran porcentaje de su extensión. Se tienen áreas de cultivo que se hallan dispersas, quizás por la variación y la geomorfología de la zona impide que existan grandes extensiones cultivadas. Otra cobertura importante es la presencia de praderas, las mismas que pueden contener también actividad agropecuaria, pero por la escala de visualización, esta actividad puede no ser grandemente representada.

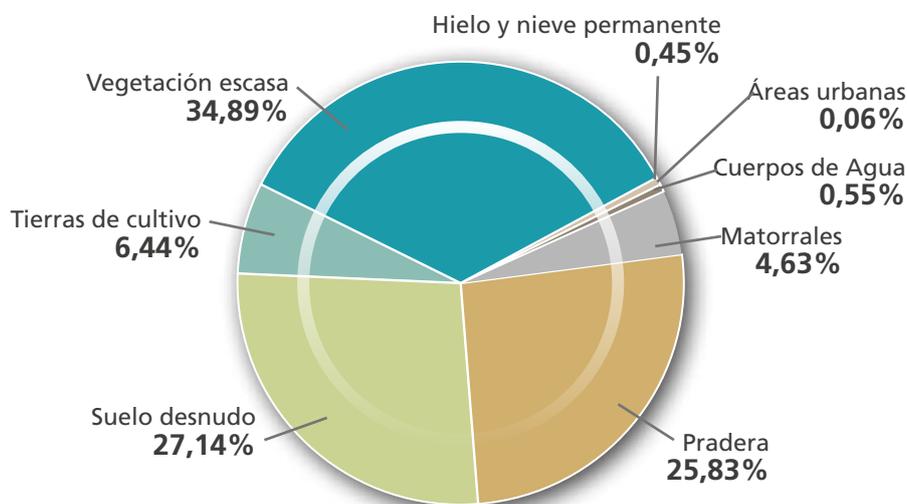
TABLA 8. Análisis de cobertura para el Municipio de Calacoto

Unidades de Cobertura y Uso de Suelo	Área (HA)	Porcentaje
Áreas urbanas	234.10	0.06%
Cuerpos de agua	2145.94	0.55%
Matorrales	18064.92	4.63%
Pradera	100781.20	25.83%
Suelo desnudo	105892.44	27.14%
Tierras de cultivo	25127.02	6.44%
Vegetación escasa	136130.71	34.89%
Hielo y nieve permanente	1755.77	0.45%
Total general	390132.11	100.00%

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

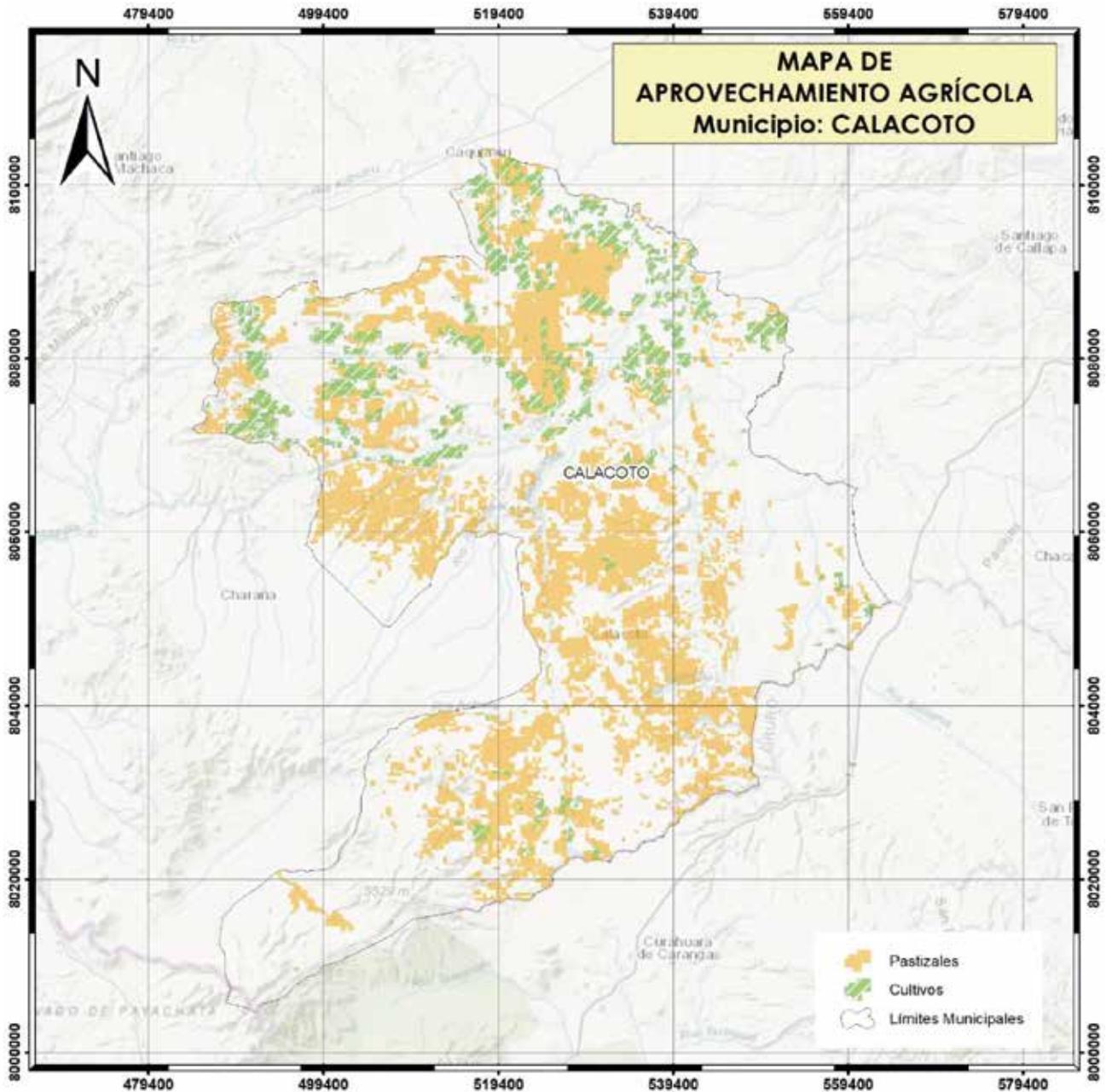


FIGURA 13. Distribución porcentual de unidades de cobertura y uso de suelos en el Municipio de Calacoto



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

MAPA 8. Mapa de aprovechamiento agrícola del Municipio de Calacoto



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En el Municipio de Calacoto, se consideran extensiones grandes aprovechables agrícolas, pero existe mayor extensión de praderas, lo cual es coherente con su vocación de crianza de ganado bovino, ovino y camélido.

En base a la topografía, las áreas productivas se concentran en zonas con pendiente media o baja.

6.2.7.3 Municipio de Sica Sica

La vocación agrícola del municipio se muestra por la predominancia del uso agrícola en la extensión del municipio, otras coberturas importantes son la vegetación escasa y el suelo desnudo, lo que puede mostrar índices de posible erosión de suelos. La extensión de praderas puede mostrar también la capacidad agropecuaria del municipio, normalmente se detectó que los cultivos se encuentran concentrados en grandes áreas, los cultivos pequeños no fueron bien identificados por la resolución del análisis.

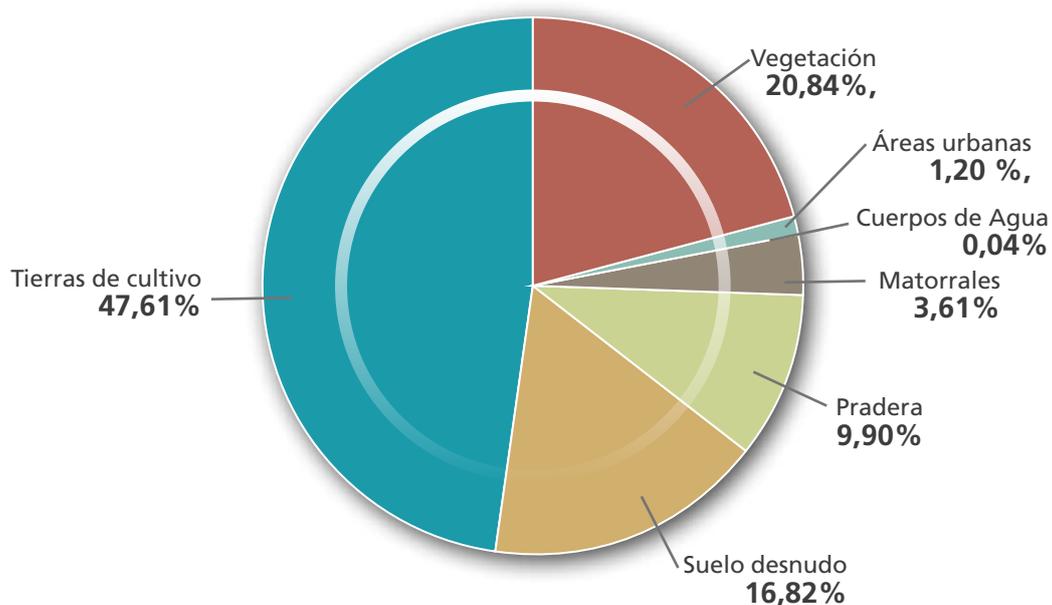
TABLA 9. Análisis de Cobertura para el Municipio de Sica Sica

Unidades de Cobertura y Uso de Suelo	Área (HA)	Porcentaje
Áreas urbanas	2085.43	1.20%
Cuerpos de agua	69.51	0.04%
Matorrales	6273.68	3.61%
Pradera	17204.83	9.90%
Suelo desnudo	29230.84	16.82%
Tierras de cultivo	82739.60	47.61%
Vegetación escasa	36217.04	20.84%
Total general	173820.94	100.00%

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

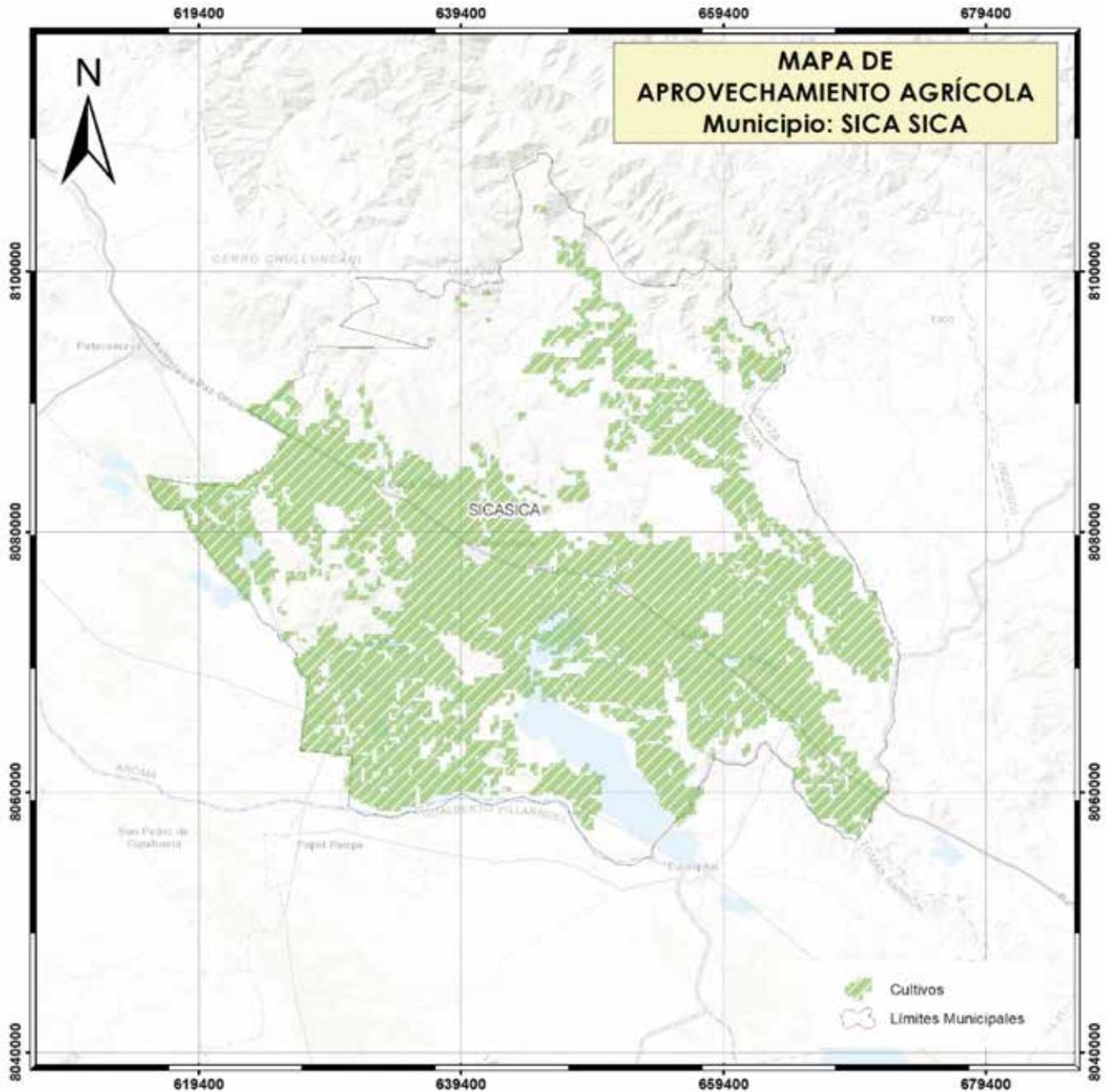


FIGURA 14. Distribución porcentual de unidades de cobertura y uso de suelos en el Municipio de Sica Sica



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

MAPA 9. Mapa de Aprovechamiento Agrícola del Municipio de Sica Sica



Fuente: *Elaboración propia con base a los resultados del estudio*

El municipio de Sica Sica posee grandes extensiones agrícolas, incluso por su disposición espacial, podemos notar cómo su ubicación está ligada a la existencia de vías de acceso, siendo ésta la principal que atraviesa al Municipio.

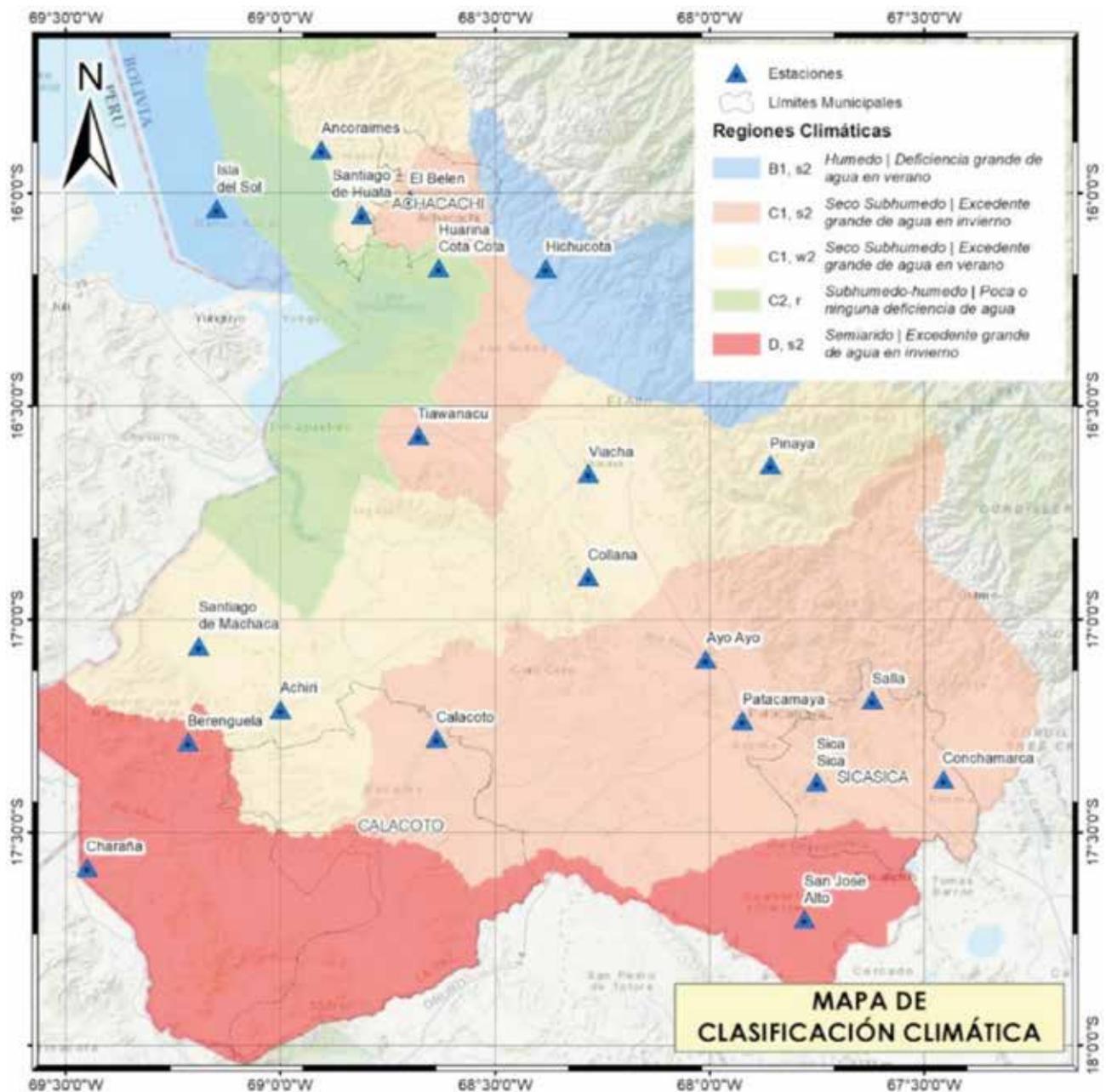
La actividad agrícola se concentra en zonas cercanas a cuerpos de agua y ríos, además hacia el Norte cuenta con algunas regiones de valle, que permiten otros cultivos.

6.3 Caracterización climática

Para determinar el clima se consideró el cálculo de la clasificación, mediante el método de Thornthwaite, cuya característica es utilizar la evapotranspiración como el proceso principal de intercambio de energía, humedad y momento entre la superficie terrestre y la

atmósfera, y su medida como variable fundamental para determinar la clasificación climática (Thornthwaite, 1948). Se consideraron todas las estaciones disponibles en el área de estudio, así como la topografía, a partir de la cual se tiene la siguiente clasificación para los tres Municipios:

MAPA 10. Mapa de clasificación climática

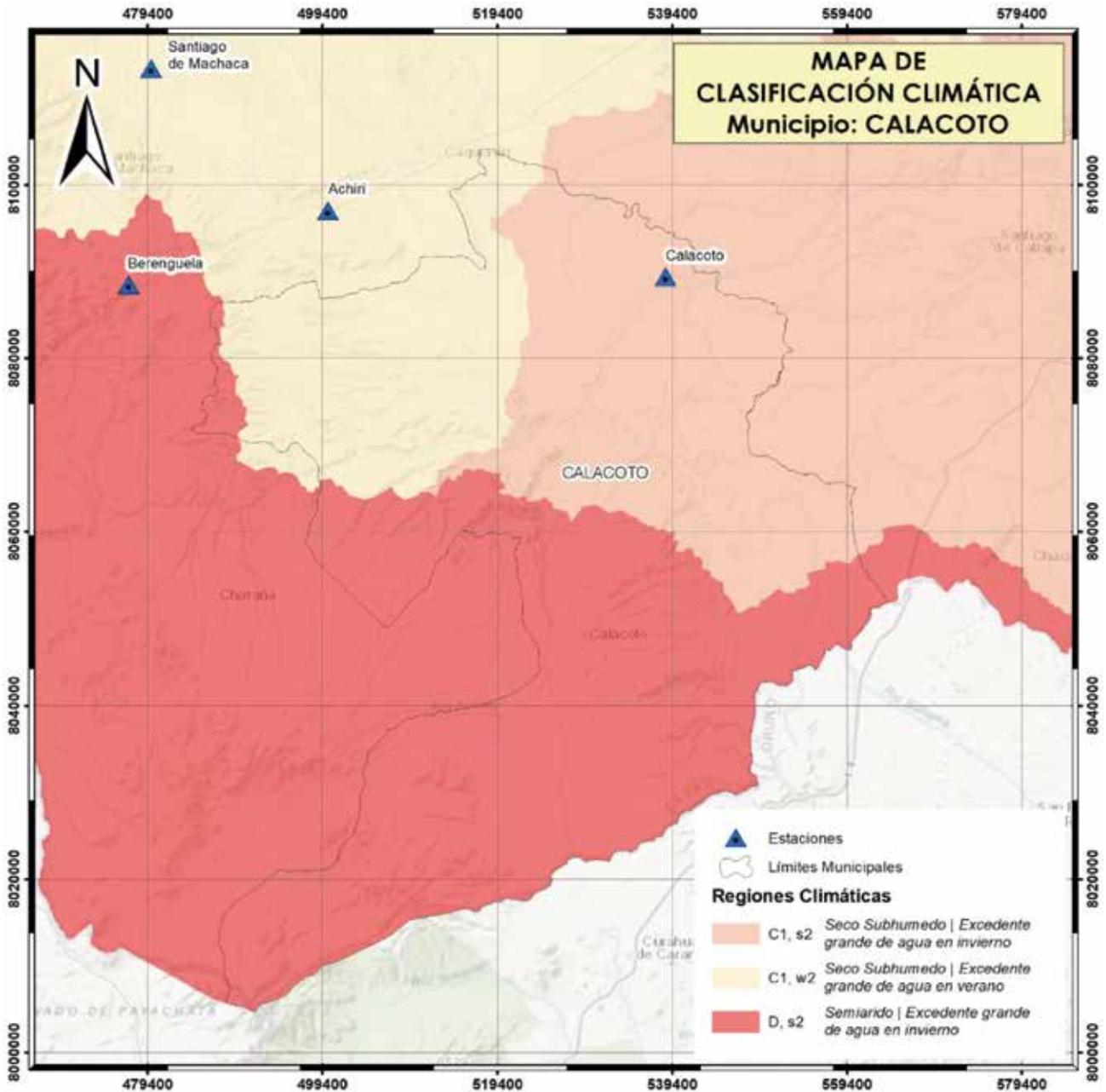


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En el Municipio de Calacoto, regiones semiáridas con gran excedente de agua en invierno sobre todo en la región sur. Sub seco, sub húmedo con gran excedente

de agua en invierno al Noreste y seco sub húmedo con gran excedente de agua en verano al Noroeste, de tipo meso termal en todo el Municipio.

MAPA 11. Mapa de clasificación climática del Municipio de Calacoto

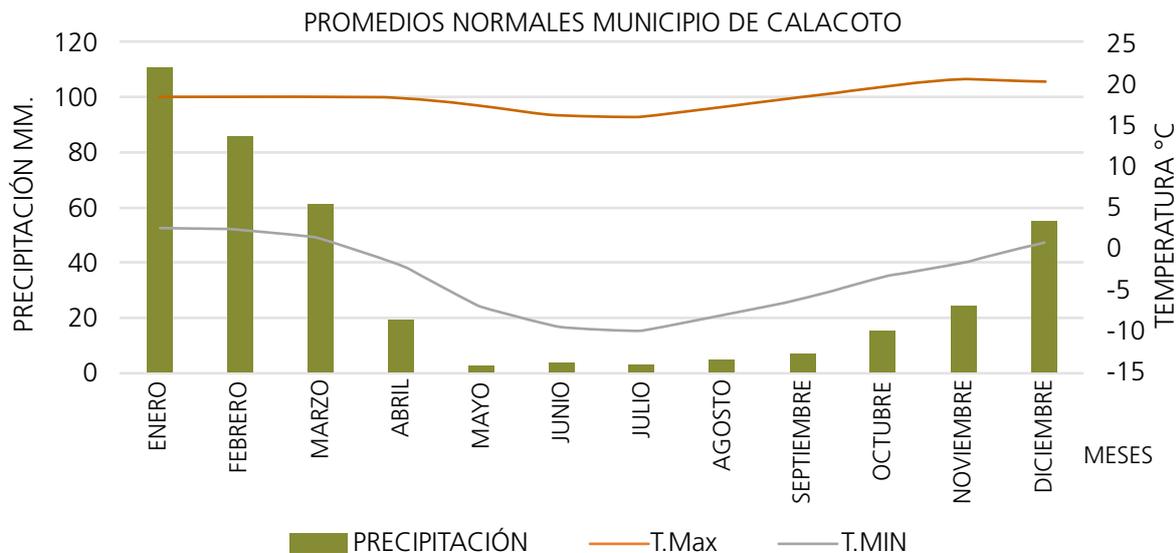


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

Los regímenes de precipitación y temperaturas varían desde los 110 mm de precipitación en verano y valores cercanos e inferiores a 5 mm de precipitación en invierno, siendo enero el mes más lluvioso y los meses más secos son mayo, junio y julio; las temperaturas máximas tienen un comportamiento con poca variación

estacional, con una oscilación de aproximadamente 22 °C en verano y 15°C en invierno. Por otro lado, las temperaturas mínimas tienen mayor oscilación desde los 3°C aproximadamente a los -9 °C, registrándose las temperaturas más frías en los meses de junio y julio.

FIGURA 15. Promedios normales del Municipio de Calacoto

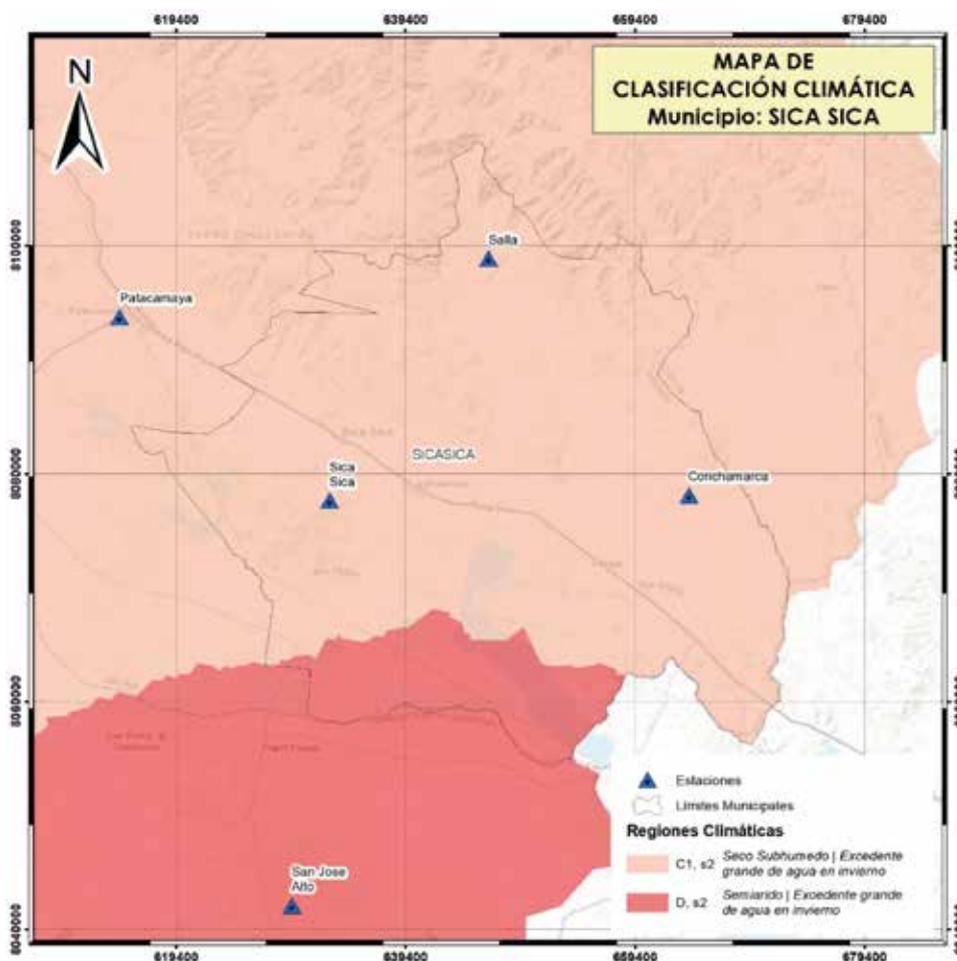


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En el Municipio de Sica Sica, las regiones son semiáridas con gran excedente de agua, sobre todo en invierno, en la región sur. Seco sub húmedo con gran

excedente de agua en invierno al Norte y Centro, de tipo meso termal en todo el Municipio.

MAPA 12. Mapa de clasificación climática del Municipio de Sica Sica



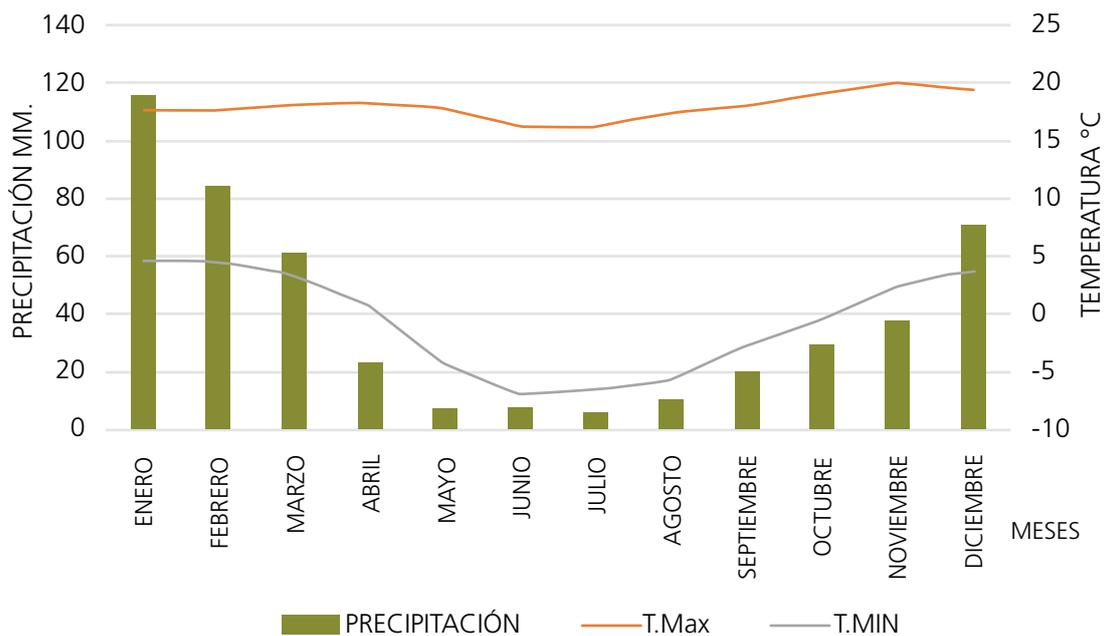
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio



Los regímenes de precipitación y temperaturas varían desde los 115 mm en verano y valores cercanos e inferiores a 10mm en invierno, siendo enero el mes más lluvioso y el mes más seco julio; las temperaturas máximas tienen un comportamiento con poca de junio y julio.

variación estacional y presenta una oscilación de aproximadamente 20 °C en verano y 17°C en invierno; por otro lado, las temperaturas mínimas tiene mayor oscilación, desde los 4°C aproximadamente a los -8 °C, registrándose las temperaturas más frías en los meses

FIGURA 16. Promedios normales del Municipio de Sica Sica

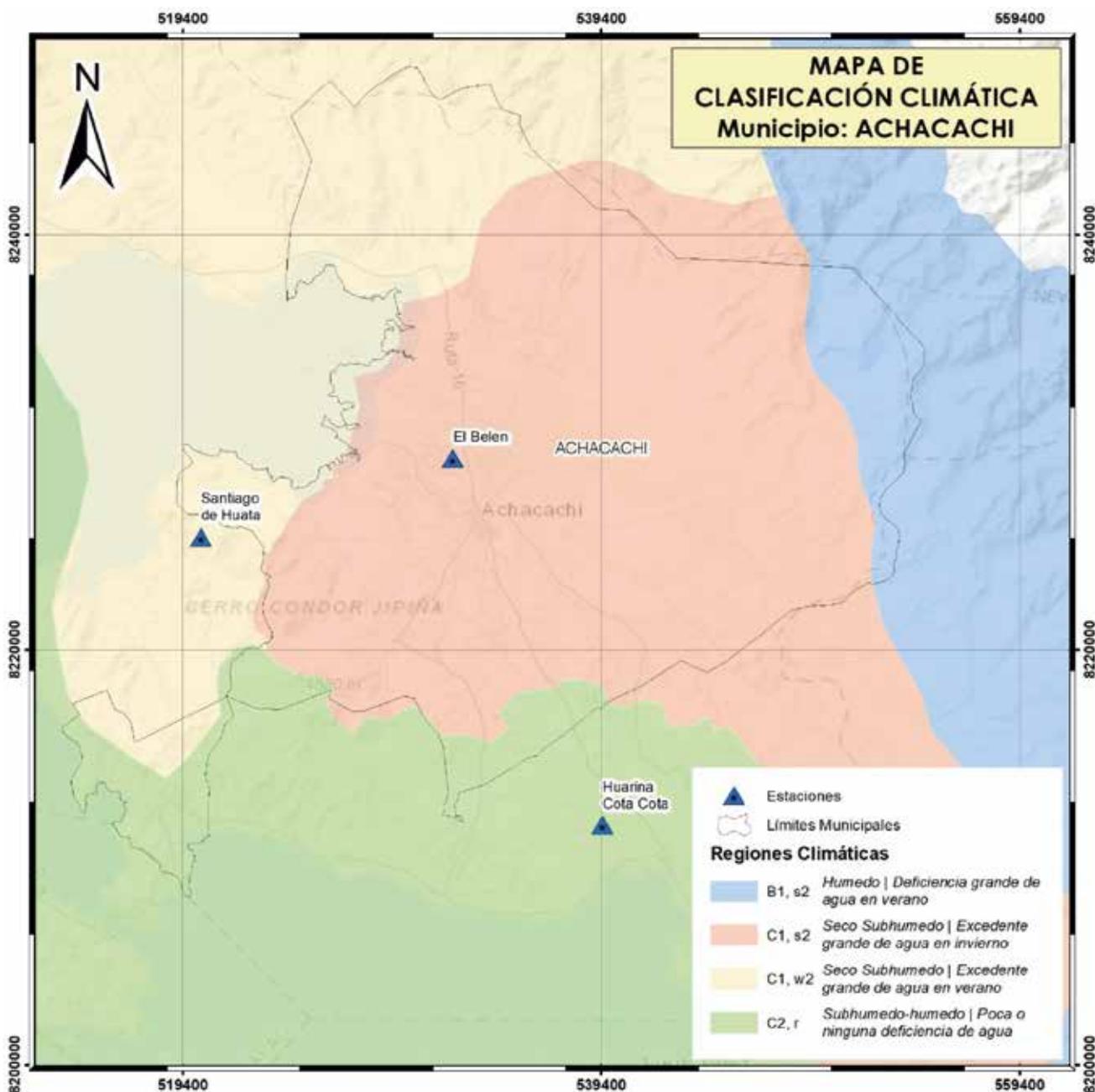


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En el Municipio Achacachi, en gran parte se presentan regiones de tipo seco sub húmedo, con gran excedente de agua en invierno. De tipo seco sub húmedo con

gran excedente de agua en verano, hacia el Norte del Municipio, de tipo meso termal en todo el Municipio.

MAPA 13. Mapa de clasificación climática del Municipio de Achacachi

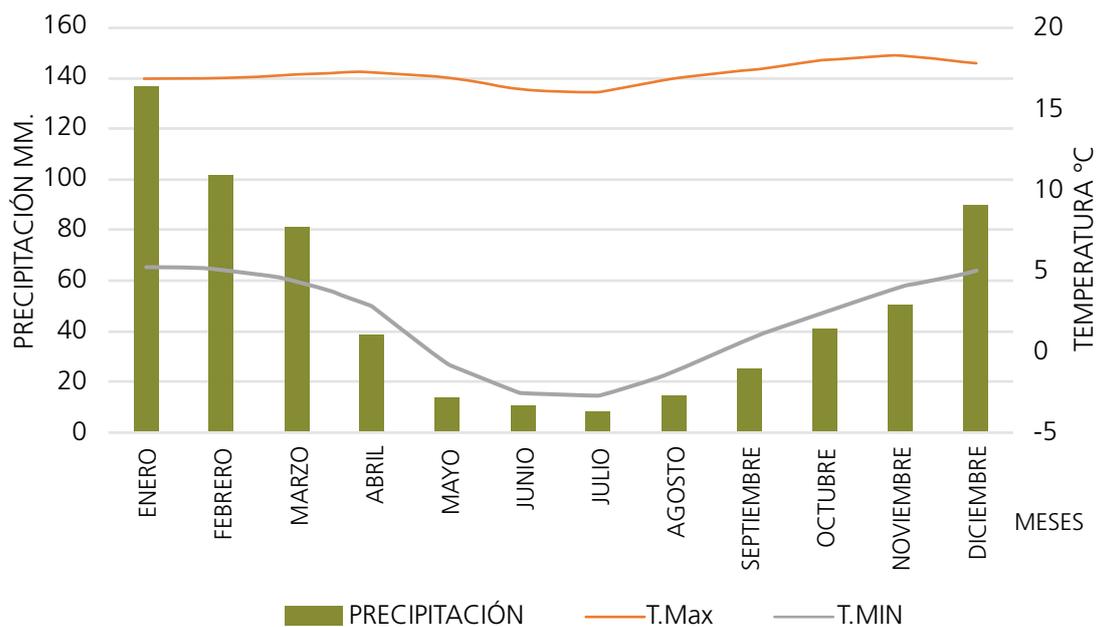


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

Los regímenes de precipitación y temperaturas varían desde los 140 mm en verano y valores cercanos e inferiores a 10 mm de precipitación, en invierno; siendo enero el mes más lluvioso y los meses más secos son mayo junio y julio. Las temperaturas máximas tienen un comportamiento con poca variación estacional,

con una oscilación de aproximadamente de 18 °C en verano y 15°C en invierno; por otro lado, las temperaturas mínimas tienen mayor oscilación, desde los 6°C aproximadamente a los -2 °C, registrándose las temperaturas más frías en los meses de junio y julio.

FIGURA 17. Promedios normales del Municipio de Achacachi



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

6.4 Caracterización de sequía

6.4.1 Criterios para la caracterización

FIGURA 18. Criterios para la caracterización de la sequía

La continuidad

- La cantidad de tiempo con permanencia de condiciones deficitarias

La severidad

- El grado de anomalía observada en los índices

La espacialidad

- El área afectada ya que la sequía no es un evento local, sino regional

La recurrencia

- El carácter recurrente de meses con déficit puede ser importante.

Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

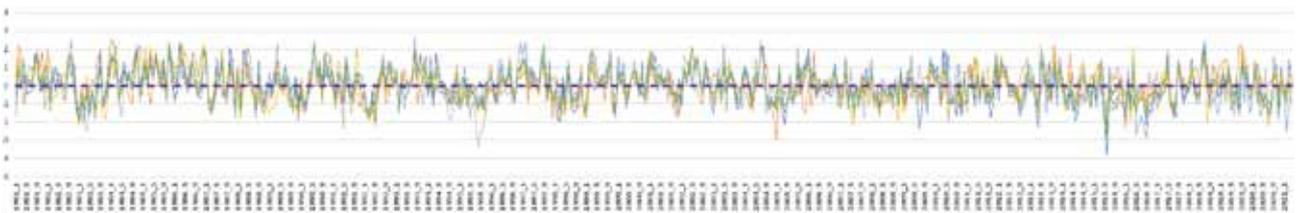


Para la caracterización de sequía se debe tomar en cuenta muchos aspectos que son importantes para identificar qué escenarios se pueden generar, su afectación y los impactos dentro del contexto de sequía.

Es por eso que, para poder analizar de manera regionalizada, primero realizamos el análisis de la información generada de manera puntual con las estaciones más representativas del área de estudio con las que se cuenta en la base de datos de SENAMHI-Bolivia para los tres municipios.

6.4.1.1 Municipio de Calacoto

FIGURA 19. Índice SPEI de las estaciones del Municipio de Calacoto

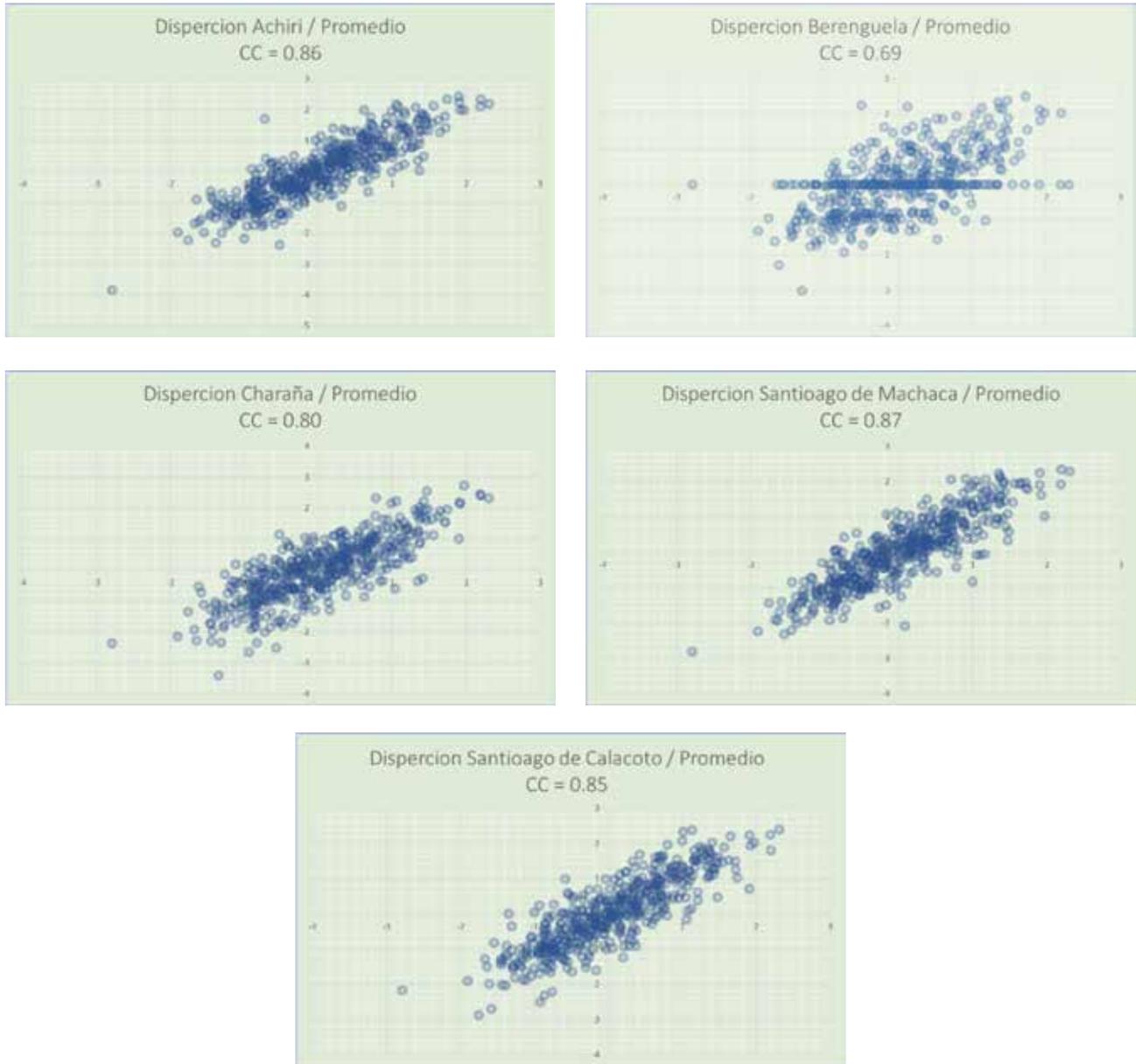


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En cuanto al comportamiento del índice SPEI de las estaciones más representativas del Municipio de Calacoto, se identificó un comportamiento generalmente análogo, con una homogeneidad alta, por lo que trabajar con el promedio estadístico para realizar un análisis regionalizado es factible.

El promedio estadístico tiene un grado óptimo de correlación con cada una de las estaciones de la región, como se observa en las siguientes gráficas, lo que nos da viabilidad para poder realizar el análisis de manera regional.

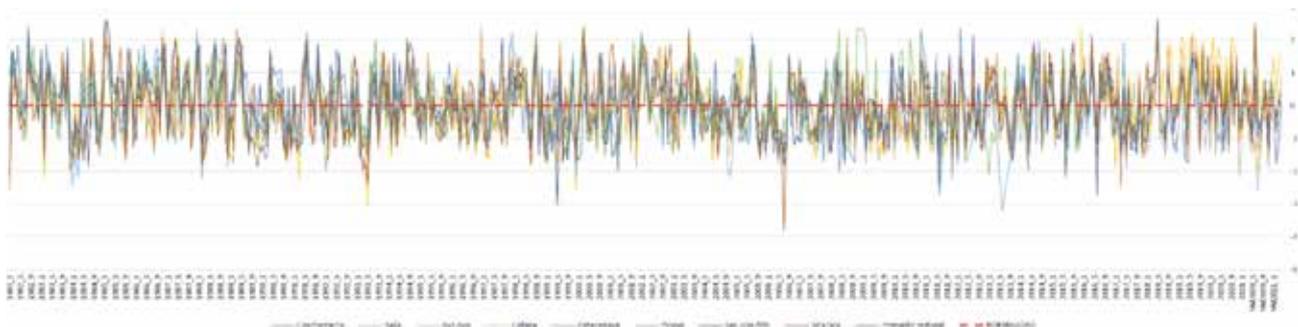
FIGURA 20. Análisis de correlación de datos estadísticos



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

6.4.1.2 Municipio de Sica Sica

FIGURA 21. Índice SPEI de las estaciones del Municipio de Sica Sica



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En cuanto al índice SPEI en las estaciones más representativas, para el municipio de Sica Sica, se observó un comportamiento en general análogo, con una homogeneidad alta, por lo que trabajar con el promedio estadístico para realizar un análisis regionalizado es factible.

El promedio estadístico tiene un grado óptimo de correlación con cada una de las estaciones de la región, como se observa en las siguientes gráficas, lo que nos da viabilidad para poder realizar el análisis de manera regional.

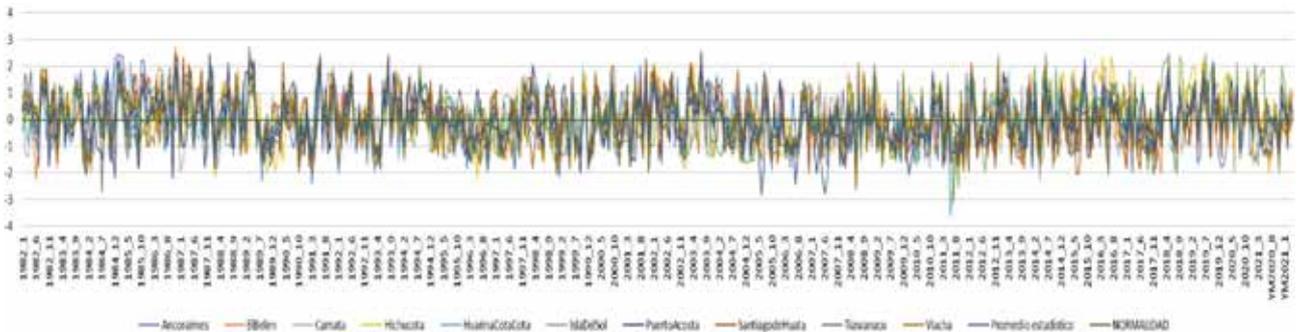
FIGURA 22. Análisis de correlación de datos estadísticos



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

6.4.1.3 Municipio de Achacachi

FIGURA 23. Índice SPEI de las estaciones del Municipio de Achacachi

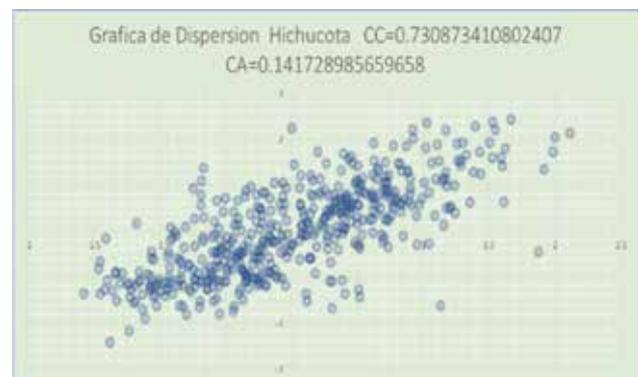
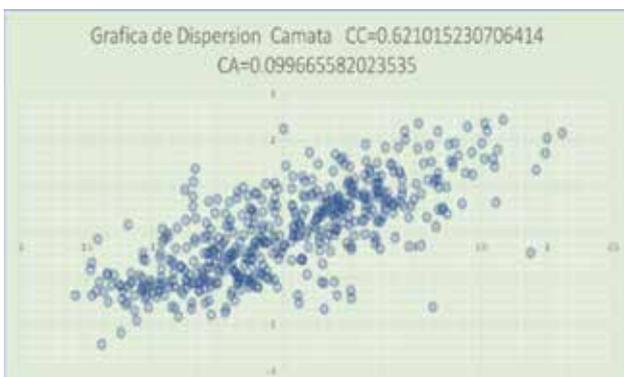
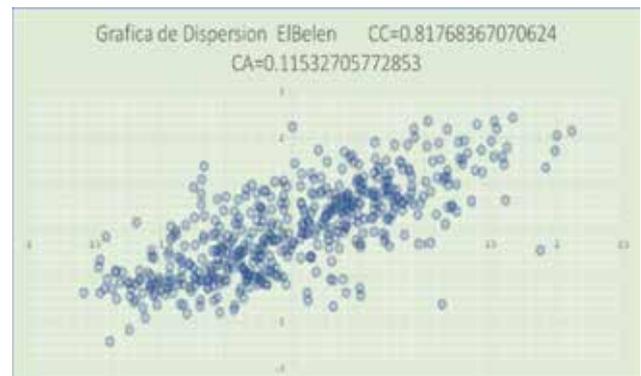
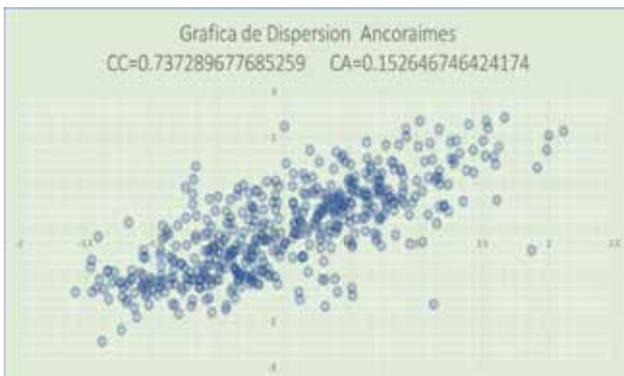


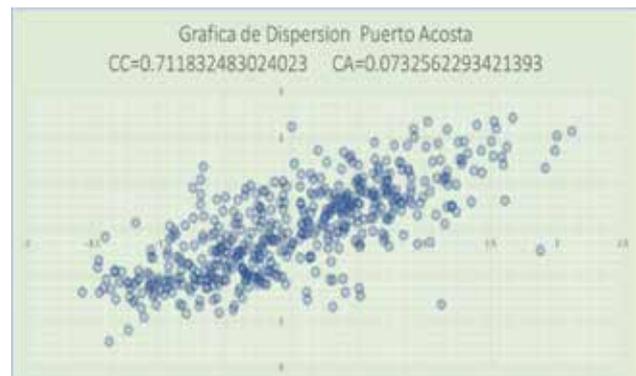
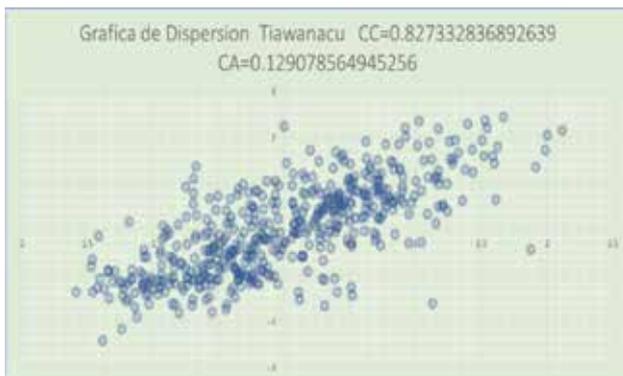
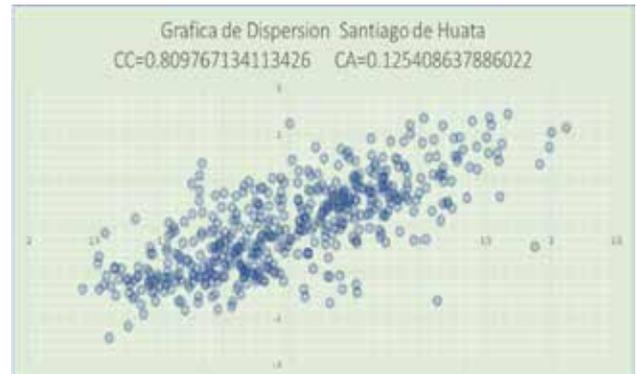
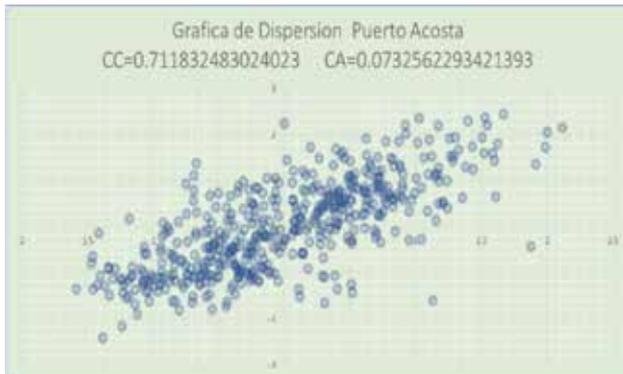
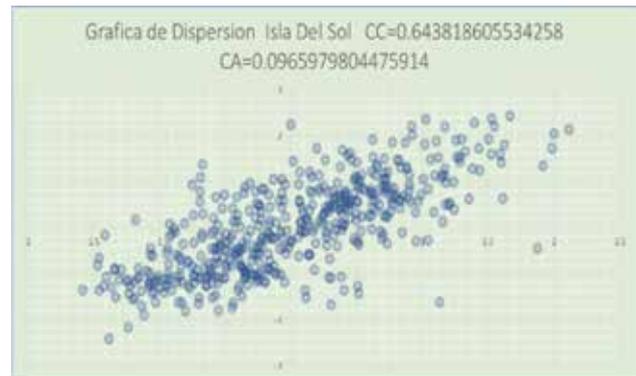
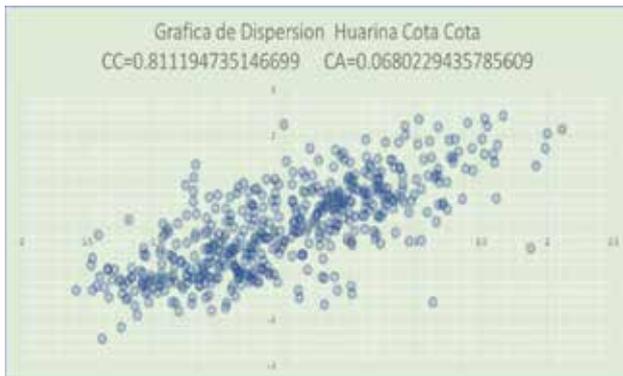
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En cuanto al índice SPEI de las estaciones más representativas para el Municipio de Sica Sica, se tiene un comportamiento en general análogo, con una homogeneidad alta, por lo que trabajar con el promedio estadístico para realizar un análisis regionalizado es factible.

El promedio estadístico tiene un grado óptimo de correlación con cada una de las estaciones de la región, como se observa en las siguientes gráficas, lo que nos da viabilidad para poder realizar el análisis de manera regional.

FIGURA 24. Análisis de correlación de datos estadísticos





Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

6.4.2 Análisis regionalizado y periodos de retorno

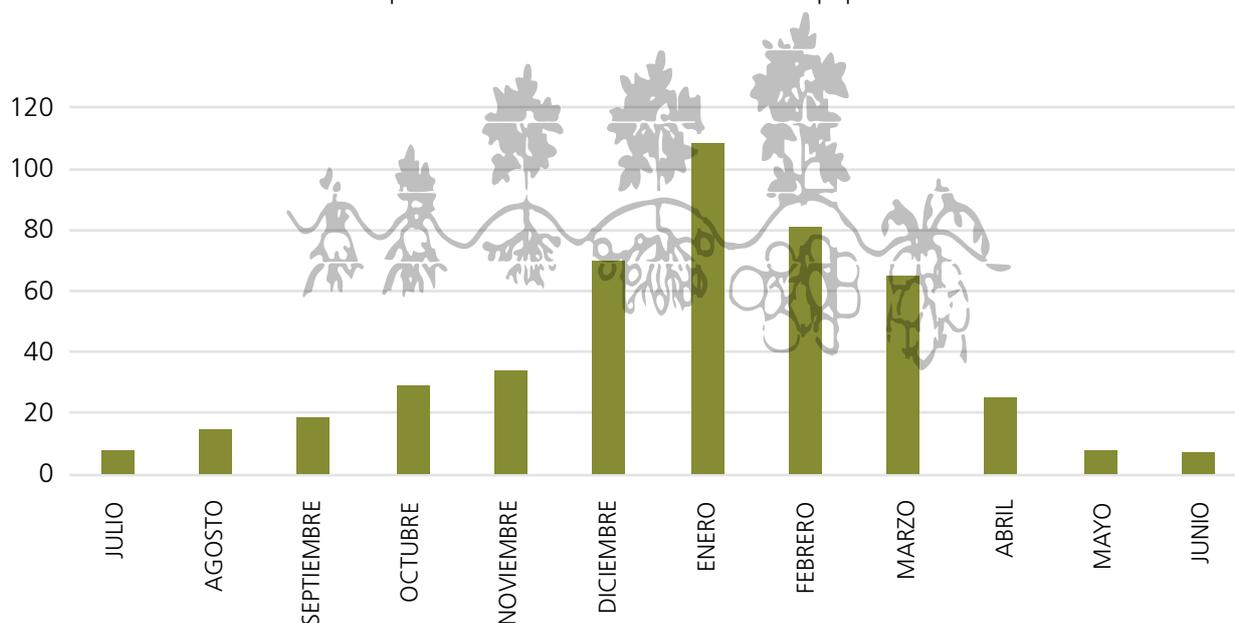
Realizado el análisis de los datos de las estaciones para Municipio, se consideró continuar con un estudio regionalizado para Calacoto, Sica Sica y Achacachi, toda vez que se tiene un alto grado de concordancia y correlación; también se consideró el ciclo de precipitaciones o regímenes de precipitación respecto a los cultivos con mayor importancia en los Municipios de estudio, ya que dentro el contexto de servicio climático se tiene que enfocar los objetivos en un producto final

que sea específico para un sector en particular, por ello se consideró el periodo más representativo, de julio a junio, como ciclo hidrológico para los diferentes productos.

Esto da lugar a poder enfocar el análisis en un periodo específico cada año y así poder valorar la gravedad del estado deficitario, en cada ciclo lluvioso.

FIGURA 25. Régimen de precipitaciones para la papa

Precipitaciones de Julio a Junio Cultivo de papa



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

Ya definido el periodo hidrológico que se consideró el análisis regional. A continuación, se tiene los diferentes enfoques necesarios para una buena apreciación y caracterización de la sequía en los tres Municipios.

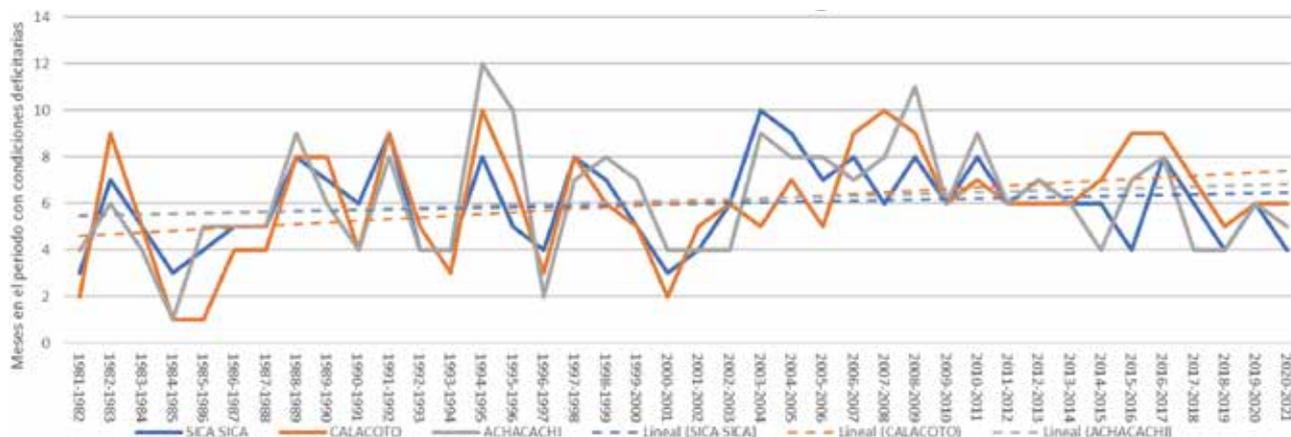
6.4.3 Análisis de recurrencia

El análisis de recurrencia consiste en contabilizar la cantidad de meses con condiciones deficitarias en el periodo establecido, este caso los ciclos de julio a junio aplica en toda la serie.

La siguiente figura (FIGURA 25) sirve para identificar la recurrencia de condiciones deficitarias que se presentó en cada periodo, de julio a junio, considerando todos los eventos con anomalías negativas sin definir umbrales.

De esta manera, se puede apreciar un comportamiento de persistencia de condiciones deficitarias, en algunos periodos, como ser los años 1988-1989, 1991-1992, 1994-1995, 1997-1998, 2003-2004, 2008-2009, 2010-2011, 2016-2017, que muestran un comportamiento con mayor cantidad de meses bajo condiciones deficitarias; así también en la mayoría de los periodos observados se advierte un comportamiento similar en las regiones de interés.

FIGURA 26. Cantidad de meses con SPEI negativo

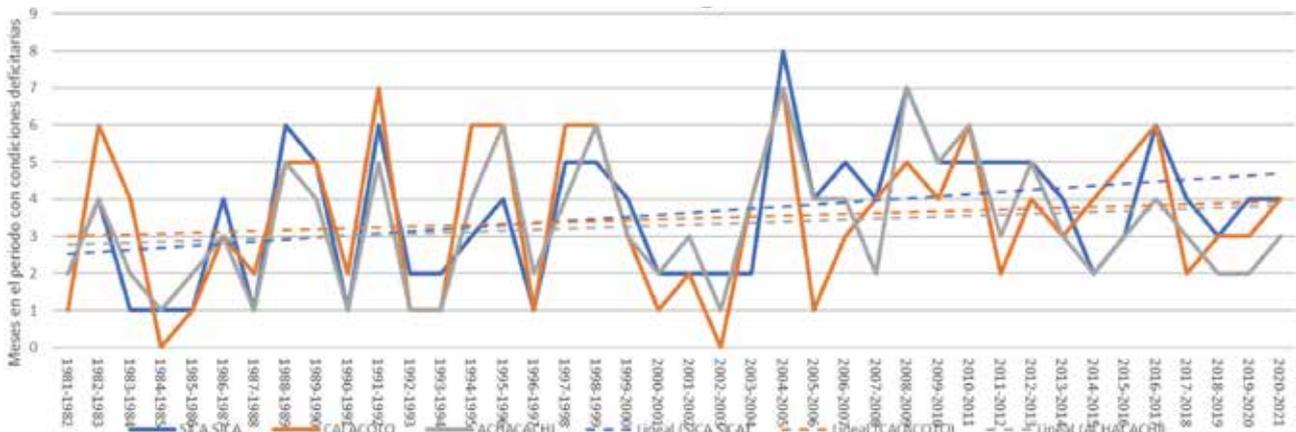


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En la siguiente figura (FIGURA 26), la gráfica de comportamiento regional de SPEI, demuestra un umbral de -0.5 que representa ya un índice catalogado como índice de sequía leve.

Se puede visualizar un comportamiento con recurrencia de condiciones deficitarias en periodos como ser: 1982-1983, 1988-1989, 1989-1990, 1991-1992, 1994-1995, 1995-1996, 1997-1998, 2004-2005, 2008-2009, 2010-2011, 2016-2017. En la mayoría de los periodos observados se nota un comportamiento similar en las regiones de interés.

FIGURA 27. Cantidad de meses con SPEI negativo con umbral menor a -0.5



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

6.4.4 Análisis de severidad

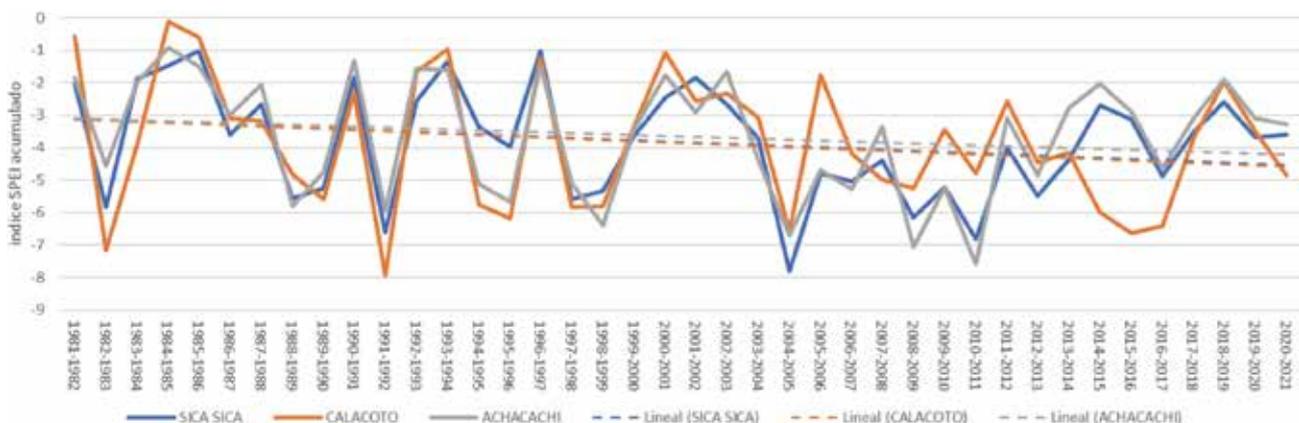
El análisis de severidad consiste en acumular la intensidad de las condiciones deficitarias en los periodos establecidos de julio a junio de toda la serie.

En la siguiente figura (FIGURA 27) se contempla la severidad en los periodos de julio a junio, acumulando

los índices negativos, sin contemplar umbrales; es decir, todos los valores bajo cero.

Se evidencia que, bajo el enfoque de grado de severidad, resaltan algunos periodos como ser: 1982-1983, 1988-1989, 1989-1990, 1991-1992, 1994-1995, 1995-1996, 1997-1998, 1998-1999, 2004-2005, 2008-2009, 2010-2011, 2016-2017.

FIGURA 28. Intensidad de condiciones deficitarias



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

De la misma manera, en la siguiente figura (FIGURA 28), se observa el análisis de severidad en los periodos de julio a junio, pero además determinando el umbral de -0.5 , ya que a partir de éste se considera un índice de sequía leve.

Se evidencia bajo el enfoque de grado de severidad algunos periodos como ser: 1982-1983, 1988-1989, 1989-1990, 1991-1992, 1994-1995, 1995-1996, 1997-1998, 1998-1999, 2004-2005, 2008-2009, 2010-2011, 2016-2017, asimismo, se tiene un comportamiento similar con una diferencia en los valores lo cual es lógico por el criterio que se maneja de acumulación de anomalías.

FIGURA 29. Severidad de condiciones deficitarias con umbral menor a -0.5 de SPEI



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

6.4.5 Análisis de continuidad

El análisis de continuidad registra los meses con condiciones deficitarias y que sean continuos; es decir que, entre mes y mes contabilizado de julio a junio, no se tenga una anomalía positiva, esto nos ayuda a identificar los periodos con larga duración de condiciones deficitarias.

mencionado, se puede apreciar el comportamiento que se presentó en los tres municipios, identificando los eventos con mayor duración o prolongación de las condiciones deficitarias, considerando además que los valores cuantificados son todas las anomalías negativas.

En la siguiente figura (FIGURA 29), con el criterio

Bajo este criterio, se identificó los periodos más resaltantes como ser: 1982-1983, 1988-1989, 1989-1990, 1994-1995, 1995-1996, 2008-2009, 2016-2017.

FIGURA 30. Continuidad de condiciones deficitarias

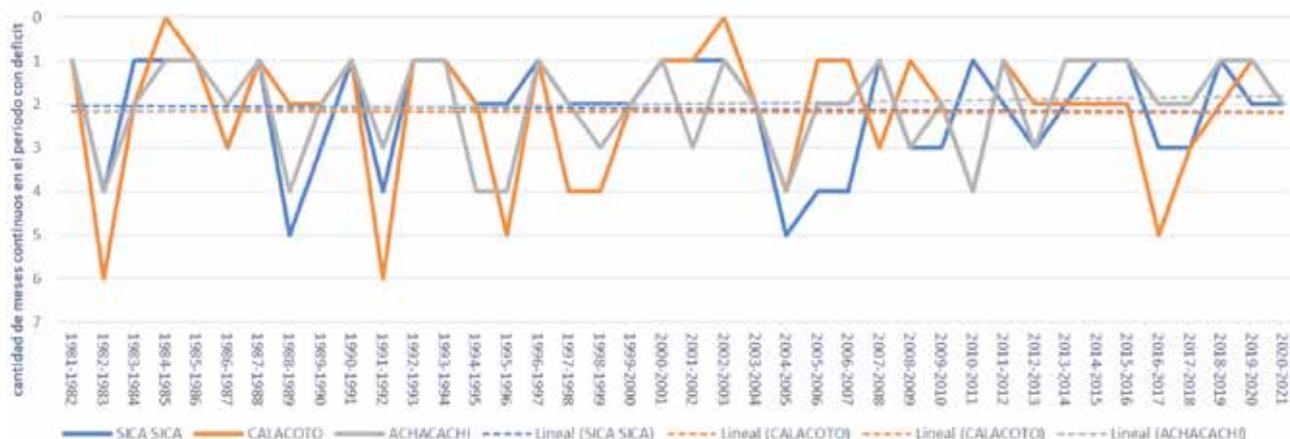


Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

En la siguiente figura (FIGURA 30), se tiene el mismo criterio de continuidad y además la consideración de tomar solo valores con anomalías bajo -0.5, ya que a partir de este se determina un índice de sequía leve.

Bajo estos criterios identificamos condiciones significativas en los periodos: 1982-1983, 1988-1989, 1991-1992, 1995-1996, 2004-2005, 2016-2017.

FIGURA 31. Continuidad de condiciones deficitarias con umbral al de -0.5 de SPEI



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

Algo importante que se puede identificar en los criterios empleados es que se observa una tendencia a incrementar las condiciones deficitarias en los diferentes criterios analizados, esto nos indica que existe una probabilidad que con el tiempo cada vez estas condiciones sean cada vez más recurrentes, más severas y cada vez más prolongadas.

6.4.6 Relación de datos de observación e índices calculados por la herramienta "monitor de sequía".

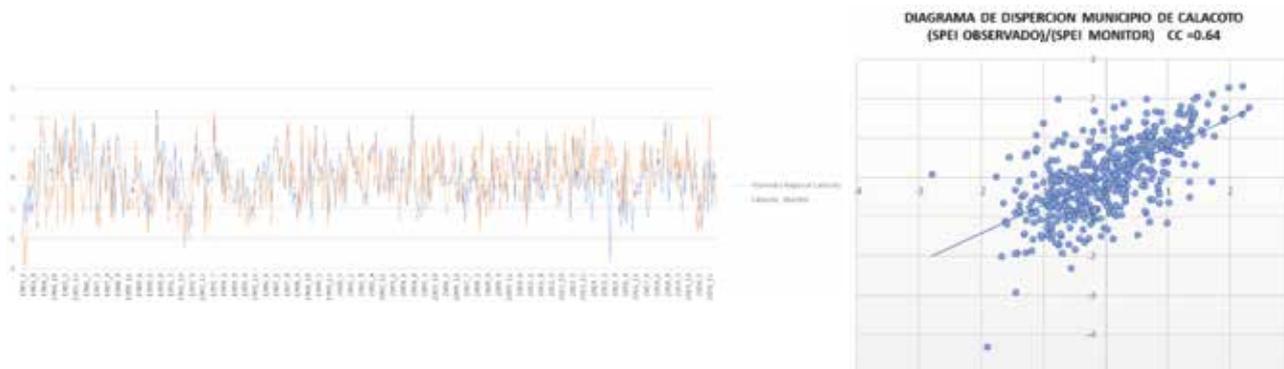
Siguiendo el análisis de manera regional, se debe verificar el grado de correspondencia de los índices calculados por el monitor de sequía y los índices calculados a partir de observaciones en estaciones meteorológicas, esto

ayudará en la validación de la información generada por el monitor de sequía, ya que esta información es de suma importancia para el diagnóstico de condiciones deficitarias.

Para los índices calculados por el monitor de sequía (SWDI, SSMI, VHI, SPEI), se cuenta con información de SSMI, desde el 2015 a la actualidad; índice SWDI, desde el año 2015 a la actualidad; índice VHI, desde el año 2001 a la actualidad y el índice SPEI, desde el año 1983 a la actualidad, siendo esta información fundamental para el monitoreo y seguimiento de las condiciones de sequía es los Municipios de interés.

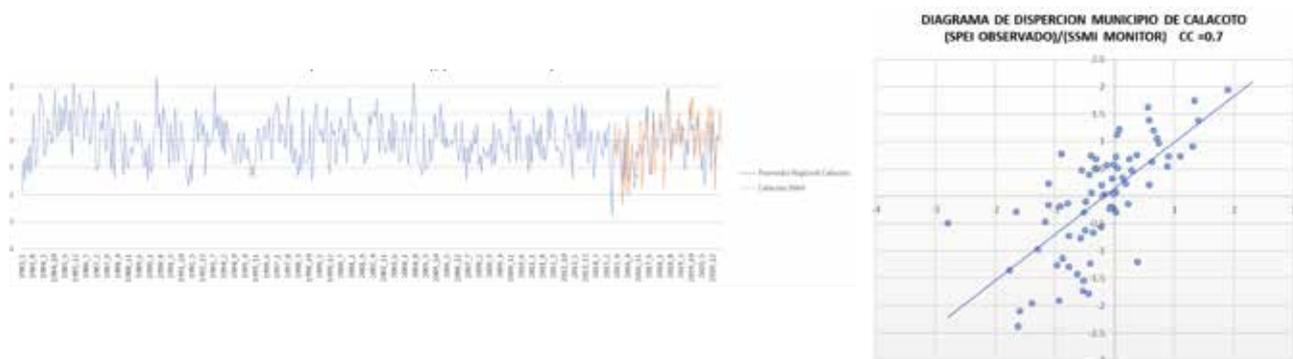
Se procedió a la comparación de series de información generada, a partir de los datos de estaciones meteorológicas con las series generadas con el monitor de sequía, de manera regionalizada y con cada uno de los diferentes índices contemplados.

FIGURA 32. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SPEI Monitor en el Municipio de Calacoto



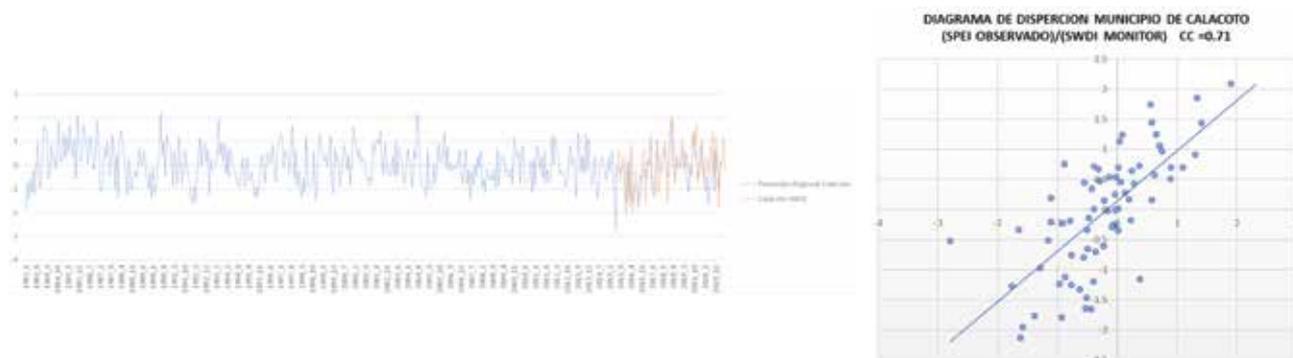
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 33. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SSMI Monitor en el Municipio de Calacoto



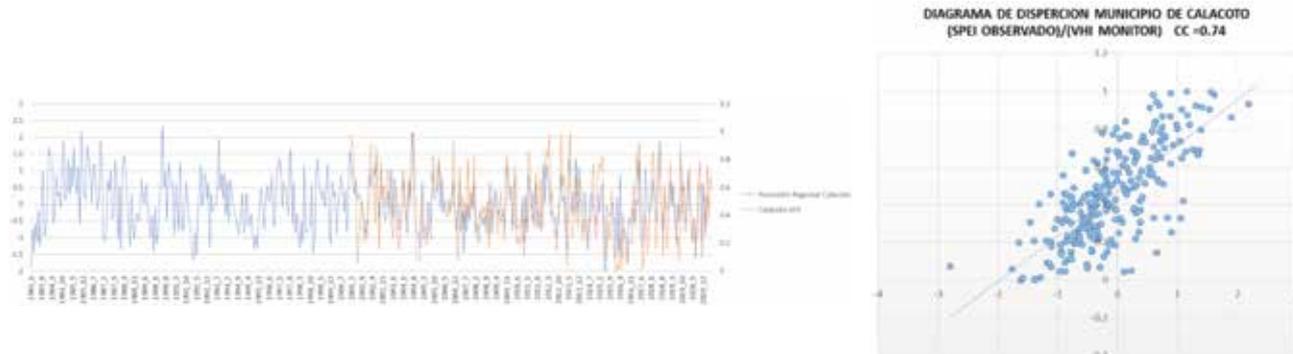
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 34. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SWDI Monitor en el Municipio de Calacoto



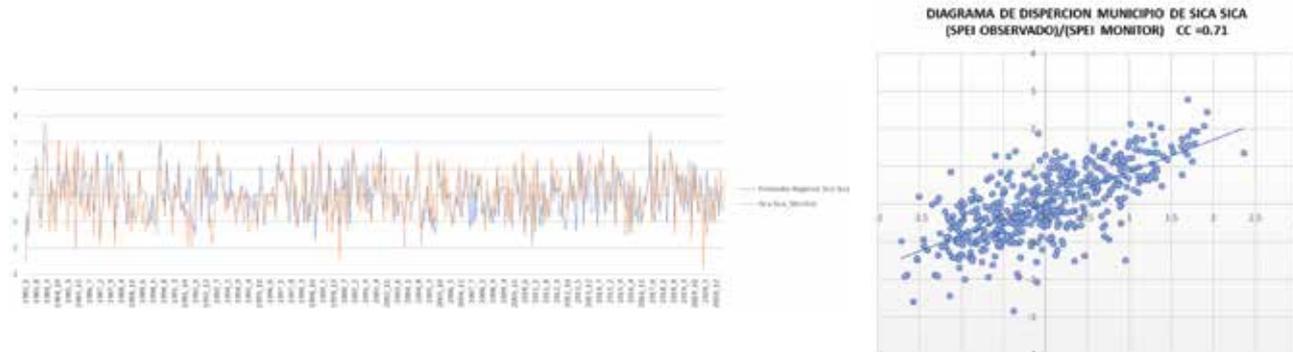
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 35. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/VHI Monitor en el Municipio de Calacoto



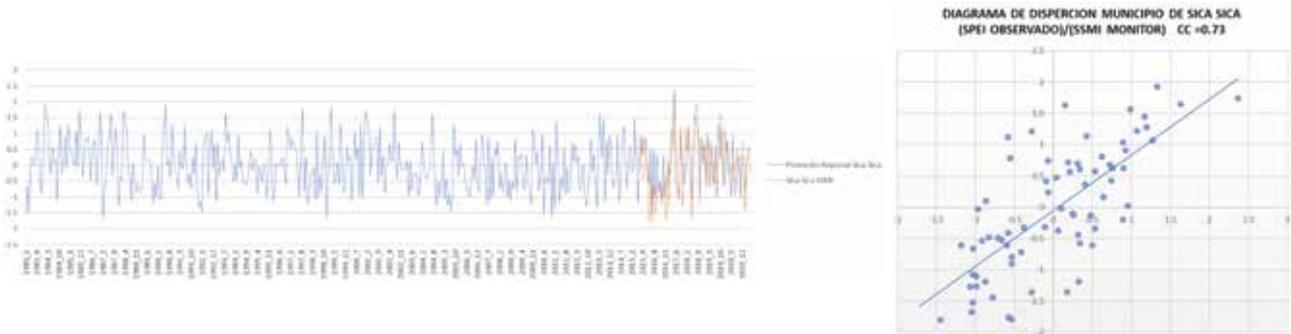
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 36. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SPEI Monitor en el Municipio de Sica Sica



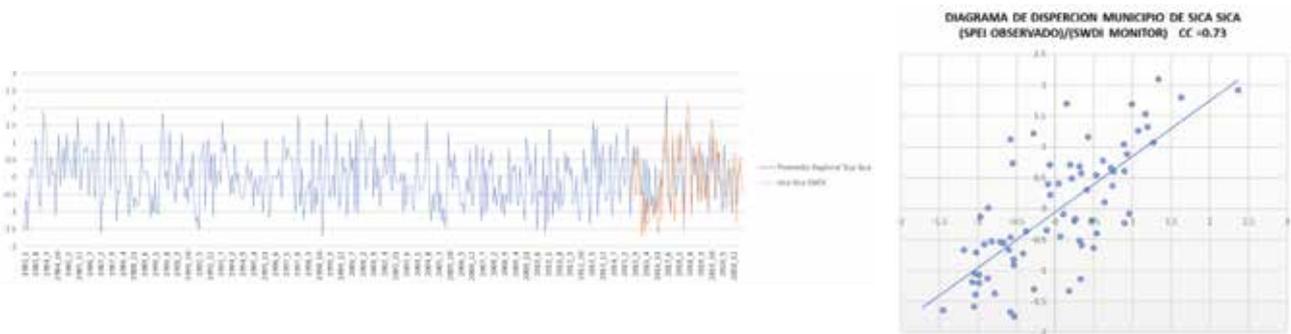
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 37. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SSMI Monitor en el Municipio de Sica Sica



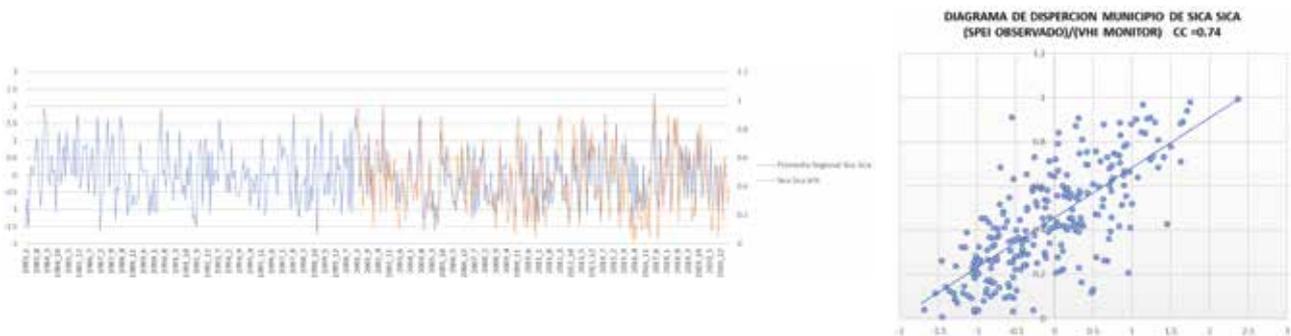
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 38. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SWDI Monitor en el Municipio de Sica Sica



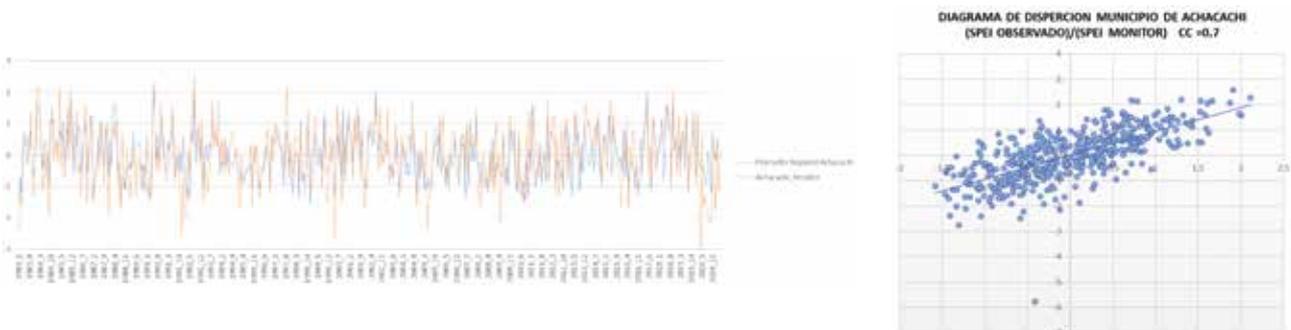
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 39. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/VHI Monitor en el Municipio de Sica Sica



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 40. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SPEI Monitor en el Municipio de Achacachi



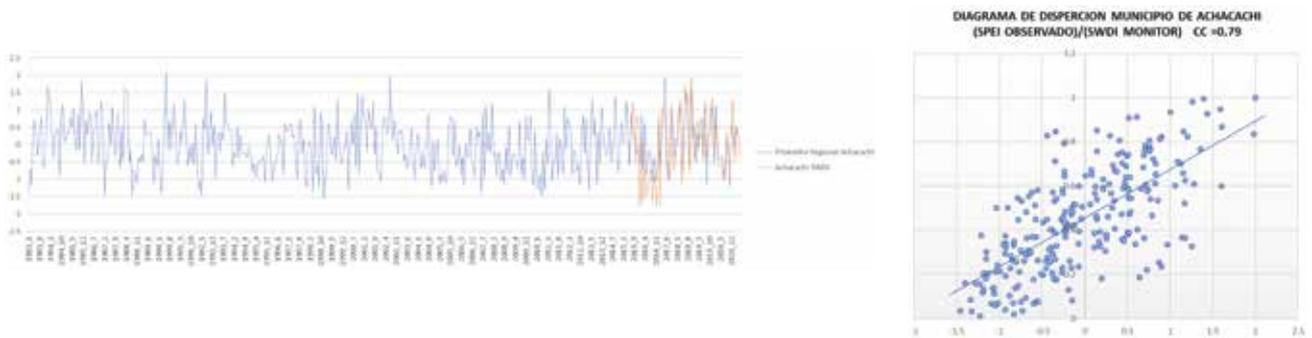
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 41. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SSMI Monitor en el Municipio de Achacachi



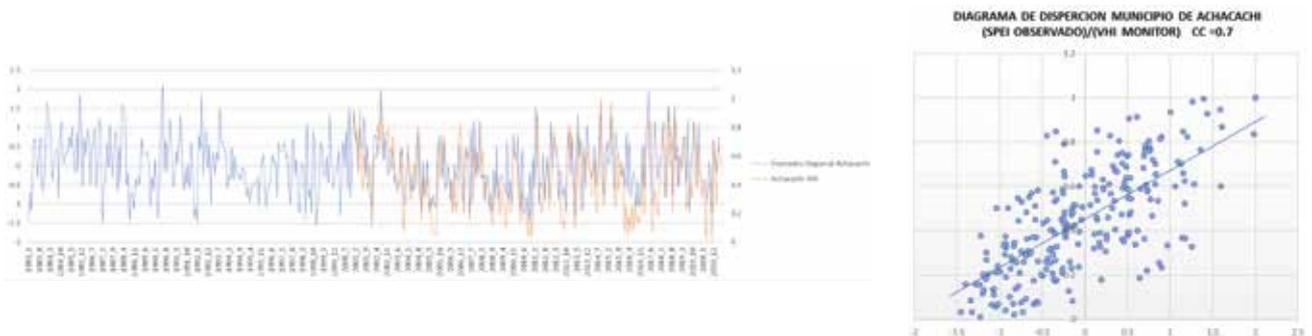
Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 42. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/SWDI Monitor en el Municipio de Achacachi



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

FIGURA 43. Comportamiento de las series para el SPEI Observado/VHI Monitor en el Municipio de Achacachi



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados del estudio

7. Resultados

7.1 Análisis de información de cobertura

- Se identifican todas las áreas que muestran signos de actividad agrícola, pero no de uso continuo, por lo que éstas podrían encontrarse abandonadas o en descanso. Esta distinción en las unidades de cultivo debe contrastarse con información de campo.
- La información se encuentra disponible en formato Raster, por tanto, para utilizarla como capa de máscara se deberá vectorizar dicha información, con lo que las capas variarán un poco en su extensión.
- Se analizó la información de cobertura de los municipios de Sica Sica, Achacachi y Calacoto, generada en base a clasificación supervisada por el proyecto CLC-LandCover, con una resolución de 300 metros por pixel; dicha resolución es suficiente para su comparación con otros índices del monitor de sequías.
- Se actualizó la información de uso de suelos, en los Municipios, con base a imágenes satelitales de alta resolución, tomando en cuenta las diferencias en cuanto al tipo de agricultura existente, a la modalidad de cultivos concentrados en áreas pequeñas o grandes, se diferenció en los mismos, predominando algunos por el reconocimiento de los cultivos entre suelo desnudo y lugares con matorrales. Estas unidades se ajustaron para representar la extensión agrícola.
- Se analizó la extensión y ubicación de las coberturas de uso de suelo existentes en Sica Sica, Achacachi y Calacoto, utilizando gráficas para obtener una visión general de los resultados, esta información se debe verificar con la información de campo y experiencia de los tres Municipios.
- Se generó información importante para ser utilizada en el Boletín Agrometeorológico, en cuanto al análisis de cobertura en tablas de datos, como también para archivos en formato Raster (.tif) y en formato vector (.shp). El último fue simplificado y ajustado a la extensión de los Municipios priorizados.
- Finalmente, se identificó las áreas de aprovechamiento agrícola en Achacachi, Calacoto y Sica Sica, para su utilización en el Boletín Agrometeorológico y otros usos que sean requeridos.



7.2 Probabilidades de ocurrencia

7.2.1 Periodos de mayor importancia identificados.

Ya analizado los diferentes criterios, a continuación, se tiene una valoración de eventos más significativos a nivel de las tres regiones.

TABLA 10. Periodos identificados más críticos

Periodos identificados más críticos					
Persistencia	Persistencia con umbral	Severidad	Severidad con umbral	Continuidad	Continuidad con umbral
	1982-1983	1982-1983	1982-1983	1982-1983	1982-1983
1988-1989	1988-1989	1988-1989	1988-1989	1988-1989	1988-1989
	1989-1990	1989-1990	1989-1990	1989-1990	
1991-1992	1991-1992	1991-1992	1991-1992		1991-1992
1994-1995	1994-1995	1994-1995	1994-1995	1994-1995	
	1995-1996	1995-1996	1995-1996	1995-1996	1995-1996
		1997-1998	1997-1998		
1997-1998	1997-1998				
		1998-1990	1998-1990		
2003-2004					
2004-2005	2004-2005	2004-2005	2004-2005		2004-2005
2008-2009	2008-2009	2008-2009	2008-2009	2008-2009	
2010-2011	2010-2011	2010-2011	2010-2011		
2016-2017	2016-2017			2016-2017	2016-2017

Fuente: Elaboración Propia con base al estudio realizado

A nivel municipal se tiene las siguientes tablas donde se identifica los diferentes criterios de manera individual.

TABLA 11. Periodos identificados más críticos para el Municipio de Sica Sica

Municipio de Sica Sica					
Persistencia	Persistencia con umbral	Severidad	Severidad con umbral	Continuidad	Continuidad con umbral
		1982-1983	1982-1983		
1988-1989		1988-1989			1988-1989
		1989-1990		1989-1990	
1991-1992		1991-1992	1991-1992		
1994-1995					
1997-1998		1997-1998			
		1998-1999			
2003-2004					
2004-2005	2004-2005	2004-2005	2004-2005		2004-2005
2006-2007		2006-2007		2006-2007	
2008-2009	2008-2009	2008-2009	2008-2009		
		2009-2010			
2010-2011		2010-2011	2010-2011		
		2012-2013	2012-2013		
2016-2017					

Fuente: Elaboración Propia con base al estudio realizado

TABLA 12. Periodos identificados más críticos para el Municipio de Calacoto

Municipio de Calacoto					
Persistencia	Persistencia con umbral	Severidad	Severidad con umbral	Continuidad	Continuidad con umbral
1982-1983		1982-1983	1982-1983	1982-1983	1982-1983
1988-1989					
1989-1990		1989-1990	1989-1990	1989-1990	
1991-1992	1991-1992	1991-1992	1991-1992	1991-1992	1991-1992
1994-1995		1994-1995			
		1995-1996	1995-1996	1995-1996	1995-1996
1997-1998		1997-1998	1997-1998		
		1998-1999	1998-1999		
	2004-2005	2004-2005	2004-2005		
2006-2007					
2007-2008				2007-2008	
2008-2009		2008-2009		2008-2009	
		2014-2015	2014-2015		
2015-2016		2015-2016	2015-2016		
2016-2017		2016-2017	2016-2017	2016-2017	2016-2017

Fuente: Elaboración Propia con base al estudio realizado

TABLA 13. Periodos identificados más críticos para el Municipio de Achacachi

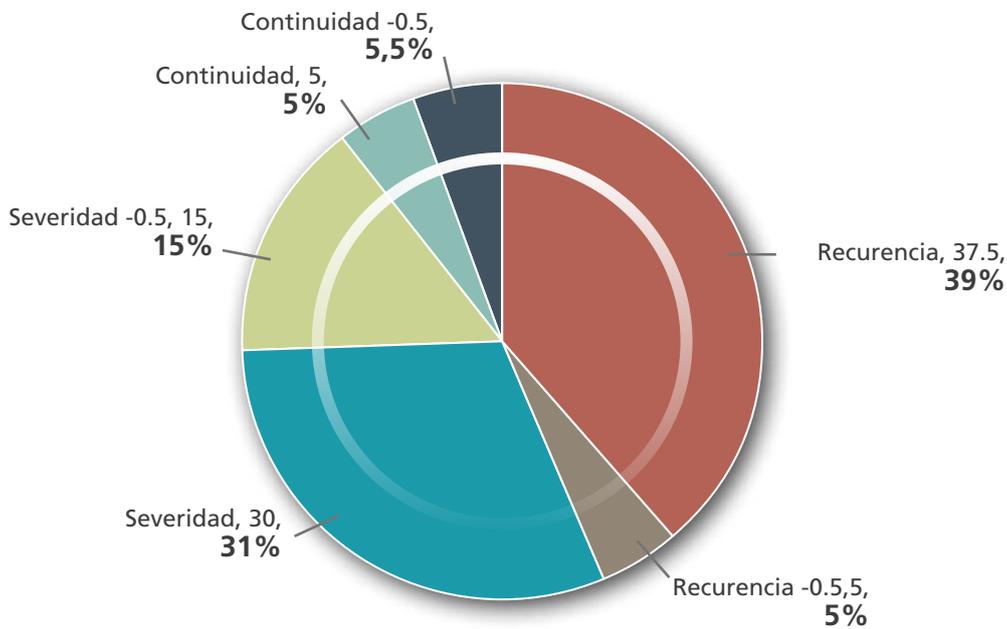
Municipio de Achacachi					
Persistencia	Persistencia con umbral	Severidad	Severidad con umbral	Continuidad	Continuidad con umbral
1988-1989		1988-1989		1988-1989	
1991-1992		1991-1992	1991-1992		
1994-1995		1994-1995		1994-1995	
1995-1996		1995-1996			
		1997-1998			
1998-1999		1998-1999	1998-1999		
2003-2004					
2004-2005	2004-2005	2004-2005	2004-2005		
2005-2006					
		2006-2007			
2007-2008					
2008-2009	2008-2009	2008-2009	2008-2009		
		2009-2010			
2010-2011		2010-2011	2010-2011		
2016-2017				2016-2017	

Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

Con toda la serie disponible, también se elaboró el cálculo de probabilidad de las condiciones o criterios utilizados para los Municipios de Sica Sica, Calacoto y Achacachi.

En la figura de probabilidad, correspondiente al Municipio de Sica Sica, se tiene una predominancia en el criterio de severidad contemplando todas anomalías negativas, seguido del criterio de recurrencia y por último la continuidad.

FIGURA 44. Probabilidades de ocurrencia Municipio de Sica Sica

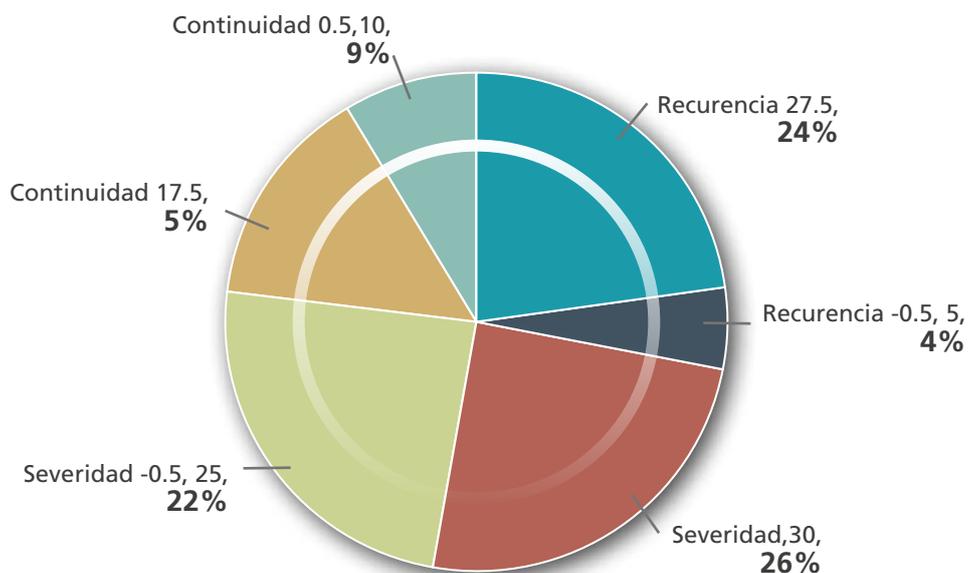


Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

En la figura de probabilidad, correspondiente al Municipio de Calacoto, se tiene una predominancia en el criterio de recurrencia, contemplando anomalías de

negativas de SPEI, seguido del criterio de severidad y por último la continuidad.

FIGURA 45. Probabilidades de ocurrencia Municipio de Calacoto

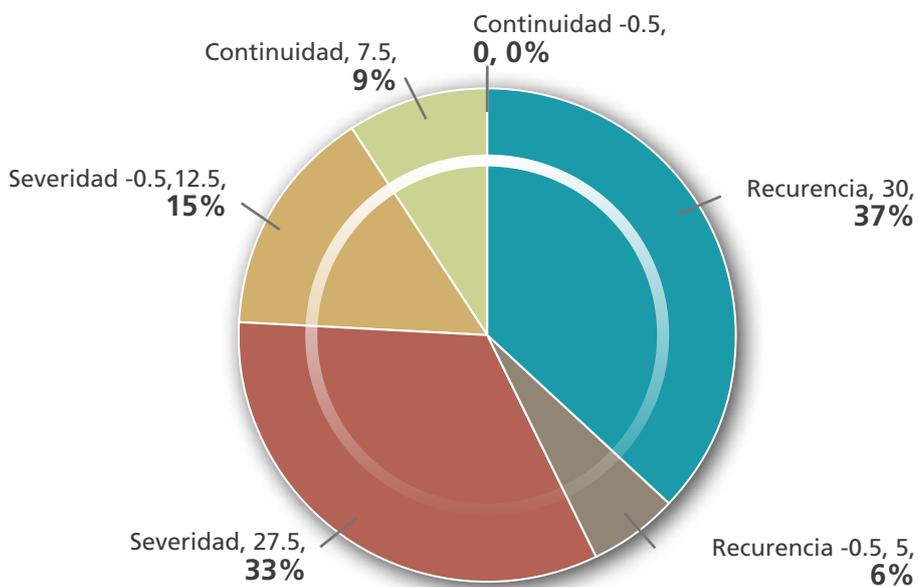


Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

En la figura de probabilidad, correspondiente al Municipio de Achacachi, se tiene una predominancia

en el criterio de recurrencia, seguido del criterio de severidad y por último la continuidad.

FIGURA 46. Probabilidades de ocurrencia Municipio de Achacachi



Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

7.3 Validación con registros externos

En la generación de un Servicio Climático, debemos considerar que la información concebida debe ser específica para una determinada actividad. En los tres Municipios se identificó que la actividad principal es la agrícola, por lo que el producto del Servicio Climático debe enfocarse a coadyuvar al sector agrícola; así también, es necesario identificar el grado de afectación que se observa en esta actividad, en los municipios priorizados, haciendo uso de los diferentes índices generados por el SENAMHI, de manera más focalizada en la actividad agrícola.

Adicionalmente a toda la información generada por el SENAMHI, desde las diferentes herramientas de caracterización, se identificaron otros periodos críticos en toda la serie climática.

Es importante mencionar que la información de impacto o efecto, proporcionados por las fuentes del VIDECI, a través de su Observatorio Nacional de Desastres (OND) y PROSUCO (Promoción de la Sustentabilidad y Conocimientos Compartidos), se debe revalorizar e instrumentalizar la observación sistemática de indicadores naturales.

FIGURA 47. Metodología de análisis de información



Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

De los datos obtenidos por el Observatorio Nacional de Desastres (OND-VIDECI), se puede evidenciar que los episodios identificados como eventos más significativos, tuvieron una afectación con declaratorias de emergencia, familias y personas afectadas; asimismo, se debe considerar que la información proporcionada, sólo cuenta con información para Sica Sica desde el año 2004, para Calacoto desde 2002 y para Achacachi desde 2006.

7.3.1 Municipio de Sica Sica

En la siguiente tabla se tiene la identificación de eventos más significativos y también los datos de impacto proporcionado por el OND-VIDECI que tienen relación los eventos significativos, esta comparación devela el grado de afectación que se tuvo en estos episodios registrados.

Como se evidencia en la comparación de datos más significativos con los criterios de continuidad, recurrencia y severidad con los datos disponibles de impacto proporcionado, se identifica los periodos 2004-2005, 2006-2007 y 2009-2010, como eventos con una clara anomalía detectada y una afectación.

TABLA 14. Tabla comparativa de periodos anómalos para el Municipio de Sica Sica

Sica Sica						VIDECI			PROSUCO
Persis-tencia	Persisten-cia con umbral	Severidad	Severidad con umbral	Conti-nuidad	Continui-dad con umbral	Declara-torias de emergencia	Familias afectadas	Personas afectadas	Impacto
		1982-1983	1982-1983						
1988-1989		1988-1989			1988-1989				
		1989-1990		1989-1990					
1991-1992		1991-1992	1991-1992						
1994-1995									
1997-1998		1997-1998							
		1998-1999							
2003-2004									
2004-2005	2004-2005	2004-2005	2004-2005		2004-2005	1	53	265	
2006-2007		2006-2007		2006-2007		78	4289	21445	
2008-2009	2008-2009	2008-2009	2008-2009						
		2009-2010					205	1025	
2010-2011		2010-2011	2010-2011						
		2012-2013	2012-2013						
2016-2017									

Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

7.3.2 Municipio de Calacoto

Para el Municipio de Calacoto los datos más significativos identificados, con los criterios de continuidad, recurrencia, severidad y los datos disponibles de impacto fueron registrados, en los periodos 2004-

2005, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009 y 2014-2015, como eventos con una clara anomalía detectada y una afectación.

TABLA 15. Tabla comparativa de periodos anómalos para el Municipio de Calacoto

Calacoto						VIDECI			PROSUCO
Persis- tencia	Persis- tencia con um- bral	Severi- dad	Severi- dad con umbral	Continui- dad	Continui- dad con umbral	Declara- torias de emergen- cia	Familias afectadas	Personas afectadas	Impacto
1982- 1983		1982- 1983	1982- 1983	1982- 1983	1982- 1983				
1988- 1989									
189- 1990		189- 1990	189- 1990	189- 1990					
1991- 1992	1991- 1992	1991- 1992	1991- 1992	1991- 1992	1991- 1992				
1994- 1995		1994- 1995							
		1995- 1996	1995- 1996	1995- 1996	1995- 1996				
1997- 1998		1997- 1998	1997- 1998						
		1998- 1999	1998- 1999						
	2004- 2005	2004- 2005	2004- 2005			6	259	1925	
2006- 2007						122	5660	28300	
2007- 2008				2007- 2008		52	3674	18370	
2008- 2009		2008- 2009		2008- 2009		62	2643	13215	
		2014- 2015	2014- 2015			0	3957	19785	
2015- 2016		2015- 2016	2015- 2016						
2016- 2017		2016- 2017	2016- 2017	2016- 2017	2016- 2017				

Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

7.3.3 Municipio de Achacachi

Para el Municipio de Achacachi los datos más significativos identificados con los criterios de continuidad, recurrencia, severidad y los datos disponibles de impacto, se registraron en los periodos de 2004-2005, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009 y 2014-2015 como eventos con una clara anomalía detectada y una afectación.

Asimismo, se tuvo que acceder a fuentes de información referencial como las que proporciona PROSUCO, los cuales también identifican los años 2016-2017 como un periodo con condiciones deficitarias.

TABLA 16. Tabla comparativa de periodos anómalos para el Municipio de Achacachi

Achacachi						VIDECI			PROSUCO
Persis- tencia	Persis- tencia con um- bral	Severi- dad	Severi- dad con umbral	Continui- dad	Continui- dad con umbral	Declara- torias de emergen- cia	Familias afectadas	Personas afectadas	Impacto
1988- 1989		1988- 1989		1988- 1989					
1991- 1992		1991- 1992	1991- 1992						
1994- 1995		1994- 1995		1994- 1995					
1995- 1996		1995- 1996							
		1997- 1998							
1998- 1999		1998- 1999	1998- 1999						
2003- 2004									
2004- 2005	2004- 2005	2004- 2005	2004- 2005						
2005- 2006						7	816	4080	
		2006- 2007							
2007- 2008						1			
2008- 2009	2008- 2009	2008- 2009	2008- 2009						
		2009- 2010							
2010- 2011		2010- 2011	2010- 2011						
2016- 2017				2016- 2017					DEFICIT

Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

7.4 Análisis de Resiliencia

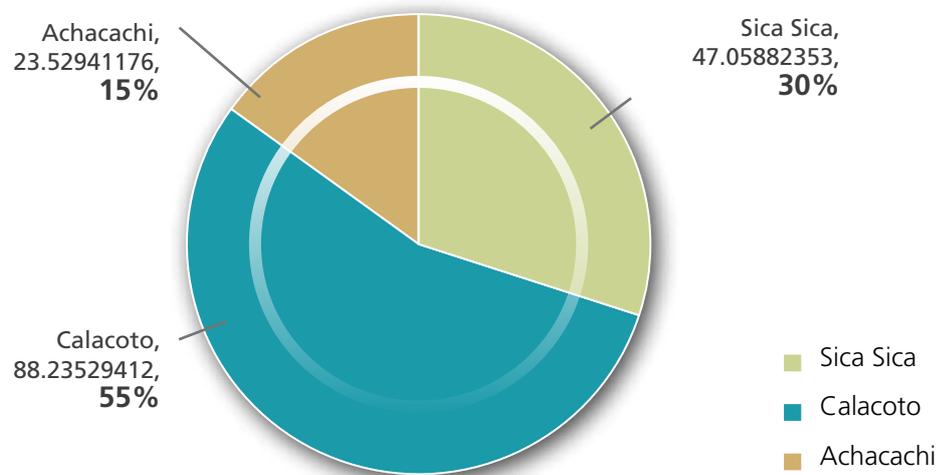
Se tiene que considerar diferentes aspectos como la capacidad de resiliencia o adaptación a la sequía, de acuerdo a la información obtenida del VRHR los tres Municipios cuentan con riego, pero solo en Achacachi se encuentra bien establecidos. Contar con un sistema de riego permite coadyuvar en la reducción de afectación en la actividad agrícola, la cual se corroboró con la información de afectación proporcionados por el OND-VIDECI.

Si bien se tiene identificado en similares proporciones los eventos más críticos de déficit de precipitaciones, los Municipios de Calacoto y Sica Sica son los más

afectados. Por otro lado, en Achacachi el impacto es menor por sus sistemas de riego.

A continuación, en la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de eventos de afectación, en función a los eventos de sequía, identificados con los diferentes criterios planteados. Como se observa, la región más crítica es el Municipio de Calacoto con un 55% de los casos registrados de sequía, en el Municipio de Sica Sica se tiene identificado a un 30% de los casos de sequía y por último, se evidencia que el Municipio de Achacachi cuenta con 15% de casos que tienen afectación; es decir que este Municipio tiene mayor posibilidad de resiliencia.

FIGURA 48. Afectación en función a los eventos de sequía identificados



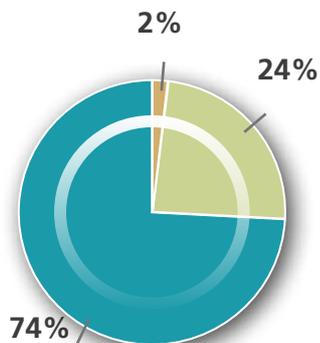
Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

De igual manera, las siguientes figuras tienen el objetivo de mostrar la severidad con la que se generó el impacto, teniendo un panorama de igual manera más crítico

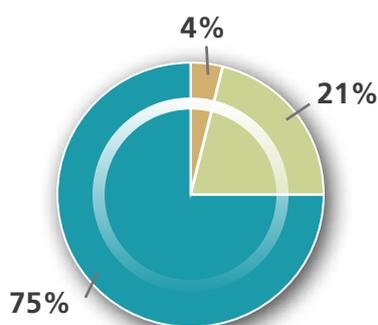
para el Municipio de Calacoto y con mayor capacidad los Municipios de Sica Sica y Achacachi. Este último, con un muy bajo grado de severidad de la afectación o impacto.

FIGURA 49. Resumen de afectaciones por Municipios

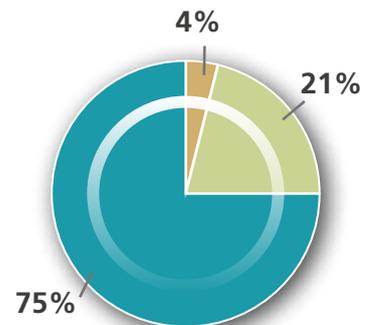
Declaratorias de emergencia



Familias afectadas



Personas afectadas



■ Sica Sica ■ Calacoto ■ Achacachi

Fuente: Elaboración propia con base al estudio realizado

8. Conclusiones

Se realizó la identificación y procesamiento de datos de la red de estaciones del SENAMHI, seleccionada para los Municipios priorizados, utilizando 23 estaciones, en las cuales se realizó el control de calidad, homogeneización y relleno de datos para el periodo de 01-1981/06-2021, logrando consolidar la base de información con series climáticas, a nivel mensual.

Se determinó basados en los registros históricos la clasificación climática de los Municipios priorizados, mediante el método de Thornthwaite, identificando de esta manera cuatro tipos de clasificaciones principales: **B1** Húmedo, **C1** Seco Subhúmedo, **C2** Subhúmedo-húmedo y **D** Semiárido. Para verificar la congruencia del análisis realizado se solicitó el apoyo al Proyecto Pachayatiña Yachay, en la parte logística, para realizar la valoración in situ, lamentablemente esta actividad no pudo ser concluida por la alerta epidemiológica Nivel 4 decretada por la pandemia.

Se identificó y procesó los índices, utilizando el monitor de sequías del SENAMHI (SPI, SWDI, SSMI y VHI) a nivel municipal, con una escala temporal mensual. Se calculó el SPEI, a partir de las series climáticas de la red de estaciones seleccionada para el área de estudio. Estos índices fueron regionalizados para cada uno de los Municipios priorizados. Posteriormente, se comparó los índices del monitor de sequía y el índice SPEI obtenido de las series climáticas de la base de datos consolidada, a nivel municipal.

Se desarrolló el análisis y caracterización de sequía para los tres Municipios, a partir de los criterios de persistencia, severidad y continuidad. Concluyendo en un análisis a nivel municipal:

- En el Municipio de **Sica Sica**, los eventos de sequía tienen una característica de presentar varios meses con condiciones deficitarias (**recurrencia**), con un **alto grado de severidad**. La sequía en este Municipio no tiene la característica de continuidad (varios meses consecutivos).

- En el Municipio de **Calacoto**, se pudo identificar que la principal característica de las sequías es el **alto grado de severidad** y varios meses con condiciones deficitarias en los ciclos establecidos (julio-junio). En menor proporción **periodos de sequía largos y continuos**.
- En el Municipio de **Achacachi**, la principal característica de eventos de sequía es la **recurrencia** de varios meses en condiciones deficitarias en el ciclo establecido (julio-junio), también presenta **alto grado de severidad**. No se tiene el criterio de continuidad como característica relevante en el municipio.

En el análisis de recurrencia de la sequía se pudo observar que los escenarios deficitarios tienen una tendencia ascendente, lo que indica que los ciclos establecidos (julio-junio) cada vez tendrán más meses con condiciones deficitarias. Este comportamiento es similar en cada Municipio.

En cuanto al análisis de severidad, se muestra una tendencia negativa en los valores de los índices, por lo que cada vez los eventos de sequía serán más severos. Este comportamiento es similar en cada Municipio.

En el análisis de continuidad, se observa una tendencia a incrementar, lo que evidencia que cada vez los eventos de sequía serán más prolongados. Este comportamiento es similar en cada Municipio, pero es más relevante en el Municipio de Calacoto.

Con base a la serie histórica y el cálculo de probabilidad de ocurrencia, se pudo evidenciar la afectación producida por las condiciones deficitarias con los datos proporcionados por el Observatorio Nacional de Desastres del VIDEI en los Municipios de Calacoto y Sica Sica. Esta comparación permitió determinar que en el Municipio de Achacachi la afectación es mínima. Finalmente, si bien se identificaron varios eventos de sequía con los diferentes criterios, los impactos son bajos y esto puede atribuirse a que en el Municipio se cuenta con varios sistemas de riego, que satisfacen el requerimiento hídrico de los cultivos.

9. Bibliografía

- Beran, M. A., & Rodier, J. A. (1985). Hydrological aspects of drought. UNESCO, 8(2), 195–195. <https://doi.org/10.1002/esp.3290080213>
- Corredor, L., Cárdenas, E., & Ordóñez, J. (2011). Aplicación de la metodología corine land cover en la determinación de los cambios de cobertura en el parque natural los flamencos application of the corine land cover methodology to determine the environ changes in the natural park los flamencos. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 21–2, 153–167.
- Gobierno Autónomo Municipal de Calacoto. (2016). Plan Territorial de Desarrollo Integral del Gobierno Autónomo Municipal de Calacoto 2016-2020. 10.
- Gobierno Autónomo Municipal de Sica Sica. (2015). Plan Territorial de Desarrollo Integral de Sica Sica 2015-2020. 345.
- Mapplecroft. (2014). Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe. CAF, 212.
- Mendoza, M. A. M. (2021). Información de análisis de amenaza de sequía desde el enfoque técnico/científico y la percepción local.
- “Programa Piloto de Resiliencia Climática.” (2020). PRODUCTO 2 : “ Reporte de avance 1 : Marco metodológico y estructura de la base de datos establecida para el desarrollo del SMATS- MHA .” www.cimafoundation.org
- “UCL-Geomatics.” (2017). Land Cover CCI Product User Guide. LAND_COVER_CCI Partnership. http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESAC-CI-LC-Ph2-PUGv2_2.0.pdf



Agencias Implementadoras del Sector Gestión de Riesgos



Ejecutado por

