



EDITORIAL
NAVEGANTE



TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

VARIABLES CLIMÁTICAS MEDULARES EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Cirilo Mario Caira Mamani
David Juan Ramos Huallpartupa
Uriel Rigoberto Quispe Quezada



Cirilo Mario Caira Mamani

Correo: ccairamario7@gmail.com

Perfil: Dr. En Ciencia tecnología y medio ambiente, Dr. En ciencias de la Educación; Maestro en Docencia y investigación universitaria, Magister en Ing. Ambiental; Maestría En Riego y Drenaje; Ing. Agrónomo; Lic Físico Matemática; Ing. Civil; Director en Recursos Hídricos y suelo; Docente Investigador en RENACYT; Docente principal en la Universidad Nacional de Jaén.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5391-9035>

Afiliación: Universidad Nacional de Jaén.

David Juan Ramos Huallpartupa

Correo: davisrh22@gmail.com

Perfil: Ingeniero Agroindustrial, con Maestría en Postcosecha y Marketing, Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente; Docente en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Docente en la Universidad Nacional José María Arguedas; Consultor en investigación y desarrollo agroindustrial rural, postcosecha y marketing, ingeniería, procesos, conservación y almacenamiento de productos agroindustriales y cuidado del medio ambiente.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9223-2375>

Afiliación: Universidad Nacional José María Arguedas.

Uriel Rigoberto Quispe Quezada

Correo: uquispe@unah.edu.pe

Perfil: Doctor en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible (UNCP). Magíster en Administración Estratégica de Empresas, MBA (PUCP-Centrum Business School). Maestro en Ciencias de la Ingeniería: Mención en Agronegocios y Comercio Internacional (UNH). Ingeniero Agrónomo (UNAP). Coordinador del Grupo de Investigación en Ciencias Agrícolas, Agronegocios y Sostenibilidad-GICAAS. Actual Docente Investigador RENACYT, en la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ayacucho- Perú.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7956-1000>

Afiliación: Universidad Nacional Autónoma de Huanta.

TEMPERATURA Y
PRECIPITACIÓN:
VARIABLES CLIMÁTICAS MEDULARES
EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Cirilo Mario Caira Mamani

David Juan Ramos Huallpartupa

Uriel Rigoberto Quispe Quezada



EDITORIAL
NAVEGANTE

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego de pares académicos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



ISBN: 978-628-7623-84-2

© Cirilo Mario Caira Mamani

© David Juan Ramos Huallpartupa

© Uriel Rigoberto Quispe Quezada

2024

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11073143>

©Editorial Navegante

www.editorialnavegante.com

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Diseño de carátula y composición: Editorial Navegante

Edición electrónica: Editorial Navegante

Editado en Colombia/ *Published in Colombia*

TEMPERATURA Y
PRECIPITACIÓN:
VARIABLES CLIMÁTICAS MEDULARES
EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Cirilo Mario Caira Mamani

David Juan Ramos Huallpartupa

Uriel Rigoberto Quispe Quezada



EDITORIAL
NAVEGANTE

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
INTRODUCCIÓN	14

CAPÍTULO I

LA AGRICULTURA DE SECANO.....	17
1.1. Aspectos generales de la agricultura	18
1.2. Tipos de agricultura.....	23
1.3. La agricultura de secano en medios adversos.....	27
1.3.1. En medios tórridos.....	28
1.3.2. En medios gélidos.....	30

CAPÍTULO II

LAS VARIABLES CLIMÁTICAS (PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA) Y SU INFLUENCIA EN LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	32
2.1 Definición de clima para entender los fenómenos atmosféricos: diferencia con el tiempo meteorológico.....	33
2.2. La climatología para entender el comportamiento del clima	34

2.3 Acerca de la meteorología para entender las variables climáticas	35
2.4 Elementos del clima y su relación con la agricultura.....	36
2.4.1 Temperatura.....	36
3.4.2 Precipitación.....	37
2.4.3 Humedad.....	38
2.4.4 Radiación solar	39
2.4.5 Vientos	40
2.4.6 Presión atmosférica.....	41

CAPÍTULO III

LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	42
--	----

3.1 Definición del cambio climático	43
3.2 Consecuencias en la naturaleza.....	47
3.3 Impacto en las actividades básicas: la agricultura.....	49
3.4 Intentos de disminución de los efectos	52

CAPÍTULO IV

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS.....	53
---	----

4.1. Objetivos.....	54
4.1.1. Objetivos generales	54
4.1.2. Objetivos específicos.....	54

4.2. Hipótesis	55
4.2.1. Hipótesis general.....	55
4.2.2. Hipótesis específica	55
4.3. Tipo de investigación	55
4.4. Sistema de variables	56
4.5. Población y muestra.....	57
4.5.1. Población.....	57
4.5.2. Muestra	57
4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	57
4.6.1. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos.....	57
4.7. Validez y confiabilidad.....	60
4.8. Análisis e interpretación de los resultados	68
4.9. Conclusiones	122
4.10 Recomendaciones	124

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES FINALES SOBRE LA AGRICULTURA Y SU CORRESPONDENCIA CON LAS VARIABLES CLIMÁTICAS (TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN) COMO PARTE DEL CALENTAMIENTO GLOBAL	125
---	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
----------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	
<i>Análisis de la variación de indicadores climáticos</i>	35
Figura 2	
<i>Incidencia de la radiación solar en la Tierra</i>	39
Figura 3	
<i>Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca Cuenca del río Coata, Puno, Perú, 2016</i>	59
Figura 4	
<i>Índices anuales de los vectores regionales de datos originales de las temperaturas máximas.....</i>	69
Figura 5	
<i>Índices anuales de los vectores regionales de datos completados de las temperaturas máximas.....</i>	69
Figura 6	
<i>Índices anuales de los vectores regionales de datos originales de las temperaturas medias</i>	71
Figura 7	
<i>Índices anuales de los vectores regionales de datos completados de las temperaturas medias</i>	71
Figura 8	
<i>Correlación de temperaturas medias anuales</i>	73
Figura 9	
<i>Datos originales y completados de las temperaturas mínimas</i>	73
Figura 10	
<i>Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales respecto al promedio</i>	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	
<i>Diferencias entre tiempo y clima</i>	33
Tabla 2	
<i>Operacionalización de las variables.....</i>	56
Tabla 3	
<i>Correlación de Temperaturas Medias Anuales.....</i>	72
Tabla 4	
<i>Resumen del análisis de tendencias de temperaturas máximas, medias y mínimas.....</i>	75
Tabla 5	
<i>Resumen del análisis de tendencias de las temperaturas mediante los test paramétricos y no paramétricos (1966-2014)</i>	77
Tabla 7	
<i>Medidas de tendencia central y variación del promedio de temperatura</i>	82
Tabla 8	
<i>Variación en las temperaturas máximas por estación</i>	83
Tabla 9	
<i>Variación en las temperaturas mínimas por estación.....</i>	84
Tabla 10	
<i>Modelo de variables predictores de temperaturas</i>	85
Tabla 11	
<i>Análisis de varianza (ANOVA^a) del cambio climático y las variables del clima.....</i>	86

Tabla 12	
<i>Análisis de Coeficientes Independientes de temperaturas frente al cambio climático</i>	87
Tabla 13	
<i>Correlaciones bivariadas del cambio climático respecto a las temperaturas.....</i>	88
Tabla 14	
<i>Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo lineal.....</i>	89
Tabla 15	
<i>Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo logarítmico.....</i>	89
Tabla 16	
<i>Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo exponencial.....</i>	90
Tabla 17	
<i>Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas según el modelo lineal.....</i>	91
Tabla 18	
<i>Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo lineal.....</i>	91
Tabla 19	
<i>Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo exponencial.....</i>	92
Tabla 20	
<i>Coeficiente de correlación (r) para cada estación – Cuenca del río Coata, Puno, Perú, 2016</i>	95
Tabla 21	
<i>Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales, 2016.....</i>	96
Tabla 22	
<i>Resumen del modelo de regresión lineal de precipitación, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2016.....</i>	99

Tabla 23	
<i>ANOVA^a de las precipitaciones pluviales, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994- 2014.....</i>	99
Tabla 24	
<i>Análisis de coeficientes independientes, según prueba t.....</i>	100
Tabla 25	
<i>Correlaciones bivariadas del cambio climático con las variaciones de las precipitaciones pluviales en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014.....</i>	101
Tabla 26	
<i>Coeficientes de precipitación total según el modelo lineal.....</i>	102
Tabla 27	
<i>Coeficientes de precipitación total según el modelo logarítmico</i>	103
Tabla 28	
<i>Coeficientes de precipitación total según el modelo exponencial</i>	103
Tabla 29	
<i>Medidas de tendencia central y variación del rendimiento de los cultivos.....</i>	105
Tabla 30	
<i>Resumen del modelo de relación entre cultivo y clima.....</i>	106
Tabla 31	
<i>ANOVA^a de la regresión residual total para el cultivo de haba</i>	107
Tabla 32	
<i>Coeficientes no estandarizadas y tipificadas de las variables climáticas - haba.....</i>	108
Tabla 33	
<i>Correlaciones bivariadas del cultivo de haba con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014.....</i>	109
Tabla 34	
<i>Resumen del modelo del rendimiento de papa y variables climáticos.....</i>	112

Tabla 35

ANOVA^a de la regresión residual total para el cultivo de papa, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014..... **113**

Tabla 36

Coeficientes no estandarizadas y tipificadas de las variables climáticas - papa..... **114**

Tabla 37

Correlaciones bivariadas del cultivo de papa con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014..... **116**

Tabla 38

Resumen del modelo del rendimiento de quinua y variables climáticos, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014..... **117**

Tabla 39

ANOVA^a de la regresión residual total para el cultivo de quinua, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014..... **118**

Tabla 40

Coeficientes no estandarizadas y tipificadas de las variables climáticas - quinua, Cuenca Cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014..... **119**

Tabla 41

Correlaciones bivariadas del cultivo de quinua con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014..... **120**

INTRODUCCIÓN

A lo largo del siglo actual, el cambio climático ha manifestado las consecuencias con mayor intensidad en diversas y particulares zonas del mundo. Este fenómeno se atribuye principalmente al calentamiento global, que implica un aumento sostenido de la temperatura media terrestre. El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero es el principal responsable del calentamiento global, que en la mayoría de los casos son provocados por factores naturales, pero sobre todo por factores antrópicos (Hernández-Vicente, 2021). Los factores antrópicos que han desencadenado tanto el calentamiento global como el cambio climático en el sistema planetario son: la sobreexplotación de los recursos fósiles (petróleo, carbón y gas natural), el uso intensivo y a gran escala de la agricultura, la deforestación, el aumento a nivel mundial del sistema de transporte, etc.

Entonces, según Obeso y Lailolo (2021), el cambio climático tiene por causa al ser humano, pues este a través de las actividades que realiza a gran escala y de manera irresponsable a provocado cambios significativos en los elementos del clima: La temperatura atmosférica cada periodo se incrementa; las precipitaciones en general se tornan irregulares; puesto que en algunas zonas se produce un descenso, mientras que en otras se ha evidenciado un aumento; de las alteraciones en la periodicidad y la potencia de las ráfagas de y, finalmente, el aumento considerable de la radiación solar. Cada una de estas variaciones origina una multiplicidad de efectos

inmediatos a nivel meteorológico que, a su vez, repercuten a nivel ecológico, biológico, económico, social e incluso político.

El foco de atención del presente estudio se encuentra en las consecuencias producidas por el cambio climático en una actividad económica y técnica como es la agricultura. Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAAMA) (2016) la Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) afirmó que La actividad agrícola es una de las que más sufre las consecuencias del cambio climático, puesto que tiene una relación directa con determinados elementos del clima, tales como la temperatura y las precipitaciones; ya que para el cultivo de los alimentos, sea si se produce a gran escala o si, por el contrario solo se desarrolla para el autoconsumo o familiar, es necesario que existan regularidades en la temperatura y las precipitaciones.

Para el caso de los Andes de América del Sur, como muy bien lo señala Lozano-Povis et al., (2021), estas consecuencias son más notorias, puesto que las montañas son más sensibles al cambio climático, producto de su latitud y cercanía con la troposfera media. En este sentido, el calentamiento global ha comenzado a producir un aumento de la temperatura en dichas zonas, también se ha producido un derretimiento de los glaciares y una disminución de las precipitaciones, factores que perjudican de manera directa la actividad agrícola que se practica en aquellos lugares.

Entonces, si las temperaturas son excesivas o las precipitaciones escasas, habrá una disminución en la cosecha de los alimentos, lo que perjudica sobre todo a las personas que utilizan a la agricultura como una actividad economía o como un medio de autoconsumo, obligándose posiblemente a migrar a otras zonas para poder subsistir (Nicholls y Altieri, 2019).

Esta consecuencia de índole social es sumamente alarmante, puesto que para las personas de las zonas andinas la agricultura representa su actividad económica básica y de sustento. Por ello, es de vital importancia conocer el impacto y la relación que determinadas variables meteorológicas,

producto del cambio climático, vienen afectando la actividad agrícola con el propósito de adoptar medidas que permitan contrarrestar los efectos de aquellos cambios, así como generar políticas y pautas para los agricultores que les permita adaptar su práctica en beneficio de su producción y sostenimiento.

CAPÍTULO I

LA AGRICULTURA DE SECANO

La agricultura de secano, según los postulados de Constantini et al. (2020), consiste en la implementación de un conjunto de técnicas agrícolas que posibilitan el cultivo en zonas con escasez de agua, donde se dificulta el riego y por una pluviometría mínima. El término engloba igualmente, un abanico de prácticas agrícolas encaminadas a minimizar el consumo de agua y optimizar su aprovechamiento. La viabilidad del cultivo en zonas áridas está estrechamente ligada a la elección acertada del sistema de producción y en el uso del laboreo del suelo para optimizar el uso de las reservas naturales de agua.

Para garantizar la sostenibilidad de la agricultura en zonas de secano, resulta crucial implementar estrategias de riego y goteo que optimicen el uso de los almacenamientos del recurso hídrico presentes en el suelo. Así, una labranza profunda debe considerar los niveles de precipitaciones en los suelos que se realizan porque aumenta la absorción del suelo y la porosidad total. La labranza en la agricultura de secano es útil en suelos in-

clinados porque mantiene los órganos reproductores vegetativos que se desvitalizan con la exposición al calor y a las heladas (Bornare et al., 2018).

El objetivo del desarrollo del presente capítulo es describir los mecanismos mediante los cuales se genera el almacenamiento de agua de lluvia en un período determinado, debido a las condiciones gélidas que se evidencian en la zona que constituye el objeto de estudio. Con la agricultura de secano, los campos se colocan en líneas serpenteantes y se planta alrededor de los campos para protegerlos del fuerte viento. Se advierte que los campos de goteo se utilizan siempre alternativamente adaptándose a estas condiciones ambientales, satisfacen sus necesidades hídricas exclusivamente a través del agua que proviene de las precipitaciones y de la humedad almacenada en el suelo (Polk et al., 2020).

1.1. Aspectos generales de la agricultura

La agricultura, de acuerdo con los postulados históricos de Marie (2018), se inicia cuando el hombre empíricamente emplea un conjunto de técnicas aprendidas en sus experiencias cotidianas con respecto a la conexión con el entorno natural y las experiencias obtenidas a partir de la interacción con animales y plantas, con la finalidad de lograr que sean productivos. Estos procedimientos se desarrollaron de acuerdo con las condiciones geográficas y climáticas de los lugares en los que se asentaron los primeros grupos humanos. La diversidad cultural y biológica del mundo se debe en gran parte a las once regiones independientes que sirvieron como centros de origen, cada una con sus propias características y aportes únicos en el uso y aprovechamiento del agua: Mesoamérica, Sudamérica, Mediterráneo, Medio Oriente, Cuerno de África, Asia Central, Asia del Sur, Sudeste Asiático y Asia Oriental.

Los granos silvestres se cultivan sistemáticamente durante el período Neolítico. En el año 9.500 a.C. se cultivan en la región histórica del Levante y en regiones balcánicas ocho semillas, las cuales originaron: trigo emmer, trigo einkorn, cebada mondada, guisantes, lentejas, veza amarga,

garbanzos y lino (Kreuz y Marinova, 2017). En la antigua China, el almacenamiento de semillas de arroz comenzó en el año 6.200 a.C., y su cultivo más antiguo se remonta al 5.700 a.C. Le siguieron las judías mungo, la soja y el azuki. (Ayres, 2017; He et al., 2021). Es importante mencionar que el sorgo se originó en la región del Sahel en África, donde se domesticó en el 3.000 a.C., convirtiéndose en uno de los cereales más antiguos (Winchel et al., 2018).

El sur del continente americano presenció el surgimiento de las prácticas agrícolas alrededor del 9000 a.C., cuando grupos humanos iniciaron el cultivo de una variedad de plantas, que se trataron empíricamente para que fuesen convertidas en cultivos menores de subsistencia. En la cordillera de los Andes, entre el 8000 y el 5000 a.C., se inició la domesticación de la patata, junto con otros productos importantes como las judías, los tomates, los cacahuets, la coca, las llamas, las alpacas y los conejillos de indias (Schlegel, 2017).

Alrededor del año 7000 a.C., la yuca, un tubérculo comestible, fue domesticada en la región amazónica. Por su parte, el maíz, conocido científicamente como *Zea mays*, arribó a Sudamérica desde Mesoamérica, donde su ancestro silvestre, el teosinte, era cultivado desde el 7000 a.C. A través de la selección y manipulación genética, el teosinte se transformó en el maíz domesticado que conocemos hoy en día.

El algodón, una fibra esencial para la elaboración de textiles, tiene sus orígenes en el viejo Perú, donde fue domesticado en el año 4200 a.C. En Mesoamérica se domesticó otra especie de algodón, que se convirtió en la más significativa para la manufactura textil moderna (Duke, 2017).

Alrededor del 7000 a.C., un hito importante en la alimentación se produjo en Nueva Guinea, donde se domesticaron la caña de azúcar y algunos tubérculos. Un poco más al este, en Papúa Nueva Guinea, también en ese entonces, se inició el cultivo del plátano. (Denham, 2017; Tromp et al., 2020), debido a los niveles de precipitación propios de los entornos

tropicales, los cuales favorecen el sembrado de estos vegetales. Budj Bim alberga las trampas para anguilas más antiguas de Australia, que datan del 6.600 a.C., y brindan evidencia del desarrollo temprano de las prácticas agrícolas en la región. y la implantación de varios cultivos como el ñame y el plátano (Lieberman y Gordon, 2018).

Durante el milenio XXXIV a.C., en el contexto de la Edad de Bronce, la práctica agrícola experimentó un auge significativo en diversas regiones del mundo. Civilizaciones como la Sumeria en Mesopotamia, el antiguo Egipto, la cultura del Valle del Indo en el subcontinente indio, la antigua China y la antigua Grecia se vieron particularmente influenciadas por este desarrollo, incorporando la agricultura como una actividad fundamental para su subsistencia y progreso. En la época del Hierro y la antigüedad clásica, la expansión romana con su forma de gobierno por el Mediterráneo y Europa occidental (tanto durante la República como el Imperio) se basó en las estructuras jerárquicas agrícolas preexistentes. A su vez, los romanos implantaron un sistema señorial que sentó las bases para la agricultura medieval (Isaac, 2017).

Un cambio radical se apoderó de la agricultura en la Europa e Islam medievales, impulsado por avances en las técnicas agrícolas y la adopción de nuevas especies vegetales para su cultivo. Gracias a la adaptación a entornos difíciles durante miles de años, Al-Andalus introdujo en Europa cultivos como el azúcar, el algodón, el arroz, y arboledas frutales como la naranja (Azam-Ali, 2021).

Entre 1492 y 1504, los viajes de Cristóbal Colón estimularon una permuta masiva de productos agrícolas entre Europa y América. Desde América llegaron a Europa cultivos como el maíz, las papas, los tomates, los boniatos y la mandioca. En sentido contrario, Europa introdujo en América el trigo, la cebada, el arroz y los nabos, además de animales como caballos, vacas, ovejas y cabras (Toffano, 2021).

Las innovaciones tecnológicas, como el riego, la rotación de cultivos y los fertilizantes, tienen sus antecedentes en la revolución neolítica. Estos procedimientos se continuaron desarrollando durante la Edad Media y los períodos absolutistas de los siglos XV y XVIII, pero se sofisticaron mucho más en los últimos 200 años, como consecuencia histórica del período de las revoluciones agrícola e industrial británicas (Halvorsen y Hjelle, 2017; Gates, 2017). En los siglos XX y XXI, la agricultura de los países desarrollados y, en niveles inferiores al primer mundo, la de los países en desarrollo, ha experimentado un gran aumento de la productividad gracias a la sustitución del trabajo humano por la mecanización —drones, robots, granjas verticales, inteligencia artificial— y al sostén de los fertilizantes sintéticos, los pesticidas y la cría selectiva (Despoudi et al., 2021).

El proceso Haber-Bosch marcó un hito en la historia de la práctica agrícola al permitir la síntesis de fertilizante de nitrato de amonio a gran escala. Este fertilizante resultó ser clave para el aumento en los rendimientos de los cultivos. Por otro lado, el proceso Haber-Bosch permitió la síntesis del fertilizante de nitrato de amonio a escala industrial, lo cual aumentó el nivel de rendimiento y producción de los cultivos.

La agricultura moderna ha generado una serie de desafíos sociales, políticos y ambientales que requieren atención urgente. Entre estos desafíos se encuentran: Satisfacer las necesidades de una población en constante; La contaminación de las fuentes de agua, lo que pone en riesgo la salud humana y el ecosistema; La producción de biocombustibles; El uso de organismos modificados genéticamente (OMG); Las barreras comerciales, los aranceles y las subvenciones agrícolas. Como respuesta, la agricultura ecológica se desarrolló en el siglo XX como alternativa al uso de pesticidas sintéticos (Vieira et al., 2021).

En relación a lo económico, la agricultura es una actividad que implica la creación y preservación de vegetales y, también de animales, útiles para el consumo humano. Esto implica un aumento en el nivel de productividad tanto en los niveles domésticos e industriales. Los fertilizantes y pesticidas

sintéticos fueron empleados de manera no regulada, lo cual provocó un aumento de los niveles escalares de contaminación del agua y a conflictos sociales entre el Estado y las poblaciones agropecuarias. La agricultura convencional enfrenta una creciente oposición debido a sus consecuencias medioambientales, dando lugar a un cambio hacia sistemas agrícolas ecológicos, regenerativos y sostenibles, los cuales son más amigables con el medio ambiente. (Andreola et al., 2020).

La creciente popularidad de la agricultura ecológica ha revitalizado la investigación en métodos agrícolas alternativos, respaldados por la economía y la biotecnología. Entre estas técnicas se encuentran la gestión integrada de plagas, la cría selectiva y la agricultura de ambiente controlado.

Una de las innovaciones más destacadas de la época actual es la producción de alimentos mediante la modificación genética, lo cual junto a otros diversos factores confluyen para poner en jaque la seguridad alimentaria en distintas regiones, entre ellos se encuentran:

- a. La expansión de tierras para los biocombustibles;
- b. El desarrollo urbano e industrial, que consume cada vez más tierras tradicionalmente utilizadas para la agricultura;
- c. El alza en los costos de transporte, lo que dificulta el acceso a los alimentos, especialmente en zonas vulnerables;
- d. Los embates del cambio climático como las sequías e inundaciones y otros eventos extremos impactan negativamente la producción agrícola;
- e. El crecimiento económico y poblacional de Asia y el Pacífico, incrementa la presión sobre los recursos alimenticios (Kostas et al., 2021).

La agricultura es importante en el énfasis en programas de nutrición, puesto que las poblaciones dependen de la agricultura para mantener en

niveles óptimos su estado de salud. Por otra parte, para lograr ese objetivo, se deben eliminar las desigualdades en la agricultura mediante el aumento de la productividad agrícola en los cultivos de secano y los recursos. Así, de acuerdo con las perspectivas geográficas, demográficas y económicas de Dev (2019), se aumenta la productividad y los ingresos de los agricultores pequeños. Generalmente, el grueso de la población rural pobre, así como de los pequeños agricultores marginales, vive en esas zonas de escasos recursos, donde también se concentra la desnutrición. La evolución de los patrones de consumo hacia los productos no cerealistas es una buena oportunidad para que los pequeños agricultores diversifiquen sus cultivos con el fin de mejorar tanto los ingresos como la nutrición.

1.2. Tipos de agricultura

De acuerdo con el nivel de producción relativo al mercado, la agricultura se clasifica en dos tipos: de subsistencia e industrial. La agricultura de subsistencia, de acuerdo con Dodd et al. (2020), Este sistema agrícola se caracteriza por la producción de alimentos a pequeña escala, principalmente para el consumo familiar, a cargo de agricultores que gestionan pequeñas extensiones de tierra. La prioridad en la planificación de la siembra es asegurar el sustento familiar para el próximo año, relegando los precios del mercado. Su estilo de vida se caracteriza por la autosuficiencia, ya que cultivan lo que comen, erigen sus propios hogares y minimizan las compras en el mercado.

La agricultura industrializada representa un sistema moderno de producción agrícola que se asemeja a una línea de ensamblaje. Se basa en la estandarización y mecanización de procesos para el cultivo de plantas y la crianza de animales. Este enfoque prioriza la eficiencia y la maximización de la producción, utilizando grandes extensiones de tierra, maquinaria especializada y altos niveles de insumos químicos. Los productos obtenidos, como cultivos, huevos y leche, se destinan principalmente a abastecer a grandes cadenas de supermercados y mercados de consumo masivo.

Para Gerhardt et al. (2020), la agricultura industrial se caracteriza por su enfoque en la producción masiva de alimentos. Para lograrlo, se vale de diversas técnicas que podemos agrupar en cinco categorías principales, para un total de siete:

1. Innovación tecnológica, en cuanto a maquinaria y métodos agrícolas;
2. Modificación genética de las semillas;
3. Búsqueda de la eficiencia;
4. Economías de escala;
5. Creación de nuevos mercados;
6. Protección de la propiedad intelectual y de la patentes genéticas, se registran y protegen las variedades de semillas modificadas genéticamente para evitar la competencia y asegurar las ganancias de las empresas;
7. Comercio global e Intercambio internacional de los productos agrícolas.

La prevalencia de la agricultura industrial, caracterizada por sistemas de producción a gran escala, es notable en países desarrollados y su implementación se acelera en todo el mundo. Prueba de ello es que la mayoría de la carne, productos lácteos, huevos, frutas y verduras disponibles en los supermercados provienen de este tipo de prácticas agrícolas.

De acuerdo con el nivel de producción masificada y su influencia en la huella ecológica, la agricultura se clasifica en: de subsistencia e industrial. La producción a gran escala o agricultura intensiva, se caracteriza por el cultivo de plantas y la crianza de animales en menor espacio, buscando maximizar la producción por cada metro cuadrado. Para alcanzar esta alta productividad, se utilizan grandes cantidades de fertilizantes, pesticidas y agua, con el fin de satisfacer la alta demanda de alimentos a nivel global.

La característica principal de este sistema agrícola es la baja frecuencia de barbecho, lo que implica un uso más intensivo de la tierra. Además, se observa un mayor empleo de insumos, tanto de capital como de mano laboradora, lo que se traduce en un aumento significativo del rendimiento de los cultivos por unidad de superficie. La agricultura industrial busca optimizar la producción de alimentos y otros productos agrícolas a través de la estandarización y la tecnificación. Si bien este enfoque ha logrado aumentar significativamente los rendimientos, también ha generado controversia debido a sus impactos ambientales y sociales, entre las técnicas empleadas se encuentran la siembra de múltiples cultivos por año, la reducción de la frecuencia de los años de barbecho y la mejora de los cultivos.

En los estudios de Zinda y Kapoor (2019), se observa que la agricultura industrial se distingue por la implementación de estrategias a gran escala, como la mecanización de procesos, el uso extensivo de productos químicos (fertilizantes, pesticidas), la cría intensiva de ganado y la manipulación genética de cultivos. La ganadería extensiva, principalmente ovina y bovina, se desarrolla en áreas de baja productividad agrícola, complementándose con el cultivo a gran escala de cereales como trigo y cebada, oleaginosas y otros cultivos de grano, en zonas rurales. En esta zona, a causa de la avanzada edad y la escasa fertilidad de los suelos, la productividad por hectárea es bastante baja. Sin embargo, la planicie del terreno y la gran extensión de las fincas permiten obtener altos rendimientos por unidad de trabajo invertida.

La agricultura extensiva se desarrolla en zonas de latitudes medias en gran parte de los continentes, al igual que en territorios desérticos donde la disponibilidad de agua para el cultivo es limitada. Debido a su naturaleza, la agricultura extensiva demanda una menor cantidad de lluvia en comparación con la agricultura intensiva. Las extensiones de tierra suelen ser amplias en relación con la cantidad de trabajadores y la inversión económica destinada a su explotación.

De acuerdo con las técnicas relacionadas con los fundamentos ecológicos, la agricultura se clasifica en los tipos: orgánica y natural. En el ámbito agrícola, la agricultura orgánica se distingue por ser un sistema de producción que se basa en el uso de fertilizantes de fuentes orgánicas, tales como el estiércol compostado, el abono verde y la harina de huesos. A su vez, pone especial énfasis en la implementación de técnicas agrícolas ancestrales como la rotación de cultivos y la siembra complementaria. Esta metodología agrícola surgió a principios del siglo XX como una respuesta a los cambios vertiginosos que se estaban produciendo en las prácticas agrícolas de la época. En aquel entonces, se buscaba una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, en contraposición a los métodos intensivos que empezaban a dominar el sector (Singh et al., 2019).

En la agricultura ecológica, los patrones orgánicos se encuentran diseñados con el propósito de facilitar el empleo de sustancias de origen natural, mientras que, por el contrario, restringen o prohíben de manera estricta el uso de compuestos sintéticos como la piretrina y la rotenona. Además, los fertilizantes sintéticos y los plaguicidas, en general, están prohibidos dentro de este marco regulatorio (Singh et al., 2019).

Cuando la agricultura ecológica está centrada en la ausencia de insumos y equipos manufacturados, refiere una agricultura natural que se asocia a su vez con la agricultura de fertilidad, orgánica, sostenible, agroecología, agrosilvicultura, ecoagricultura y permacultura. En este sistema, la biodiversidad natural de cada área cultivada juega un papel fundamental. La presencia de diversos organismos vivos, tanto vegetales como animales, enriquece la complejidad del ecosistema y favorece la prosperidad de las plantas alimenticias (Sinclair et al., 2019).

La aplicación de agua controlada a la tierra, denominada riego, es una práctica agrícola fundamental para el desarrollo de cultivos, plantas de jardín y césped. El riego ha constituido un elemento fundamental para la agricultura durante más de 5 milenios. Es importante destacar que su desarrollo ha sido llevado a cabo de forma autónoma por diversas culturas

alrededor del planeta. Esta práctica ancestral dentro del sistema agrícola se usa igualmente para proteger las siembras de las heladas, para eliminar la maleza sobre todo en los cultivos de cereales, permitiendo que los suelos se fortalezcan. En cuanto al trato con los animales, a través de la técnicas de riego se refresca el cuerpo de los animales, se refrigeran, se elimina el polvo y se descartan las aguas servidas (Zinkernagel et al., 2020).

La agricultura de secano, también conocida como agricultura de temporal, engloba un conjunto de técnicas agrícolas específicas para el cultivo de plantas sin necesidad de riego artificial. Estas prácticas se encuentran estrechamente relacionadas con las zonas áridas del planeta, secas, y poco recurso hídrico, las cuales se caracterizan por presentar una estación húmeda y fría. Durante este período, el suelo se recarga con la mayor parte del agua que los cultivos recibirán antes de la cosecha y de la temporada cálida y seca. (Kader et al., 2019).

1.3. La agricultura de secano en medios adversos

La agricultura de secano en ambientes desafiantes exige a los profesionales de la agronomía y la genética la elaboración de un conjunto de técnicas y prácticas de manejo, empleadas por los agricultores, que permitan una adaptación continua, durante el ciclo de cultivo, a la variabilidad en la disponibilidad de humedad.

Por años consecutivos, en las zonas rurales o con poca presencia de desarrollo, las crisis económicas y las recurrentes pérdidas de cosechas, hace necesario la concientización en los agricultores, de la práctica de la agricultura de secano. La ardua labor de un agricultor de secano exige un manejo meticuloso de la humedad del suelo para garantizar el desarrollo del cultivo, junto con una gestión financiera proactiva que permita disminuir las mermas económicas en años de menor rendimiento. En la agricultura de secano, resulta fundamental realizar una evaluación continua de la humedad del suelo durante cada ciclo de cultivo, a fin de planificar las actividades agrícolas de manera adecuada (Shahid et al., 2018).

En base a su experiencia práctica, los agricultores de secano han aprendido que para alcanzar el éxito económico, es fundamental ser proactivos y capitalizar al máximo los años de abundancia, con el objetivo de compensar los períodos de sequía, la agricultura de secano, al depender únicamente de las lluvias, queda expuesta a la erosión eólica provocada por tormentas de polvo, especialmente cuando se emplean prácticas agrícolas inadecuadas o cuando estas tormentas ocurren en momentos críticos para los cultivos. En la rotación de cultivos, se incluye un período de barbecho por la necesidad de mantener la salud del suelo. Sin embargo, esto implicaba que la tierra no siempre podía estar protegida por un cultivo de cobertura, el cual, en otras circunstancias, brindaría resguardo contra la erosión (Shankar et al., 2019).

Muchas son las frutas, legumbres, cereales y vegetales cuyos cultivos aprovechan el agua de los periodos de precipitaciones que queda resguardada en el subsuelo y se convierten en siembras o cultivos secanos, que no se encuentran bajo el amparo de las temporadas de inviernos, entre estas se cuentan: uvas, sandías, naranjas, mandarinas, limón, tomates, girasol, calabazas, almendras, trigo, cebada, maíz, avena, centeno, aceitunas, judías y otros (Araya et al., 2019).

La agricultura de las zonas americanas, específicamente la que se encuentran al sur y al oeste han de subsistir por milenios con épocas de lluvias de menos de 250 milímetros, las tribus asentadas en dichos territorios acoplaron sus cultivos al método secano, igualmente la elección de ciertos tipos de cultivos a las estaciones donde ellos pudieran proveerse de este vital líquido (Squires, 2018).

1.3.1. En medios tórridos

El desarrollo de la agricultura de secano en medios tórridos se caracteriza por la baja productividad primaria, también se perciben a menudo como carentes de fuentes hídricas naturales que se asocian a los paisajes más verdes. Los estudios sobre preferencias paisajísticas muestran que gene-

ralmente las personas eligen los entornos verdes y frondosos con fuentes de agua en el panorama. En cambio, los desiertos ocupan un lugar relativamente bajo en las preferencias por los paisajes naturales. Se ha comprobado que tanto la preferencia como la tranquilidad se valoran menos en los desiertos que en los campos, los bosques y los grandes paisajes acuáticos (Williams y Adamson, 2021).

Los suelos tórridos, desde una perspectiva de la biotecnología, son percibidos por los científicos como oportunidades de desarrollo sostenible y de potencial ingente para la agricultura intensiva. Así, las desventajas del desierto, como los elevados niveles de radiación solar y calor, pueden convertirse en ventajas, ya que hacen de los desiertos el lugar perfecto para la producción de energía alternativa, el cultivo de algas y ciertas formas de acuicultura. Safriel (2009) denomina que el potencial desarrollado de manera intensiva, en Israel y en la zona occidental de China, como mecanismos biológicos alternativos, y que explicitan una dependencia decreciente de la productividad biológica natural de la zona.

Las zonas tórridas se describen según los criterios de pertinencia de sembríos y de cultivos con el apoyo de los estudios geográficos realizados mediante evaluaciones del cambio climático. El acrecentamiento de la inestabilidad de las precipitaciones a través de una incrementada continuidad de acontecimientos extremos, es indicador de la necesidad de creación de tecnologías como el goteo por drenaje. Sin embargo, los efectos de la variación interanual de la precipitación per se sobre el funcionamiento de los ecosistemas también influye en el desenvolvimiento de los cultivos. Estos procedimientos se fructifican cuando —según Gherardi y Sala (2019)— se generan precipitaciones cóncavas hacia arriba, se modifica la repartición del agua en el perfil del suelo, y se discuten las experiencias en países pioneros en esta tecnología.

1.3.2. En medios gélidos

Aproximadamente una quinta parte de la tierra firme del mundo está ocupada por entornos fríos, como las montañas y las tundras, ubicada a más de 1.000 metros de altura. Estos territorios constituyen el sustento directo a unos 823 millones de seres humanos que habitan en franjas de montaña en los países en desarrollo (Swiderska et al., 2018). Los ecosistemas de montaña proporcionan bienes y servicios ecosistémicos esenciales, como agua, energía y productos forestales y agrícolas, tanto para los habitantes de las montañas como para las poblaciones situadas aguas abajo. Se calcula que proporcionan entre el 60 % y el 80 % del agua dulce del mundo, abasteciendo a las principales ciudades no sólo de las zonas de montaña, sino también de las tierras bajas, a menudo situadas a gran distancia.

La agricultura en los espacios gélidos, por no ser una zona altamente industrializada, se realiza bajo la modalidad de secano de acuerdo con los saberes que el hombre andino maneja respecto a los peligros relacionados como las heladas mediante estrategias de afrontamiento y gestión de riesgos basadas en el capital adaptativo disponible para ellos. Es crucial considerar los factores climáticos estresantes que se han manifestado durante las últimas décadas para abordar los retos que conlleva la capacidad de adaptación. Para mantenerse a la vanguardia de los cambios en las condiciones externas, es fundamental que el ritmo de adaptación sea lo suficientemente rápido como para responder a estos factores.

Debido a los crecientes impactos del cambio climático, se ha intensificado la necesidad de que los responsables de la toma de decisiones y las políticas públicas recurran a la comunidad científica para profundizar en la investigación de sus efectos y desarrollar estrategias de adaptación viables a nivel local y regional (Vidal et al., 2017).

Los territorios de pastizales apropiados para una agricultura de secano en las zonas del Altiplano y de los andes chilenos, según Castellaro et al. (2021), es apropiada para la agricultura extensiva que proporciona medios

económicos favorables a las familias vulnerables, pero evidencia dificultades en la industrialización. Respecto del contexto puneño, analizable en el presente trabajo de investigación el Gobierno Regional de Puno (2008), determinó que el 94.56 % de las tierras agrícolas de la región son de secano, lo cual las vuelve altamente susceptibles a los efectos del cambio climático. También se podría decir, que la situación tiene su origen en la naturaleza de estos terrenos agrícolas, caracterizados por su escasa profundidad, acidez y presencia de una capa superficial oscura y rica en materia orgánica en parte descompuesta, las zonas gélidas, a pesar de poseer un enorme potencial para el desarrollo industrial y la subsistencia de las comunidades locales, enfrentan limitaciones impuestas por la altitud y las condiciones climáticas extremas.

CAPÍTULO II

LAS VARIABLES CLIMÁTICAS (PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA) Y SU INFLUENCIA EN LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS

El continuo del medio ambiente se identifica en sus cambios climáticos y se identifica a partir de un diagnóstico histórico de los cambios climáticos. Estos son naturales y han ocurrido desde el inicio de la formación del planeta Tierra. Así, se conocen diversas etapas climáticas en la historia donde la vida humana no hubiera sido posible. En el actual periodo geológico del cuaternario, el clima es favorable para el desarrollo del ser humano y sus actividades económicas como la agricultura. Así, a lo largo de la historia económica del hombre, sus actividades han sido capaces de influenciar en el medio ambiente y, por ende, en la configuración natural del clima a tal punto de alterarlo para evidenciar impactos negativos.

Según Duque-Escobar (2016b), la desconfiguración del clima puede afectar gravemente a algunos ambientes naturales y es producido por influencia de la actividad humana que se ha desarrollado en un lugar determinado por mucho tiempo, tales como la deforestación o la minería. Aunque no

sea visible, las variables climáticas son alteradas por el hombre porque este no fue capaz de medir el impacto de sus actividades económicas a partir de cambios observables en el ambiente y en el clima. Por otra parte, Duque-Escobar (2016a) señala que la ocupación de territorios ambientales afecta a la problemática del calentamiento global, lo que conlleva a consecuencias económicas y ambientales, y precisa de medidas políticas para la protección del medio ambiente.

Por tal motivo, aunque posiblemente las consecuencias y los cambios climáticos no sean observables o sensibles, se debe analizar y se debe conocer la cadena de acciones humanas que afecta al medio ambiente en relación al clima y, por ende, al mismo humano. Así, la agricultura ha sido afectada en diversos grados por la alteración del clima: las precipitaciones y las variaciones de la temperatura están implicadas en su reestructuración, pues se ha evidenciado en el rendimiento de los productos agrícolas las consecuencias del cambio climático y el calentamiento global.

2.1 Definición de clima para entender los fenómenos atmosféricos: diferencia con el tiempo meteorológico

Tabla 1
Diferencias entre tiempo y clima

Escala	Duración (temporal)	Influencia (espacial)	Características	Ciencia	A futuro
Tiempo	Horas	Local	Cambia rápidamente	Meteorología	Pronósticos de días y meses
Clima	30 años consecutivos	Regional	Tarda años en cambiar	Climatología	Predicciones en periodos largos

Nota: Tomada de Viguera et al. (2017).

En relación a la Tabla 1, según Lozano-Rivas (2018), el clima es un intervalo de 30 años de medición estadística y analítica del tiempo meteorológico. Esto se realiza en regiones con características hidrológicas particulares en cuanto a la ubicación, la geomorfología y la interacción de otros componentes meteorológicos. Así, el clima es el producto integral de factores atmosféricos y la fluctuación dinámica de elementos físicos, bióticos, químicos y abióticos en un determinado tiempo y en un lugar geográfico específico, de tal forma que se define el carácter ambiental en relación a las actividades humanas.

Al respecto, Viguera et al. (2017) distinguen el clima con el tiempo meteorológico en relación a que este último estudia las condiciones de precipitación y temperatura en un momento específico y en un periodo corto. Los conocidos pronósticos climáticos son parte del estudio del tiempo meteorológico, pues esto se emplea para predecir los más recientes y próximos estados de tiempo a fin de calcular o planificar las actividades humanas.

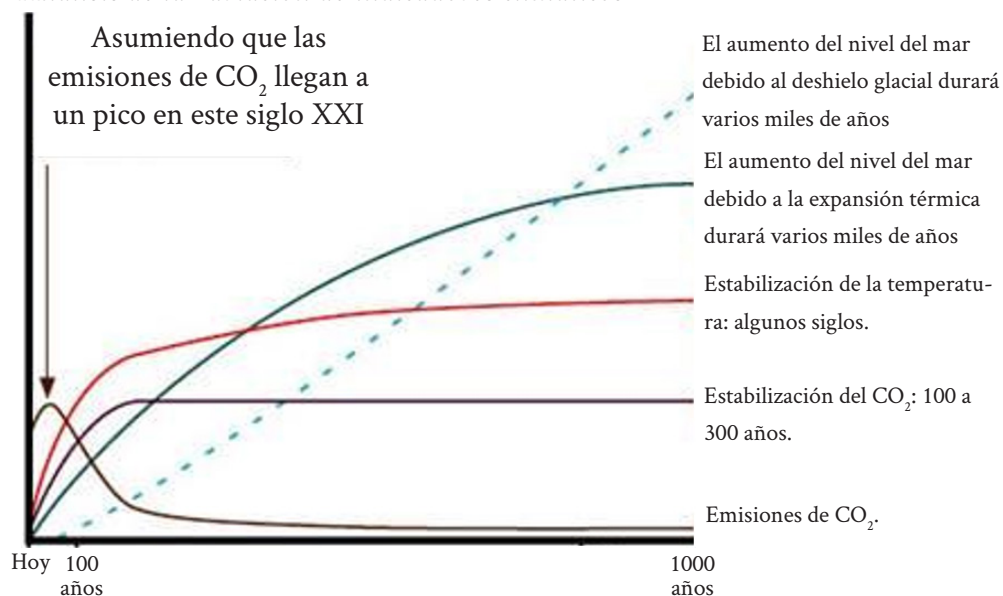
2.2. La climatología para entender el comportamiento del clima

Al respecto, la climatología es una ciencia y rama de la geografía que analiza y estudia el clima y sus variaciones diacrónicas. En esta ciencia se emplean variables y parámetros atmosféricos de la misma forma que en la meteorología, mas su fin no es pronosticar sino analizar las variaciones atmosféricas a largo plazo. Por tal, se dice que la climatología estudia los fenómenos atmosféricos y sus comportamientos oscilantes y variantes dentro de un entorno particular durante 30 años o más tiempo (Lozano-Rivas, 2018).

En la Figura 1, advierte sobre las potenciales consecuencias del aumento del dióxido de carbono en el planeta, incluyendo un incremento en la temperatura y el nivel del mar. En este caso, el estudio observa que dentro de los primeros 100 años habrá un aumento de la temperatura y del dióxido de carbono, mientras que el aumento del mar será constante por deshielo de glaciares. Es decir, estas observaciones se adentran en el com-

Figura 1

Análisis de la variación de indicadores climáticos



Nota: Tomada de Sánchez (2016).

portamiento de estudio de la climatología porque se analiza los cambios en el estado de tiempo durante un largo periodo.

2.3 Acerca de la meteorología para entender las variables climáticas

La meteorología es una rama interdisciplinaria en donde trabajan conjuntamente la física atmosférica y la geografía. Se encarga de estudiar el tiempo atmosférico, sus medios, los fenómenos y las leyes. Respecto al tiempo meteorológico o estado del tiempo, este se describe a partir de las características atmosféricas de un lugar en un momento específico: se analiza variables climáticas como la humedad, la temperatura, las precipitaciones, el viento, la presión, entre otras. Así, la meteorología estudia un tiempo y momento actual e inmediato para predecir las futuras interacciones entre las variables dentro de la troposfera (Lozano-Rivas, 2018).

Al respecto, Zúñiga y Crespo (2021) explican que la meteorología es una ciencia que estudia la atmósfera y los meteoros (fenómenos atmosféricos) como los vientos, las lluvias, la temperatura, la presión del aire, la humedad, entre otros. A diferencia de la climatología, la meteorología estudia los mismos elementos del clima, pero dentro de un lapso corto para fines de pronósticos inmediatos. Según Oldani (2020), en la atmósfera ocurre todo tipo de fenómeno meteorológico que se observa dentro de la capa gaseosa que recubre la Tierra. Así, cada planeta posee sus propias características en relación a la atmósfera y, por lo tanto, el impacto meteorológico es distinto en cada planeta. En el caso de la Tierra, la atmósfera es única hasta ahora porque se produce el desarrollo de la vida.

2.4 Elementos del clima y su relación con la agricultura

El estudio del clima es complejo porque consiste en el análisis de múltiples elementos climatológicos. Además, el estudio del clima también observa la interacción y la relación entre las variables climatológicas porque estas no actúan independientemente, sino que normalmente se analiza un comportamiento relacionado o consecuente entre la temperatura, las lluvias, la presión, la presencia de nubes o nubosidad, etc. Por lo tanto, resulta importante conocer aquellos elementos del clima y su relación con la agricultura y sus cultivos.

2.4.1 Temperatura

A diferencia del calor, que es una energía transferida entre cuerpos, la temperatura es una magnitud ligada a las moléculas de un cuerpo y su estado de agitación, es decir, la cantidad de energía cinética en las moléculas. Mientras que el calor se mide en julios o Juls, la temperatura se mide en grados, donde el estado térmico determina el grado de excitación de las moléculas en grados que varían según el sistema de medición en cada región del mundo. En la meteorología, la temperatura es medida por mínima y máxima para encontrar sus extremos o límites en un periodo particular (Oldani, 2020).

En relación a la agricultura, Esperbent (2017) señala que las variaciones de la temperatura global poseen una tendencia creciente debido a la intensificación de las actividades humanas. Estas variaciones de la temperatura han afectado a la estabilidad de los fenómenos atmosféricos como las lluvias y la radiación solar, las cuales son más intensas en cada año progresivo. Así, estos cambios en la temperatura afectan directamente a la agricultura y a los cultivos, por ejemplo, el maíz y su producción porque su cultivación precisa una temperatura ambiental regional determinada, la cual se está alterando por el aumento de la temperatura global. No obstante, las altas temperaturas no son el único problema que afectan a los cultivos, ya que en Francisco (2017) se observa que las bajas temperaturas (heladas) provocadas por el cambio climático también incide en la agricultura de cultivos como la guayaba, el mango y el noni.

3.4.2 Precipitación

La precipitación es el fenómeno meteorológico caracterizado por la caída de agua desde las altas capas de la atmósfera. El agua puede encontrarse en distintos estados: líquido (lluvia) o sólido (granizo, nieve). Técnicamente, la precipitación es un elemento hidrometeorológico con trayectoria de descenso hacia la superficie terrestre. En relación a la agricultura, las precipitaciones son importantes para el crecimiento de los cultivos en zonas donde no exista recursos hídricos naturales como lagos o ríos.

En relación a los cambios climáticos, las precipitaciones pueden ser escasas o abundantes. En caso de ser escasas, López y Pantoja (2021) describen a las épocas de sequía como un peligro para zonas geográficas donde se desarrolla la agricultura porque todo cultivo precisa de agua para poder desarrollarse y, por ende, para ser consumidos por el ser humano. Estas variaciones de la presencia de precipitación se relacionan con los cambios de las temperaturas globales, ya que las lluvias se deben a la presencia de nubes cargadas de agua que se trasladan. Según Morales-Casco y Zúñiga-González (2016), las precipitaciones en exceso también suponen un grave problema para la agricultura porque se observa periodos de inunda-

ciones que afecta a los cultivos, además de los estreses hídricos en épocas de sequía. Por ejemplo, en González et al. (2016), se observa que la productividad en el cultivo de arroz se corresponde a buenos ciclos de lluvias; por lo tanto, la presencia correcta de una cantidad de lluvia determinada permite y favorece a la agricultura, tal como señala Olivares et al. (2021), pues las sequías meteorológicas representan un peligro de producción económica y desarrollo social.

2.4.3 Humedad

Según Oldani (2020), la humedad es la cantidad de agua que se acumula en el aire. La forma almacenada se observa como vapor; El agua que compone el vapor de la atmósfera proviene, en gran medida, de la evaporación de los cuerpos acuáticos presentes en la superficie terrestre, principalmente los océanos, los lagos, los ríos, entre otros, incluso de las plantas y su transpiración. La humedad es invisible por su estado gaseoso, aunque es posible observarse cuando se condensa en gotas, niebla, nieve, hielo, etc. Se distingue a la humedad absoluta como la cantidad de vapor que determina cuánto de agua hay en el aire en un metro cúbico; en cambio, la humedad relativa mide la relación de la humedad máxima y absoluta antes de que el vapor se condense.

En relación con la agricultura, Galindo-Araque et al. (2017) destacan el parámetro de la humedad en la calidad de los suelos agrícolas, pues interviene directamente para obtener cultivos eficientes. Por tal, es preciso conocer los niveles óptimos de humedad en los campos agrícolas porque la cantidad de agua interna se observa en las raíces y el aire, de tal forma que los nutrientes de las plantas de cultivo filtran sus nutrientes de la materia orgánica mediante la humedad. Delgado et al. (2017) también destaca la importancia de la humedad en la agricultura, por cual debe ser medido de forma precisa para cada suelo agrícola, además de definir los meses de mayor humedad.

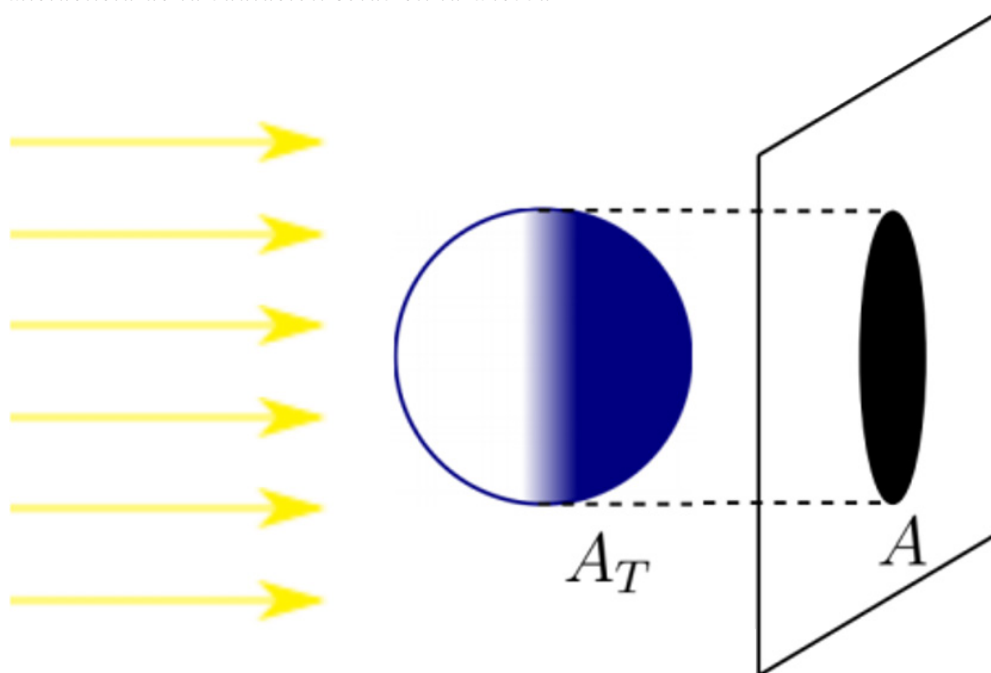
2.4.4 Radiación solar

Según Zúñiga et al. (2016), la radiación solar es toda energía que se otorga e interviene en los fenómenos meteorológicos. La cantidad de radiación solar depende de las características de la zona geográfica como la latitud, la hora, la superficie terrestre y la estación anual, de tal forma que afecta y determina las zonas climáticas en cada región por la distribución y transferencia del calor mediante los océanos y la atmósfera.

En relación a la Figura 2, la agricultura puede ser afectada por la cantidad de radiación solar que incide en los suelos de cultivo. Esperbent (2017) indica que la composición química de los maíces están sujetas a cambios como el tamaño y acumulación de proteínas de los granos por la presencia de la radiación solar.

Figura 2

Incidencia de la radiación solar en la Tierra



Nota: Tomada de Zúñiga et al. (2016).

Al respecto, Doussoulín-Escobar y Chalco-Cano (2018) señalan que la radiación solar es importante para el crecimiento óptimo de la vegetación y la capacidad de producción de biomasa vegetal en los campos agrícolas, lo que implica un cuidado eficiente del clima para no alterar los niveles de energía solar.

2.4.5 Vientos

Los vientos son movimientos y fluctuaciones del aire a través de la superficie terrestre. Los flujos de aire se producen a escalas mayores en toda la atmósfera; por tal, las masas de aire y su movimiento se relaciona con la presión atmosférica, pues se trasladan desde superficies terrestres de mayor a menor presión. Asimismo, los vientos se trasladan por las diferencias de temperatura, ya que el aumento de la temperatura traslada verticalmente hacia arriba los vientos cálidos y en el espacio inferior se ocupa los vientos fríos debido a la forma y la inclinación de la Tierra respecto al sol.

Según Taris y Limache (2017), los vientos también se trasladan por efecto del movimiento rotatorio del planeta Tierra; además, el comportamiento de los vientos se relaciona con los cambios climáticos provocados por el calentamiento global, lo que incide en el calentamiento inestable del aire en distintas regiones del mundo. Así, los vientos y su desigual comportamiento logran afectar negativamente a los cultivos y su producción, aunque no en mayor grado que otras variables climatológicas. Por ejemplo, en Nicholls y Altieri (2019) se observa que el comportamiento irregular de los vientos ocasiona graves afecciones a los cultivos y campos agrícolas como ruptura de ramas y raíces producto de vientos a grandes velocidades como las tormentas y los huracanes. Por tal, es importante cuidar la materia orgánica porque esta sostiene los nutrientes de los suelos para las plantas en caso de que ocurran lluvias o movimiento de vientos fuertes.

En relación, Cisneros-Zayas et al. (2019) señalan que las características del viento, tales como la persistencia, la dirección y la velocidad, provocan alteraciones en los sistemas de riegos agrícolas en cuanto a la calidad de la

distribución del agua. Esto da a entender que la calidad de producción de cultivos agrícolas se relaciona con la fluctuación de los vientos en cuanto a su alta velocidad.

2.4.6 Presión atmosférica

La presión es un parámetro caracterizado por el peso del gas de aire y se comprime en la superficie terrestre por cada centímetro cuadrado. Se relaciona con el peso molecular y la fuerza de atracción hacia la Tierra, pues cada molécula de aire se aglomera verticalmente, donde cada partícula de aire debe soportar el peso de la columna de moléculas y que se apoyan en una superficie terrestre. La presión atmosférica en la Tierra tiene una referencia métrica de 1.013 hPa (hectopascal) a una temperatura 0 °C al nivel del mar a una latitud de 45 grados (Oldani, 2020).

Al respecto de la agricultura, la presión atmosférica se relaciona inversamente con la altitud; esta muchas veces determina las condiciones de siembra y los cultivos óptimos para sembrarse. Según se observa en Toulkeridis et al. (2020), los agricultores conocen aquellos cultivos necesarios según la altitud en donde se decida practicar la agricultura o donde se recoja cultivos adaptados a distintas altitudes. Asimismo, la diferencia de presión atmosférico influencia en el comportamiento de los vientos; este se relaciona con el movimiento de las nubes con precipitaciones hacia otros lugares y que luego afecta a las corrientes marinas. Según Noriega (2018), algunos fenómenos como la corriente de El Niño se relaciona con el clima en cuanto a la interacción de algunas variables climáticas en relación al calentamiento global y a la inestabilidad de las presiones atmosféricas; este fenómeno provoca daños a la agricultura y, por ende, a los cultivos y su producción.

CAPÍTULO III

LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático constituye una problemática actual para la sociedad. Sus efectos, con los años, han despertado el interés y la conciencia de las actividades implicadas en su incremento. Pero, sobre todo, han hecho considerar a muchos estudiosos ecológicos la importancia de su conocimiento para mitigar sus efectos reales en los seres humanos ya que estos se deben, históricamente, a su relación con la naturaleza, una que es de tipo económico, o sea, de consumo (Hernández, 2020).

Esto último va en relación con las actividades que se sirven de la naturaleza y sus recursos para sostener la vida de esta especie particular. Si los fenómenos extraños provocados por el cambio climático afectan esas acciones y trasciende a otros ámbitos como la propia salud física y mental, entonces, se hace imperativo considerar objetivamente estas manifestaciones de la naturaleza de tal modo que se puedan hacer planes en función al mantenimiento y conservación de la vida terrestre (Cantú, 2020).

El presente capítulo aborda los tópicos del cambio climático, su definición y sus efectos. Pero, atendiendo a estos últimos en relación con una de las actividades más básicas y antiguas del ser humano que, en cierto momento de la historia, aseguraban el autoconsumo. La agricultura es una práctica milenaria cuyas condiciones están siendo alteradas por los diversos y extraños síntomas de un planeta que cada vez más presenta un alto índice de calentamiento global. En relación con ello, el presente aborda como último tópico las iniciativas mundiales para mitigar ese avance nocivo.

3.1 Definición del cambio climático

El cambio climático es un fenómeno planetario que hace referencia a los distintos cambios que ocurren en el clima, y que suceden bajo circunstancias de la variabilidad natural y las actividades humanas (Hernández, 2021). De esto se infiere que este cambio de clima no solamente es algo que está sucediendo actualmente, sino que, de manera natural, ya ocurría desde hace muchos años y eso lo prueban las distintas evidencias encontradas en las capas de los suelos; en ellos se encuentran niveles y tipos de material que corresponden a un determinado período de la historia de la Tierra.

El cambio de estado del clima, entonces, es un fenómeno que se presenta desde la formación de la tierra. Las diferentes condiciones atmosféricas y terrestres que se conocen variaban según el aumento o disminución de la temperatura climática, un elemento que permite detectar si es que hay o no un cambio ya que tal variación podía tener efectos en los estados particulares de los ecosistemas y de los animales. Por ejemplo, la detección de un ambiente frío o caluroso en un lugar que normalmente no lo era.

En ese sentido, el cambio climático también hace referencia a la alteración del equilibrio térmico de la Tierra (Lieberman y Gordon, 2021). El ejemplo de la sensación se da a nivel particular y es su detección puede ser extraña, pero a nivel general, o sea, planetario el cambio se siente brusco y su detección extraordinaria. Cuando se consultan las evidencias históricas

sobre la historia de la Tierra se pueden observar grandes cambios climáticos sucedidos, inclusive, antes de la llegada del ser humano como *homo sapiens*. Estos son conocidos como los períodos de la Tierra (Uhlig, 2020).

El planeta como tal tuvo un origen catastrófico, en donde los elementos que la componían eran inertes y las condiciones que presentaban eran extremas. En todo ese cúmulo desordenado existió un clima determinado, en el que predominaba el calor. Esto se acentuaba con el hecho de que la capa de ozono no estaba formada aún. Pero la variación de esos elementos permitió que aparezcan ciertos gases como el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), el vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2). A esto se suma el factor de la variación de la órbita terrestre que el astrofísico serbio Milutin Milutin Milanković (citado por Lieberman y Gordon, 2021) teorizó en 1920. También el factor de los vientos y el movimiento de las placas tectónicas.

Toda esta correlación de elementos terminó en el establecimiento de un clima con las condiciones necesarias para generar vida. Y esto se debe a que aquellos gases absorben el calor del mismo modo que devuelven el calor al espacio exterior. Así se generaba un equilibrio que con el tiempo formó las capas de la atmósfera, la del ozono, por ejemplo. Así, se formó un mar y los vientos comenzaron a concentrarse en grandes monzones que traían consigo grandes precipitaciones. El frío resultante se controló gracias a esta cualidad de absorción que, para el equilibrio terrestre, tuvo un efecto de invernadero, de ahí la denominación común de estos gases (Mondragón, 2021).

Estos períodos de la Tierra devinieron en períodos de calor y de frío, conocidos como las glaciaciones. Justamente ellas son manifestaciones de un cambio climático brusco. Es por ello que ciertos teóricos argumentan que esto acabó con las especies de las que hoy se sabe su existencia por los fósiles encontrados. El antecesor inmediato del ser humano cuyo nombre fue *Neanderthal* vivió durante el término de la última glaciación y con ella murió y se erigió la especie que ha dominado el planeta hasta la actualidad.

Todo ese periodo denominado como Holoceno presenta un clima planetario específico y equilibrado que es cálido y, por lo mismo, ha permitido la vida (Bonneuil y Fressoz, 2020).

El cambio climático, si bien hace referencia a las alteraciones climáticas, supone un estado climático que se mantiene equilibrado. El concepto de período designa a una unidad de tiempo, y que generalmente se determina a partir de la permanencia de algo o de su estado. En este caso, los períodos de la tierra hacen referencias al tiempo cronológico en que los estados climáticos y sus elementos eran relativamente estables. Entonces, las características planetarias por las que el cambio climático se manifiesta son la variabilidad climática y el equilibrio climático.

La variabilidad climática es el conjunto de fluctuaciones que se manifiestan en el clima durante períodos cortos de tiempo. Pero, en correspondencia entre un cambio extraordinario y el equilibrio, estas oscilaciones tienen un rango, o sea, que varía entre valores establecidos como normales. Si en caso ella los traspasa de manera recurrente se le puede entender como anomalía climática (Soriano, 2020). El equilibrio, por su parte, está emparentado con una permanencia o patrón climatológico en donde la variación, aunque variable, es regular y se mantiene dentro de esos límites. Es por estas características climatológicas, de estadística y frecuencia estable, que se puede discernir ciclos de tiempo (estacional, intraestacional, interanual e interdecadal), distribución regular y estacionalidad climática. Pero, esta es una cualidad del clima, no del tiempo atmosférico.

Ahora bien, los diversos factores naturales que han intervenido desde la formación de la tierra hasta la actualidad poseen estas cualidades de variabilidad y equilibrio. Las evidencias científicas, los períodos de la tierra, los muestran así, como parte de la naturaleza. De esto se desprende el hecho de que el efecto invernadero también es un efecto y factor natural, por ende, existe una emisión natural de sus gases (Barlasina y Copes, 2019). Así pues, es que se puede afirmar que el cambio climático tiene orígenes y factores naturales.

Sin embargo, la situación problemática actual de la Tierra, que concibe al cambio climático como un constituyente suyo, contempla un factor no natural que altera el equilibrio climático: las actividades antrópicas. Ellas son la causa de que los mismos factores naturales sean alterados de tal modo que el equilibrio que producen se rompa y así, aquello que sostienen se altera problemáticamente. El cambio climático visto desde estos factores antropogénicos es entendido en la sociedad como una problemática mundial, lo que ha llamado más la atención e interés por parte de los científicos de distintas áreas, sean de las ciencias naturales o las ciencias sociales (Hermi, 2021).

Estos factores no naturales tienen como principal, sino único efecto, la contaminación ambiental (Deléage y Hémery, 2021), que influye desde las inmediaciones urbanas hasta los ecosistemas más alejados como las tundras antárticas. Esa distancia entre la causa y los efectos se debe a la modalidad de la contaminación: la sobre-emisión de los gases de efecto invernadero (Barlasina y Copes, 2019). Su concentración en la atmósfera desborda el equilibrio que había en la tierra antes del periodo de la segunda revolución industrial en donde se intensificó el aprovechamiento de la quema de combustibles fósiles para el aprovechamiento de energía motriz en la industria.

Es evidente que la contaminación también afecta al suelo, la calidad de las aguas, recursos hídricos de los que el mismo ser humano dispone, y a los ecosistemas. Estos últimos, como parte de la naturaleza poseen en sí mismos factores que equilibran la variabilidad natural, que podía incrementarse dentro del rango normal, de estos elementos contaminantes. Existen los llamados recursos ecosistémicos de regulación cuya función está emparentada con su asimilación y control; por ejemplo, el secuestro de carbono (Dilas et al., 2020).

Así pues, los efectos naturales del cambio climático se acrecientan o incrementan de manera perjudicial respecto de la vida terrestre con el factor antropogénico. Estas alteraciones no naturales han afectado diversos re-

cursos naturales, y el hecho de que esto a largo plazo afecta al ser humano lo hace consciente y quizá decidido en combatir, reducir, las diversas causas que acrecientan o aproximan el momento brusco del cambio climático.

2.2 Consecuencias en la naturaleza

Anteriormente se indicó que de manera natural el cambio climático puede causar alteraciones drásticas en las condiciones naturales y normales del ambiente en el que se desenvuelve la vida. Prueba de ello son aquellas glaciaciones y períodos tórridos en los que se originó y se extinguió vida (Lieberman y Gordon, 2021).

El holoceno es la época del ser humano y su recorrido hasta la actualidad, pero esto sería cierto si se tuviera solamente en cuenta esos factores climáticos en condiciones normales. Sin embargo, la historia de la actividad humana ha permeado su huella en la historia de la tierra. Desde sus inicios fue transformadora de la naturaleza; eso significa que alteró y sigue alterando aquellas condiciones normales que garantizan su equilibrio.

En ese sentido, la noción actual de cambio climático siempre tendrá correlación con las actividades humanas. Los factores del clima están alterados y, por esa razón, es que las consecuencias son visibles en los seres humanos y en la naturaleza. Así, este fenómeno se diferencia cualitativamente de sus antecesores históricos por la presencia antrópica. Es por ello que, al menos en los últimos quinientos años de sus actividades intensivas, este período marcado por la contaminación y las consecuentes emergencias de cambio climático sea llamado Antropoceno (Bonneuil y Fressoz, 2020).

En este período es que se han registrado las mayores anomalías de la variabilidad climática, por ende, alteraciones al equilibrio climático que, como se indicó anteriormente, se trata de un equilibrio térmico. Con respecto a este último, los gases de efecto invernadero son los que regulan la temperatura dada sus cualidades absorbentes y emisoras de energía solar, por ende, de calor. Pero, las actividades humanas en estos últimos siglos

han emitido grandes cantidades de estos gases más elementos extraños como los compuestos clorofluorocarbonados (CFC) y diversos aerosoles (Mondragón, 2021).

La sumatoria y concentración de ellos en la atmósfera no solo han horadado la capa de ozono, también incrementaron la capacidad de guardar calor de estos gases y concentrarlo en puntos específicos del planeta que, por los mismos factores y elementos del clima han expandido sus efectos en todo el globo. Esto es lo que se conoce como el calentamiento global (Cantú, 2020). Un fenómeno preocupante a muchos agentes ecológicos, económicos y políticos ya que sus efectos inciden significativamente en el curso de la vida natural, lo que implica un perjuicio para la naturaleza y las actividades extractivas que se basan en ella y para la propia salud del ser humano.

Los efectos en la naturaleza comprenden a la salud humana a pesar de que se crea que ambos ámbitos se encuentran separados. De hecho, la preocupación ambiental no solamente atiende al aprovechamiento y consumo de los recursos naturales, sino a la preocupación, inclusive, por la salud mental ya que el estrés térmico es una variable que ha tenido incidencia dentro de este ámbito, sus efectos se extienden a la propia constitución física provocando así múltiples enfermedades (Petrone, 2020; Hernández Y., 2020).

Más allá del ser humano y su entorno inmediato, las repercusiones del calentamiento global se extienden por todo el planeta, manifestándose en forma de sequías en regiones áridas y precipitaciones torrenciales en zonas donde antes no eran habituales. Un ejemplo paradigmático que hasta hoy causa la preocupación de muchos investigadores es el aumento de temperaturas del *permafrost*. Este es el suelo congelado, presente en lugares de muy baja temperatura, cuya función natural es retener gases de efecto invernadero y concentrar los nutrientes necesarios para proveer de alimento natural a las tundras, ecosistemas fríos (Alonso, 2017).

A este ejemplo se suman los deshielos y disminución de los glaciares en distintas partes del planeta. Según Y. Hernández (2020) en septiembre del año 2012 se derritió una cantidad de hielo marino del Ártico (polo norte) equivalente al doble del área de Alaska. Algo similar ocurre con Groenlandia y la Antártida. El efecto más inmediato es el incremento del nivel de agua de los océanos. Y con ello, el calentamiento de las corrientes marinas. Lo que, a su vez, trae consigo olas de especies migrantes, no sólo marítimas.

En el área terrestre el calentamiento global también tiene una incidencia no menos significativa. Con el calentamiento de las aguas aledañas a las costas, se incrementa el índice pluviométrico de las lluvias. Ello causa una alteración en las fuentes y recursos hidrológicos, lo cual no significa un aumento de agua dulce y, por tanto, de agua potable. Este incremento puede presentar también desastres naturales como las inundaciones, los huaycos y los desprendimientos de tierra de la cuenca de las vertientes.

Es necesario tener en cuenta que el calentamiento global aumenta el índice de evaporación de los recursos hidrológicos (Alonso, 2017). Ello produce intensas lluvias en lugares de temperatura templada y cálida como las costas, pero intensas caídas de nieve y granizo en zonas de temperaturas más bajas. Aunque esto no se da en todos los casos ya que la variabilidad climática afectada también incide en la dirección de los vientos, que desorientan las precipitaciones periódicas y se ausentan. Cuando sucede esto se producen las heladas, temporadas de intenso frío que afectan negativamente las actividades agropecuarias y pesqueras.

3.3 Impacto en las actividades básicas: la agricultura

Estas actividades del primer sector de la economía son las más básicas respecto del consumo humano. Los alimentos y las materias primas que serán transformadas para su uso en otros ámbitos provienen de esta actividad. Esto quiere decir que su importancia es capital al momento de considerar el estado de una comunidad, una ciudad, un país, un continen-

te o del mundo. Y, si existe alguna amenaza a este conjunto de recursos primarios, necesariamente habrá preocupaciones respecto de la seguridad alimentaria global (López y Hernández, 2016).

Aquí es necesario considerar entonces la estrecha relación entre los recursos naturales y la actividad humana. Ya se indicó que esta última altera los factores intervinientes en el equilibrio ecosistémico y, por ende, en el equilibrio climático. De este modo, los recursos naturales que extraiga no necesariamente serán los que en condiciones normales produciría naturalmente un ecosistema. Y con ello no solamente se debe entender al producto en sí mismo, sino a las condiciones que lo producen (Guerrero et al., 2021). Así pues, los campesinos que, si bien extraen cultivos de calidad, algo que puede confirmarse al momento de procesarlos e ingerirlos, las condiciones del ambiente afectan o pueden afectar el producto.

La agricultura es una actividad antigua y como tal puede ser practicada en la actualidad con los insumos rudimentarios que tradicionalmente usaban los campesinos de antaño (Lieberman y Gordon, 2021). Claramente aquellos que sean los adecuados como las herramientas para el arado pues, si estos productores se dedican, además, a la crianza de ganado y a la silvicultura, el uso de estos insumos puede ser efectivo y eficiente en función a sus necesidades y su ritmo de producción. Esta práctica es común en distintos países ya que constituye una de tantas actividades básicas. Generalmente su función es la del autoconsumo, o sea, de producción de pequeña escala, una actividad común en las comunidades campesinas.

Las regiones no céntricas o, en todo caso, periféricas del centro económico mundial sostienen su economía con base en las actividades extractivas como la minería y la agricultura. Sus comunidades indígenas son las que más las practican dada la producción social del territorio en que se encuentran (López y Hernández, 2016). En el Perú es practicada en cada una de sus regiones, incluyendo aquellas que tienen un clima extremo, pero este último en relación con el equilibrio climático.

Cuando los efectos del calentamiento global y el esperado cambio climático se acentuaron en el mundo, estas actividades agropecuarias fueron las afectadas. Si son practicadas en zonas de clima cálido, las sequías eran, y son, recurrentes. Del mismo modo con las zonas de climas fríos, en donde las precipitaciones, por efectos del clima, se solidifican y se manifiestan como granizos y aumento de nieve, lo que dificulta el desarrollo de los especímenes cultivados (Guerrero et al., 2021). Esto afecta la producción pequeña que tiene por características, ser familiar, de autoconsumo y de intercambio local.

El cambio climático y sus efectos alteran las condiciones en las que este tipo específico de agricultura se desenvuelve ya que la agricultura de tipo industrial con la tecnología de precisión que usa puede mitigar esos efectos en sus cultivos de modo que procura un cuidado intensivo a esas condiciones. La agricultura pequeña como la de secano, una que se practica en el altiplano y en otras regiones altoandinas, en cambio, no tiene tal sofisticación, lo que la hace vulnerable a las heladas, los cambios de vientos que traen las lluvias, así como también los que ocasionan un descontrol de la práctica tradicional de la tala y quema forestal (Salas et al., 2020).

De este modo, estos fenómenos planetarios tienen un efecto preocupante en los territorios más singulares cuya economía está siendo vulnerada. Las actividades humanas que provocan el calentamiento global son, en general, practicadas por las industrias cuyo discurso a favor de la optimización de la tecnología supone una mejora del medio ambiente. Pero, hasta que esa utopía verdaderamente se realice, las comunidades y sus pequeñas producciones perecerán de la misma manera que los antepasados de la humanidad cuya base económica y alimentaria venía de las actividades que estos contemporáneos practican.

Todo esto tiene como resultado una vulneración a los ecosistemas y a la vida terrestre en general. Pero, claramente aquellos que no pueden mitigar la fuerza de estos efectos climáticos son los que más sufren. Las áreas improductivas no pueden generar alimento y si es el único abasto familiar, la

opción inmediata es la migración. Pero esto no asegura el sostenimiento, siquiera, de una economía regular. Así pues, es la economía de subsistencia, donde se encuentra este tipo de agricultura, la que directamente sufre las consecuencias ambientales, algo que llama la atención pues las grandes emisiones de gases y contaminación ambiental no lo producen estos países en gran cantidad como sí aquellos que se dicen de primer mundo, lo que confirma, incluso, una desigualdad social patente (Donoso, 2020).

3.4 Intentos de disminución de los efectos

El fenómeno del cambio climático y su efecto más visible, el calentamiento global, han trascendido el ámbito de la naturaleza y de las actividades que se sirven de ella. Ahora se ha extendido a dimensiones sociales más complejas como la política y la cultura (Cardona et al., 2021). Desde el siglo pasado los estudios sobre estos temas se han incrementado. Los científicos ambientales como Donella Meadows son las que impulsaron esa consciencia ambiental con el fin de establecer las bases epistemológicas de un cambio.

Este cambio va en función de aquellas prácticas nocivas para el medio ambiente. Todo esto empezó con la formación de organizaciones sociales cuyos objetivos se articulaban con el fin de disminuir el nivel de incidencia de las actividades humanas contaminantes. Así, en 1980, se creó el *World Climate Research Programme* con los siguientes objetivos: determinar la previsibilidad del clima y determinar la responsabilidad humana sobre él (Pyszcze, 2020). A este se suman distintas iniciativas como congresos para establecer políticas ambientales. Uno de los más significativos fue el Protocolo de Kyoto en 1997, un antecedente para controlar y disminuir el efecto invernadero alterado.

CAPÍTULO IV

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS

El cambio climático se posiciona como uno de los asuntos más trascendentales de la agenda mundial contemporánea, generando repercusiones significativas en los ámbitos económico, comercial, político y social. Además, está afectando con predominancia el desarrollo de los países sudamericanos, puesto que en estas regiones las consecuencias se hacen evidentes mediante la presencia de climas extremos. La región andina es, ciertamente, una de las más aquejadas por las secuelas del cambio climático, tanto ecológica como socialmente, pues en esos lugares predomina la agricultura. Esta es la actividad base de sustento para muchas familias.

En la presente investigación se estudia el impacto del cambio climático en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, en el mismo se identifica que las temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales son los factores o variables climáticas más susceptibles de verse afectadas en la región. La investigación analiza el impacto de dichos factores climáticos en la acti-

vidad agrícola del altiplano durante el periodo 2015-2016. Para ello, se evalúa el comportamiento de los mismos y se determina su influencia en los cultivos de la región.

En el marco de este estudio, se emplearon series históricas de las variables climáticas consideradas de 48 años de duración, obtenidas de estaciones meteorológicas seleccionadas cuidadosamente. La selección de las estaciones se basó en tres criterios fundamentales: la longitud de las series de datos, la cantidad de datos faltantes en cada estación y la consistencia de los datos hidrometeorológicos registrados.

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivos generales

Analizar de manera integral el impacto combinado de las temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales en la productividad agrícola de la cuenca del río Coata, Puno, Perú, considerando tanto los efectos individuales como sinérgicos de estas variables climáticas en el desarrollo de los cultivos y la sostenibilidad del sistema agropecuario.

4.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las tendencias, patrones y comportamientos de las temperaturas extremas (frio y calor) en la cuenca del río Coata, Puno, Perú a través del análisis de series históricas.
- Caracterizar los patrones de precipitaciones fluviales en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, mediante el análisis de series históricas
- Analizar la influencia conjunta de las temperaturas extremas y las precipitaciones fluviales sobre el rendimiento de cultivos seleccionados en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante un período de dos décadas.

4.2. Hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

- La interacción entre temperatura y precipitación determina el potencial agrícola de la cuenca del río Coata, Puno, Perú, impactando en el rendimiento de los cultivos de Panllevar.

4.2.2. Hipótesis específica

- Se espera observar un aumento estadísticamente significativo en las temperaturas medias anuales de la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante el periodo analizado, como resultado del cambio climático, este incremento se refleja en una tendencia lineal positiva en las series históricas de temperatura.
- El cambio climático ha producido significativamente alteraciones en los patrones de las precipitaciones pluviales en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, y las mismas pueden revelarse u observarse en las series históricas pluviales en el periodo de estudio.
- Los cambios en las variables climáticas, como las temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales, en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante un período de veinte años, han tenido un impacto negativo en el rendimiento de los cultivos seleccionados.

4.3. Tipo de investigación

La tipología investigativa es aplicada, ya que investiga cómo resolver un problema que se presenta en la sociedad mediante la evaluación correlacional de las variables que se estudian. Además, el enfoque que plantea es cuantitativo, puesto que opera con variables que pueden medirse o estandarizarse.

4.4. Sistema de variables

Variable independiente 1: La temperatura y la precipitación pluvial

Variable dependiente: La agricultura en la cuenca del río Coata, Puno, Perú.

Tabla 2

Operacionalización de las variables

VARIABLES		DEFINICIÓN
Variable independiente	La temperatura atmosférica (TA)	(TA): Es la medida del calor presente en el aire en un punto y momento determinados, la cual varía significativamente en diferentes regiones climáticas.
	y precipitación pluvial (PP)	(PP): Las gotas de agua condensadas en las nubes, al precipitarse sobre la superficie terrestre, dan lugar a un fenómeno meteorológico conocido como precipitación pluvial. Este proceso, fundamental para la distribución de la humedad y la salud de los ecosistemas, se ve influenciado por diversos factores atmosféricos.
Variable dependiente	La agricultura en la cuenta del río Coata, Puno, Perú	La agricultura se refiere a una gama de actividades económicas, técnicas y de autoconsumo que tiene por finalidad el de producir alimentos a través del cultivo de la tierra.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

El marco muestral de esta investigación comprende la totalidad de estaciones meteorológicas y agencias agrarias presentes en la cuenca del río Coata, Puno, Perú.

4.5.2. Muestra

Para el estudio, se eligieron las estaciones meteorológicas y se cotejaron con las Agencias Agrarias de la Dirección Regional Agraria del Ministerio de Agricultura. Las primeras aportaron las series históricas sobre las dos variables: temperaturas extremas y precipitaciones pluviales y las segundas aportaron datos sobre la producción agrícola seleccionada, en este caso (papa, quinua y haba) de la cuenca del río Coata, Puno, Perú.

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La metodología utilizada para analizar de manera integral el impacto combinado de las temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales en el desarrollo y la sostenibilidad de la productividad agrícola de la cuenca del río Coata, Puno-Perú, se basa en los siguientes aspectos.

4.6.1. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Información básica:

Con el objetivo de sistematizar para su posterior codificación, se realizó una compilación de información fundamental extraída de investigaciones en forma de informes, revistas y artículos científicos.

Información cartográfica:

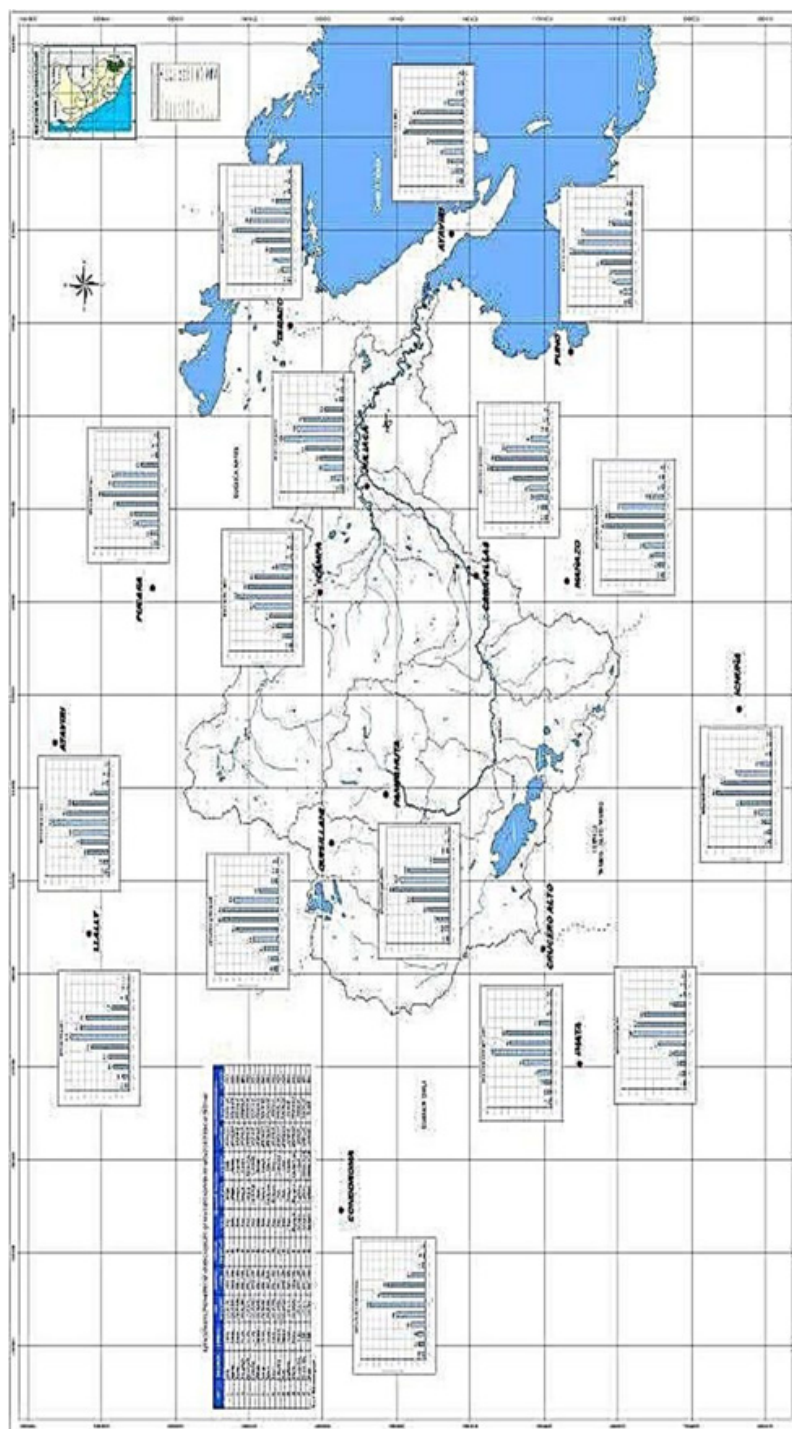
En el presente estudio, para la identificación y caracterización de la cuenca hidrográfica del lago Titicaca y sus afluentes, se utilizaron como base las siguientes fuentes de información cartográfica:

- **Cartas nacionales a escala 1:100.000:** Las cuales proporcionan una visión general de la cuenca (delimitación, ubicación de los principales cursos de agua, distribución de las coberturas del suelo y otros elementos geográficos relevantes).
- **Planos catastrales a escala 1:25.000:** Ofrecen información detallada sobre la red hidrográfica a menor escala, permitiendo identificar con mayor precisión la ubicación de los cursos de agua, sus características morfológicas y la distribución de las áreas de drenaje.
- **Información del sistema hídrico de la hoya del Titicaca:** Incluye datos específicos sobre la hidrología de la cuenca, como los caudales de los ríos, la calidad del agua y la distribución de los recursos hídricos.
- **Información de macrozonificación ecológica y económica del sistema TDPS:** Esta información permite comprender las características ambientales y socioeconómicas de la cuenca, identificando áreas de importancia ecológica, zonas con potencial productivo y áreas con necesidades de intervención.

Información de producción agrícola

La información cartográfica empleada en el estudio fue obtenida de las Agencias Agrarias de la Dirección Regional de Agricultura de Puno, Perú. Se recopilaron datos de diversos sitios estratégicos centralmente del área de estudio, abarcando un período que va desde 1994 hasta 2014. La información recopilada se refería a los rendimientos de los cultivos de haba, papa y quinua. De acuerdo con los objetivos específicos del presente trabajo, se prosiguió a realizar la sistematización y procesamiento de los datos recopilados en esta fase inicial.

Figura 3



Información meteorológica

Los datos meteorológicos utilizados en el estudio fueron recopilados del SENAMHI Puno, abarcando un período de 50 años, desde 1965 hasta 2014. La información abarca promedios mensuales de temperatura, tanto máxima como mínima, así como la precipitación pluvial promedio mensual, tal como se observa en la Figura 3.

4.7. Validez y confiabilidad

Análisis de la información cartográfica:

La información cartográfica fue analizada en base a tres criterios:

- a. **Longitud de la serie de datos:** Se evaluó la extensión temporal de los registros de cada estación;
- b. **Porcentaje de datos faltantes:** Se consideraron solo las estaciones con un máximo del 15% de datos faltantes;
- c. **Consistencia y homogeneidad de los datos:** Se verificó la calidad y coherencia de los datos registrados en cada estación.

Análisis de consistencia de la información meteorológica

Se llevó a cabo una valoración profunda de la seguridad y confiabilidad de los datos meteorológicos, empleando ensayos de consistencia y homogeneidad para las precipitaciones pluviales y las temperaturas extremas. Este análisis permitió identificar, corregir y eliminar errores sistemáticos y aleatorios presentes en las series históricas de datos. Para ello, se emplearon métodos de análisis estadístico y se tomó en consideración el índice del vector regional.

Se realizó un análisis exhaustivo de la consistencia de las series históricas empleando ensayos estadísticos rigurosos. Este proceso meticuloso tenía

como objetivo principal la obtención de una serie confiable, caracterizada por su homogeneidad y consistencia interna. Con este fin, se utilizó el software Hydraccess, junto con métodos estadísticos avanzados, para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos con el propósito de llevar a cabo:

- Una evaluación de la consistencia, homogeneidad y regionalización de la información cartográfica sobre precipitación y temperatura.
- La aplicación de técnicas de correlación múltiple cruzada para completar series mensuales de data incompleta.
- El empleo de técnicas geoestadísticas para estimar la distribución espacial de la precipitación.

Tras conseguir los períodos de posible corrección y los períodos de datos con valores originales a partir de los gráficos contruidos para el análisis visual, se llevó a cabo el análisis estadístico.

Se aplicaron dos pruebas estadísticas para evaluar la hipótesis de igualdad de parámetros entre los datos. La prueba “t” de Student se empleó para verificar si las medias de los conjuntos de datos eran estadísticamente equivalentes, mientras que la prueba “F” se utilizó para determinar si existían diferencias significativas en las desviaciones estándar. Ambos análisis se realizaron con un nivel de significancia del 5%, lo que equivale a un 95% de probabilidad de obtener resultados confiables.

Consistencia en la media

La prueba realizada reconoció y detectó inconsistencias en la media de la información cartográfica. Para ello, se compararon los valores medios de diferentes periodos, evaluando si eran estadísticamente iguales o diferentes. Estadísticamente: Se calculó la media y la desviación estándar para cada periodo analizado; Se obtuvo el valor de “Tc” (coeficiente de Student) para cada comparación. Se consultó la tabla “T de Student” con los grados

de libertad correspondientes a cada comparación para obtener el valor crítico (“TT”). Finalmente, se cotejó el valor de “Tc” con el valor de “TT”.

- Si $|T_c| \leq (95\%) \rightarrow 1 = 2$ (Son iguales estadísticamente), no se realizan procesos de corrección.
- Si $|T_c| > (95\%) \rightarrow 1 \neq 2$, (Son diferentes estadísticamente), son corregidos.

Consistencia en la desviación estándar

Para evaluar la igualdad estadística de las desviaciones estándar de las submuestras en el contexto de la información cartográfica, se empleó la siguiente metodología: Cálculo de la varianza; Determinación del estadístico C; Obtención del estadístico F, utilizando la tabla F de Fisher y los grados de libertad correspondientes, el cual se utiliza para realizar la prueba de hipótesis; Comparación del estadístico C con el valor crítico obtenido de la tabla F de Fisher; Consideraciones adicionales: Cabe mencionar que la prueba utilizada comparte similitudes con los criterios de la prueba T.

Mediante el análisis de la información cartográfica, se identificó que los saltos no presentan diferencias relevantes en términos de su valor promedio ni de su variabilidad.

Se ha realizado una evaluación exhaustiva de la calidad, confiabilidad y consistencia de los datos cartográficos. Esta evaluación se basó en la regionalización de los datos y la validación rigurosa de su idoneidad para su uso y aplicación en el análisis de tendencias. Para ello, se agruparon las estaciones meteorológicas en regiones donde los registros presentan un comportamiento temporal homogéneo a nivel mensual y anual.

El vector regional con el software Hydraccess constituyó la principal herramienta empleada en la etapa de información cartográfica, abarcando un rango temporal de 1966 a 2014.

Se llevó a cabo un análisis de regionalización mensual y anual hidrológico para las precipitaciones y temperaturas de las estaciones meteorológicas. Este análisis permitió agrupar las estaciones en tres regiones. El objetivo de esta regionalización fue evaluar la estabilidad de los datos durante el período más extenso posible, siguiendo los criterios establecidos para la selección de las estaciones.

Se identificó correspondencia entre las temperaturas y precipitaciones registradas en las estaciones regionales durante el periodo 1966 a 2010. Para ello, se realizó un análisis de seguridad y consistencia de la información y se rellenaron los datos faltantes de las estaciones. Empleando bases de datos creadas previamente, el proceso de análisis se llevó a cabo utilizando un modelo de regresión lineal múltiple cruzada con el software *Hydraccess*.

El paquete software *Hydraccess* ofrece una solución integral para la gestión de datos hidrometeorológicos, ya que, permite importar y almacenar diversos tipos de datos en una base o data Access, lo cual facilita un mejor manejo y análisis de la información. Además, proporciona herramientas para realizar los procesamientos básicos que un meteorólogo necesita, incluyendo el manejo de datos instantáneos, horarios, diarios, mensuales y anuales de cotas, caudales, calidad del agua y parámetros meteorológicos.

La información necesaria para la investigación fue organizada bajo una data por campos y vinculados al código de la estación (punto de medición) y a un captor (código de la serie observada). Cada captador tiene propiedades que definen su tipo, unidad, número de dígitos significativos y decimales, entre otras.

Hay tres categorías de captores:

- a. **Instantáneos (I)**: En este tipo de captor, los datos se introducen con fecha y hora sin ninguna restricción de intervalo de tiempo;
- b. **Diarios (D)**: En este caso, solo se registra un valor por día;

c. **Mensuales (M)**: Similar a los captores diarios, solo se registra un valor por mes.

Se formaron gráficos simples o comparativos en base a la data importada, utilizando visualizaciones gráficas que comprendían desde el nivel diario hasta el mensual. Además, se confeccionaron cuadros de anuario tanto a nivel diario como mensual, abarcando todo el intervalo de datos vigente en la base.

Con el objetivo de analizar patrones climáticos regionales, se construyó un vector que contenía índices anuales o mensuales (según se requiriera) de precipitación y temperatura. Estos índices se basan en una serie cronológica de datos ficticios y temporales, y los mismos se corresponden con una estación meteorológica también ficticia.

El método de corrección de índices por variabilidad regional (VR de índices) considera los resultados de las tendencias en las series de datos, así como los ciclos propios de cada zona o región climática que aquejan a cada una de las estaciones. De esta manera, se verifica tanto temporal como espacial, la homogeneidad de las series observadas en las estaciones que corresponden a la misma zona climática.

Es fundamental destacar que el cálculo de los índices de Vulnerabilidad Climática (VR) se sustenta en una matriz de observaciones. Esta matriz está conformada por los registros anuales o mensuales de la variable meteorológica en cuestión, provenientes de “n” estaciones meteorológicas durante un periodo de “t” años. Cabe señalar que la matriz presenta observaciones carentes para determinadas estaciones en explícitos años.

En este trabajo, se computó una media para cada estación, la cual abarca el grupo de datos del período de estudio. Adicionalmente, para cada año se determinó un índice. Este índice es mayor que 1 cuando el año presenta valores altos (año húmedo o con altas temperaturas) y menor que 1

cuando el año presenta valores bajos (año con déficit de lluvias o con bajas temperaturas).

La técnica de Varianza Regional (VR) considera una región como homogénea, es decir, con un comportamiento temporal similar. El valor de VR para un grupo regional de estaciones facilita la crítica de los datos, lo que permite:

- a. Valorar utilizando diversas medidas estadísticas suministrados por el VR, la calidad de los datos de una estación y su pertenencia a un grupo regional.
- b. Realizar un estudio gráfico comparativo del comportamiento estacional dentro de un grupo de estaciones y entre diferentes grupos. Para ello, se elaborarán gráficos que representan los vectores regionales de cada grupo, así como las curvas dobles acumuladas. La implementación de este estudio gráfico permitió la identificación rápida de quiebres y datos anómalos. Cabe destacar que la presencia de estos elementos depende de la calidad de los datos de entrada. No obstante, los algoritmos empleados procuran minimizar la influencia de datos erróneos en los resultados obtenidos.
- c. Realizar una depuración gradual de los datos de entrada, eliminando o corrigiendo las inconsistencias más evidentes. Este proceso permitió obtener un conjunto de datos de buena calidad (VR) que se utilizó posteriormente para reconstruir datos faltantes. La metodología consistió en multiplicar el índice regional de un año determinado por el valor promedio de la precipitación en la estación correspondiente durante el período de estudio.

En vista de que el programa genera diversos parámetros para evaluar la calidad de los resultados, se prestaron especial atención a los siguientes:

- a. **Coeficiente de correlación “r” del índice con las estaciones:** Este valor debía ser superior a 0.70;
- b. **Desviaciones:** Se requería que se mantuvieran dentro de un rango de tolerancia específico;
- c. **Límites de confianza (inferior y superior):** Las series interanuales del índice del vector debían encontrarse dentro de estos límites.

Los parámetros mencionados también fueron validados por un grupo regional de estaciones ubicadas en contextos físico-geográficos distintos, específicamente en el altiplano peruano.

El estudio de los resultados condujo a una reducción del tamaño del grupo regional. Asimismo, se identificaron estaciones con datos inconsistentes, considerándose la eliminación de aquellas que presenten un bajo coeficiente de correlación y una alta desviación estándar como medida extrema, permaneciendo en forma de índices los valores anuales de periodos históricos habituales para salvó 9 estaciones del año hidrológico adoptado (septiembre-agosto). Las estaciones regionales más sólidas se identificaron dentro del intervalo de confianza, quedando en forma de índices.

Información meteorológica

Previo al análisis de tendencias, se efectuó un análisis de saltos. Posteriormente, con la serie libre de saltos, se partió a examinar las tendencias en la media y la desviación estándar.

En el estudio se evaluó la presencia de tendencia en la media de la serie mediante el cálculo de la tendencia en la media, seguido por la estimación de los parámetros de la ecuación de regresión lineal simple. Finalmente, se cotejó el valor de C con el nivel de significancia (α) del 95 %. Si C era menor o igual que α , se concluía que no existía tendencia en la media; en caso contrario, se consideraba que sí la había. En vista de que el análisis se

basó en datos mensuales para el primer y segundo objetivos, se empleó la tendencia de la desviación estándar, continuando con el siguiente procedimiento:

1. Se realizó un análisis regional de la permanencia de la precipitación y las temperaturas a nivel mensual. Para ello, se empleó el método del vector regional (MVR), el cual permitió identificar anomalías, valores extremos o comportamientos no homogéneos en la región. Estos hallazgos fueron evaluados cuidadosamente para instaurar su confiabilidad, con el objetivo de confirmarlos o corregirlos.
2. Con el fin de evaluar las tendencias de precipitación y temperatura, se elaboraron y estructuraron series continuas mensuales y anuales de los datos correspondientes. La data original mostraba vacíos en ciertos meses o periodos, por lo que se rehicieron para poder emplear las pruebas estadísticas necesarias.
3. En este estudio, se evaluaron las tendencias de precipitaciones y temperaturas a escala mensual y anual. Para ello, se emplearon pruebas estadísticas tanto paramétricas como no paramétricas, utilizando el software TREND. Las pruebas seleccionadas fueron el test Mann-Kendall, Sperman's Rho y t-student. Los resultados obtenidos se interpretaron cuidadosamente, tomando en cuenta el comportamiento de eventos climáticos extremos y su relación con el fenómeno del cambio climático.

Análisis del rendimiento de los cultivos frente al cambio climático en la cuenca del río del río Coata, Puno, Perú

Con el objetivo de establecer una correspondencia entre la producción de cultivos de Panllevar y los factores climáticos de la cuenca del río Coata, Puno, Perú, se procedió a la recopilación de los rendimientos de los cultivos para cada zona subtipo climático. Estos datos fueron facilitados por las Oficinas del Ministerio de Agricultura del departamento de Puno. Luego se realizó una exploración de consistencia de la información recopilada

durante el período de estudio considerado en el presente trabajo. Luego se estimaron los rendimientos de cada cultivo en función de la temperatura mínima, utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios y regresión. Este procedimiento se repitió para la temperatura máxima y las precipitaciones pluviales, con el objetivo de comparar el efecto individual de cada variable climática sobre el rendimiento.

Consecutivamente, se llevó a cabo la apreciación vinculada de las variables climáticas, incluyendo las temperaturas máximas y mínimas extremas, así como las precipitaciones pluviales. Seguido, se incorporaron los eventos extremos a la evaluación y se continuó realizando una secuencia de estimaciones para evaluar el impacto de cada variable en el modelo. Posteriormente, se compararon cada modelo y se seleccionó el mejor de acuerdo con criterios estadísticos. Finalmente, se interpretaron los valores obtenidos de la interrelación entre las variables climáticas y el rendimiento de los cultivos seleccionados, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson.

4.8. Análisis e interpretación de los resultados

Comportamiento de las temperaturas

La cuenca del río Coata, en Puno, Perú, tiene una superficie de 4.908,44 km², esta información proviene de las cartas nacionales del Perú. Por otra parte, las estaciones meteorológicas de la zona fueron ubicadas según las coordenadas UTM, suministradas por el SENAMHI - Puno.

Para evaluar la consistencia de los datos de temperatura, se realizó un estudio de correlación. Este análisis se basó en la suposición de que las temperaturas calculadas en las estaciones de la cuenca están relacionadas entre sí. Para ello, se utilizaron los índices anuales de vector regional calculados con el software Hydraccess. La validez estadística de los resultados se verificó mediante métodos estadísticos apropiados.

- Temperaturas máximas

Figura 4

Índices anuales de los vectores regionales de datos originales de las temperaturas máximas

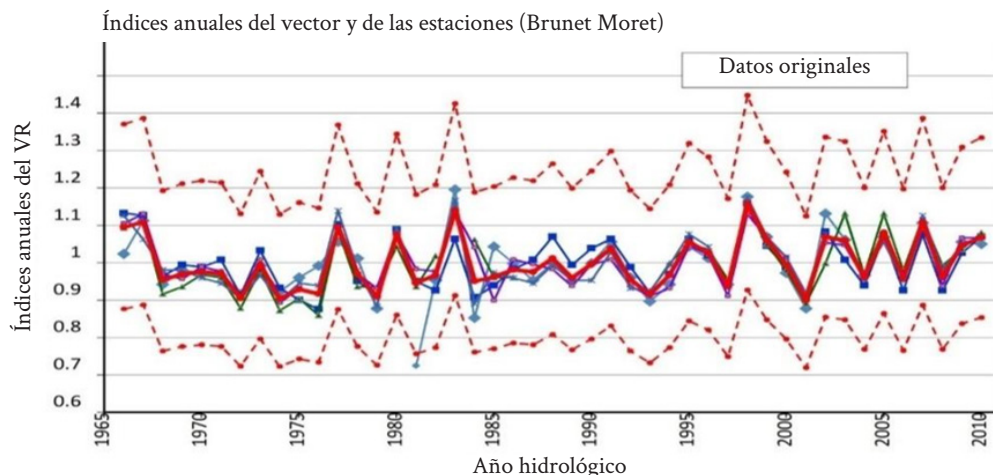
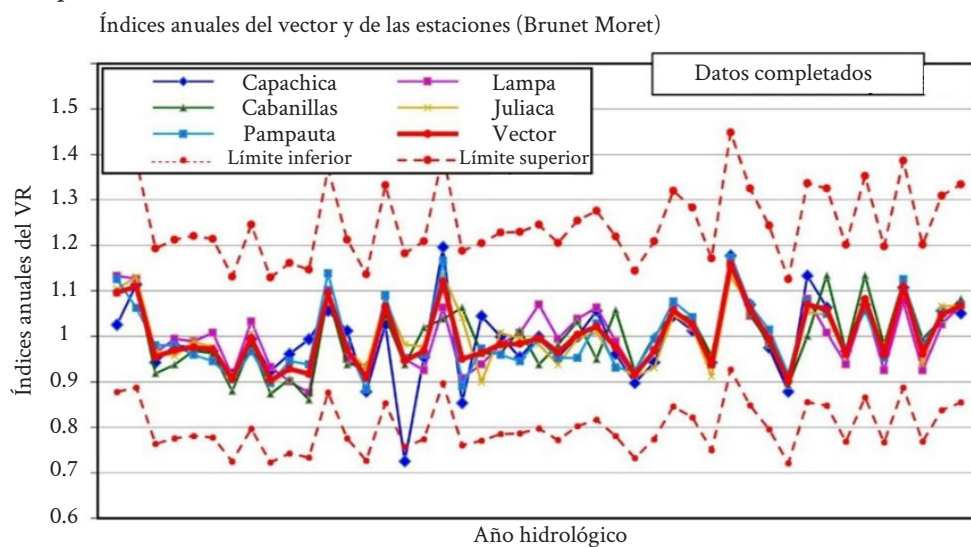


Figura 5

Índices anuales de los vectores regionales de datos completados de las temperaturas máximas



- **Temperaturas medias**

Los índices anuales de temperaturas medias, ilustrados en las Figuras 4 y 5, reflejan un comportamiento uniforme a escala regional. La confiabilidad de estos datos se ve respaldada por su ubicación dentro de los límites de confianza establecidos.

En cuanto a las temperaturas máximas, los índices anuales exhiben un comportamiento semejante a nivel regional. Esto se evidencia en que los índices estacionales por región se encuentran dentro de los márgenes de confianza establecidos, lo que confirma la consistencia, homogeneidad y buena calidad de los datos, además de su conducta análoga.

La estación, a pesar de estar fuera del límite de confianza, fue incluida en el análisis debido a la disponibilidad de una serie de data larga y continua que la hacía comparable con las demás estaciones seleccionadas para el estudio de tendencias.

Donde:

A = Son datos originales

B = Son datos complementados

En la Tabla 3 se observan las temperaturas anuales de las cinco estaciones analizadas. Los datos, tanto originales como completados y corregidos, cumplen con la hipótesis de pseudo-proporcionalidad. Esto se verifica en la columna “Correl /Vector”, donde los valores tienden a la unidad (0.836).

El análisis de las curvas de dobles acumulaciones entre estaciones y el vector regional de las zonas en estudio, como se observa en la Figura 8, indica una correlación positiva entre ambas variables. Esta conclusión se basa en el trabajo realizado con datos completos y corregidos, libres de quiebres significativos, como se apreció en la Figura 5.

Figura 6

Índices anuales de los vectores regionales de datos originales de las temperaturas medias

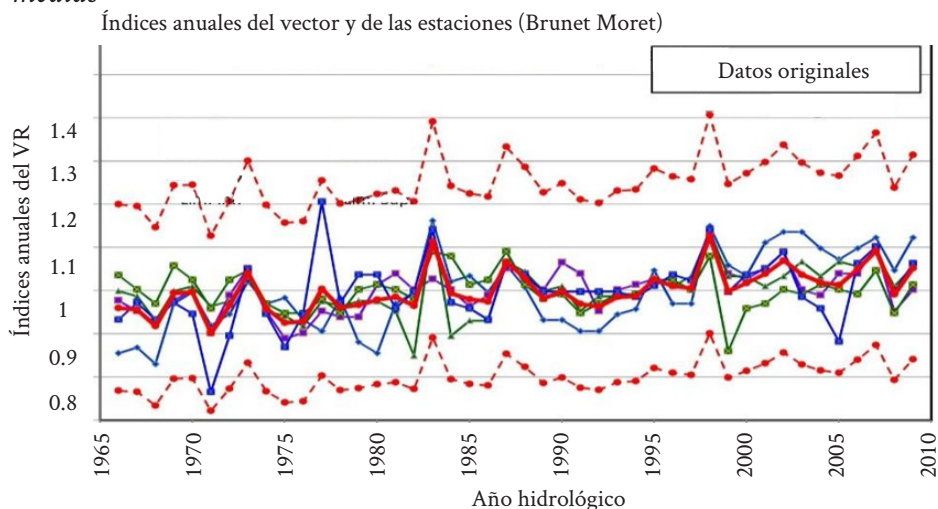


Figura 7

Índices anuales de los vectores regionales de datos completados de las temperaturas medias

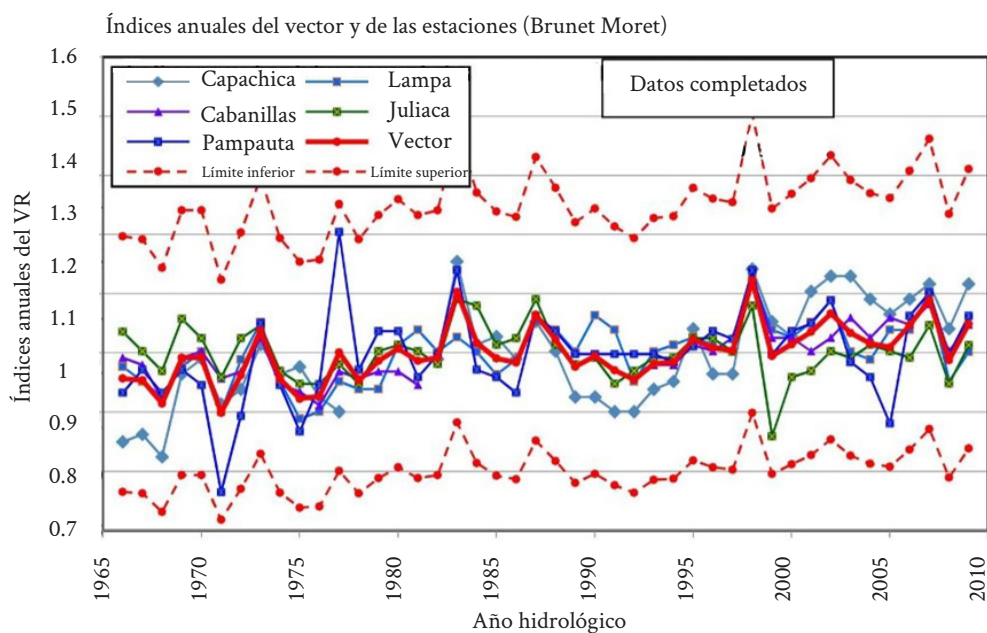
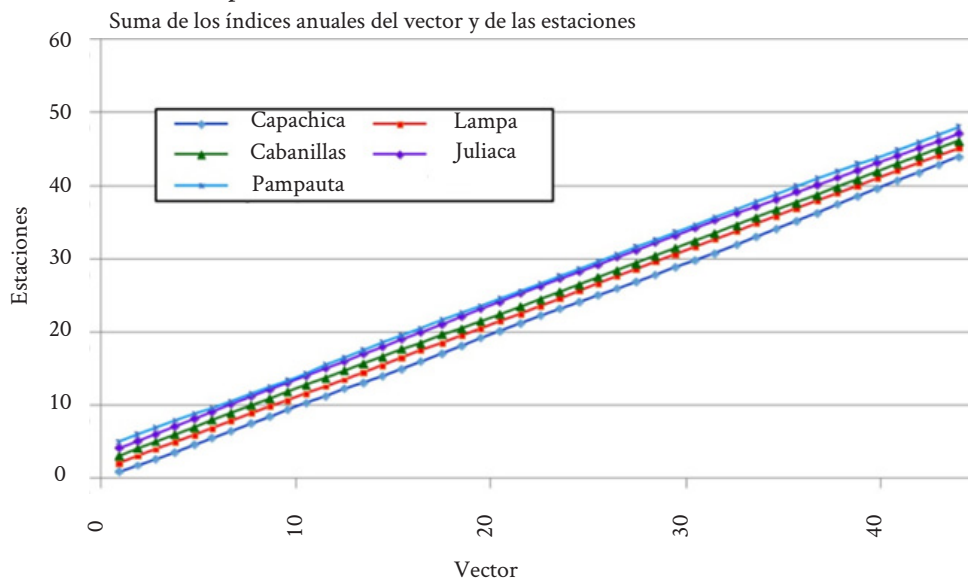


Tabla 3
Correlación de Temperaturas Medias Anuales

Datos	Estación	N° Años	D.E. Obs	Coef. Variac.	Temperatura media anual Observ. Calcul.	Media desviac	D.E. Desviac	Homo- geneidad B.M.	Correl/ Vector
Datos originales	1 Capachica	47	0.700	0.087	7.800 7.800	-0.003	0.051	0.007	0.836
	2 Lampa	47	0.400	0.053	8.000 8.000	0.001	0.030	0.034	0.831
	3 Cabanillas	47	0.500	0.054	8.700 8.700	0.003	0.027	0.025	0.898
	4 Juliaca	26	0.400	0.046	8.100 8.100	0.002	0.042	0.001	0.653
	5 Pampauta	26	0.600	0.048	7.900 7.900	-0.001	0.051	0.125	0.713
Datos completados	1 Capachica	47	0.700	0.086	7.800 7.700	-0.003	0.055	0.019	0.831
	2 Lampa	47	0.400	0.051	8.000 8.000	0.001	0.031	0.104	0.802
	3 Cabanillas	47	0.500	0.053	8.700 8.700	0.003	0.035	0.009	0.838
	4 Juliaca	47	0.400	0.045	8.100 8.100	0.002	0.043	0.001	0.551
	5 Pampauta	47	0.600	0.047	7.900 7.900	-0.001	0.054	0.102	0.683

Figura 8

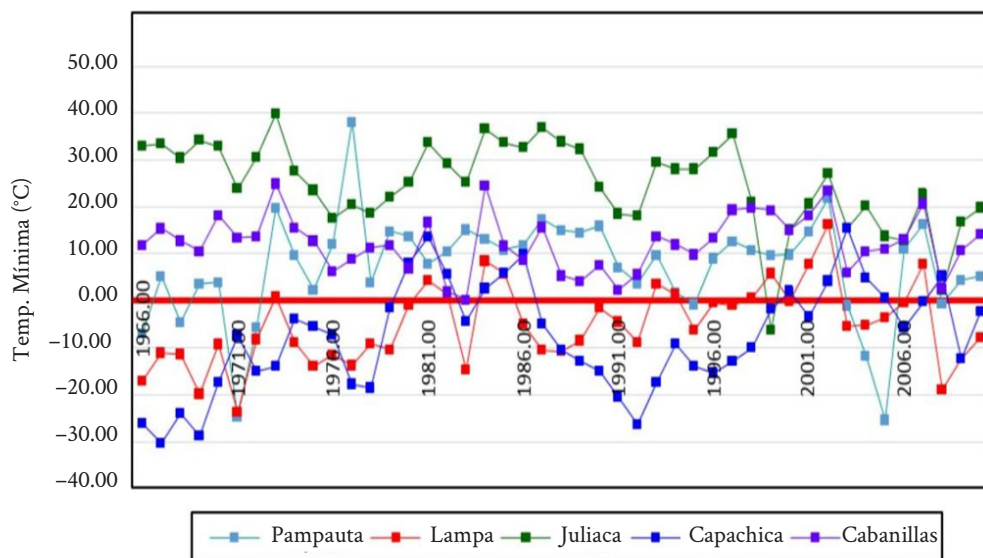
Correlación de temperaturas medias anuales



- Temperaturas mínimas anuales: Serie histórica

Figura 9

Datos originales y completados de las temperaturas mínimas



La Figura 9 presenta las series históricas anuales de las temperaturas mínimas, las cuales exhiben un comportamiento homogéneo a nivel regional. Dicha actuación evidencia la calidad de los datos y permite inferir que las temperaturas mínimas presentan un patrón similar entre las estaciones del año.

Los datos presentados en este análisis se obtuvieron a partir de la aplicación de pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas para evaluar las tendencias en las series temporales de temperaturas máximas, medias y mínimas anuales. Los resultados anuales y las gráficas de tendencia lineal anual complementan la información y permiten una mejor comprensión de los patrones observados en las temperaturas.

Con el objetivo de investigar las propensiones de las temperaturas máximas y mínimas en la cuenca del río Coata, se seleccionaron las dos estaciones meteorológicas más confiables de la zona: Lampa y Capachica. El estudio busca comprender el comportamiento de la temperatura a nivel mensual y anual en las partes alta, media y baja de la cuenca.

A partir de esto, se abordó el análisis de las tendencias de las temperaturas máximas registradas en las estaciones meteorológicas, utilizándose, tanto pruebas paramétricas como no paramétricas, lo que garantizará una evaluación robusta y completa de los datos.

El estudio realizado demostró predisposiciones demostrativas de incremento en el primer grupo, conformado por Capachica, Cabanillas y Pampauta, esta observación se sustenta con un nivel de significancia de 0.01; En el caso de Juliaca, se identificaron tendencias al incremento con niveles de significancia de 0.01 y 0.05; Por otro lado, en Lampa solo se detectaron tendencias positivas indicadoras con un nivel de significancia de 0.10, empleando los tests Mann Kendall y Ran Ksum. Cabe destacar que, para este último caso, los demás tests aplicados no arrojaron resultados significativos.

En el análisis de las temperaturas medias de las localidades de Capachica, Lampa, Cabanillas y Pampauta durante el período de 1966 a 2014, se identificaron tendencias significativas de incremento con un nivel de significancia de 0.01. En contraposición, la localidad de Juliaca no presentó cambios significativos en sus temperaturas medias durante el mismo período.

Tabla 4

Resumen del análisis de tendencias de temperaturas máximas, medias y mínimas

Tiempo		Estaciones				
		Capachica	Lampa	Cabanillas	Juliaca	Pampauta
Temperatura máxima						
Año hidro- lógico 1966 – 2014	I	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	II	(+)		(+)	(+)	(+)
	III	(+)		(+)	(+)	(+)
	IV	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14
	V	(+) 89-14 > 66-88		(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88
Temperatura media						
Año hidro- lógico 1966 – 2014	I	(+)	(+)	(+)		(+)
	II	(+)	(+)	(+)		(+)
	III	(+)	(+)	(+)		(+)
	IV	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14		(+) 66-88 > 89-14
	V	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88		(+) 89-14 > 66-88

TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN:
VARIABLES CLIMÁTICAS MEDULARES EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Tiempo		Estaciones				
		Capachica	Lampa	Cabanillas	Juliaca	Pampauta
Temperatura mínima						
Año hidro- lógico 1966 – 2014	I	(+)	(+)		(-)	
	II	(+)	(+)		(-)	
	III	(+)	(+)		(-)	
	IV		(+) 66-88 > 89-14		(+) 66-88 > 89-14	
	V		(+) 89-14 > 66-88		(+) 89-14 > 66-88	
Referencias						
I	Test Mann Kendall		0.10	N.S. Con poca evidencia en contra de H_0		
II	Test Spearman Rho		0.05	N.S. Con evidencia posible en contra de H_0		
III	Test Regresión Lineal		0.01	N.S. Con evidencia fuerte en contra de H_0		
IV	Test Ran Ksum		(-)	Tendencia negativa (decreciente)		
V	Test T-Student		(+)	Tendencia positiva (ascendente)		
N.S.: Nivel de significancia						

La Tabla 4 revela cambios estadísticamente significativos en las temperaturas máximas durante todas las estaciones para el período comprendido entre 1966 y 2014. Estos cambios, con un nivel de significancia de 0.01, indican un aumento en las temperaturas máximas. En otras palabras, se observaron cambios significativos positivos en las temperaturas mínimas de Capachica y Lampa, con un nivel de significancia de 0.01. Por otro lado, en Juliaca se detectaron tendencias negativas en las temperaturas mínimas. En cuanto a Cabanillas y Pampauta, no se registraron cambios significativos en sus temperaturas mínimas. En cuanto a las temperaturas medias de las estaciones, se observan tendencias positivas en la mayoría de ellas. Sin embargo, en la estación de Juliaca no se registran cambios reveladores.

Tabla 5
Resumen del análisis de tendencias de las temperaturas mediante los test paramétricos y no paramétricos (1966-2014)

Estación		Año hidrológico												
Temperatura	Periodo	Test	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Capachica	Media 1966-2014	I	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
		II	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
		III	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
		IV	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14
		V	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88
Lampa	Media 1966-2014	I	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
		II	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
		III	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
		IV	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14
		V	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88

TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN:
VARIABLES CLIMÁTICAS MEDULARES EN LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA

Estación	Temperatura	Período	Test	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Año hidrológico
Cabanillas	Media	1966-2014	I	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			II	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			III	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			IV	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14	(+) 66-88 > 89-14
			V	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88	(+) 89-14 > 66-88
Capachica	Mínima	1966-2014	I	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			II	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			III	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			IV	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			V	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

Estación	Temperatura	Periodo	Test	Año hidrológico											
Lampa	Mínima	1966-2014	I	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			II		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			III	(+) 66-88 >89-14	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			IV	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14
			V		(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88
Cabanillas	Mínima	1966-2014	I	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			II	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			III	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
			IV	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14	(+) 66-88 >89-14
			V	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88	(+) 89-14 >66-88

Estación	Temperatura	Período	Test	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Año hidrológico
Referencias																
I		Test Mann Kendall					0.10									N.S. Con poca evidencia en contra de H_0
II		Test Spearman Rho					0.05									N.S. Con evidencia posible en contra de H_0
III		Test Regresión Lineal					0.01									N.S. Con evidencia fuerte en contra de H_0
IV		Test Ran Ksum					(-)									Tendencia negativa (decreciente)
V		Test T-Student					(+)									Tendencia positiva (ascendente)
N.S.: Nivel de significancia																

La Tabla 5 presenta un análisis de tendencias de las temperaturas máximas, medias y mínimas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante el periodo 1966-2014. El análisis se realizó para la parte baja, media y alta de la cuenca. En las tablas se muestra un resumen mensual y anual de los cambios significativos identificados en las series temporales de las temperaturas. Se utilizaron pruebas paramétricas y no paramétricas para determinar la significancia de las variaciones.

El análisis se presenta así:

- a. **Estación Capachica:** las temperaturas máximas experimentan un aumento durante los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, febrero, abril, mayo, junio y julio;
- b. **Estación Lampa:** En contraste, en la estación Lampa, solo se observa un incremento en las temperaturas máximas durante los meses de septiembre y diciembre y;
- c. **Estación Cabanillas:** Presenta disminución en las temperaturas medias y mínimas durante los meses de enero, abril, mayo, junio y julio, la tendencia decreciente también observable en las gráficas de la línea de tendencias anuales.

En las tres estaciones, a nivel anual, las temperaturas medias y mínimas presentan una tendencia positiva.

Variación de las temperaturas medias en la cuenca del río Coata, departamento de Puno, Perú

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 7, las series históricas de temperatura para el período de 20 años comprendido entre 1992 y 2014 no exhiben variaciones significativas. Esto se evidencia en los valores de la desviación típica (0.723) y la varianza (0.523), los cuales son relativamente bajos.

Tabla 7
Medidas de tendencia central y variación del promedio de temperatura

Ítem	Estadísticos					
	Temperatura		Oscilación de Temperatura	Temperaturas máximas absolutas	Temperatura mínima absolutas	Oscilación máxima de Temperatura
	Máxima	Mínima				
Válidos	20	20	20	20	20	20
Media	16.596	2.446	9.529	19.444	-1.807	19.923
Mediana	16.565	2.390	9.475	19.445	-1.775	19.880
Desviación. Típ.	0.520	0.432	0.405	0.550	0.711	0.723
Varianza	0.270	0.186	0.164	0.302	0.505	0.523
Mínimo	15.81	1.56	8.92	18.61	-3.08	18.56
Máximo	17.64	3.23	10.47	20.47	-0.68	21.45

Sin embargo, al analizar series de mayor extensión desde 1966 hasta 2014, se observan variaciones más considerables en dichos valores. Es importante destacar que, dado que la cuenca posee un clima bien definido, estas variaciones en la temperatura podrían tener un impacto o efecto socioeconómico considerable sobre todo en las actividades agrícolas.

La Tabla 7 arroja en el análisis la probabilidad de ocurrencia de diversas categorías climáticas dadas, tomando en cuenta la influencia termorreguladora del lago. Para ello, se utilizan conjuntos de datos de observación y análisis de la precipitación y temperatura cercanos a la superficie del lago. La información se analiza sistemáticamente en términos de tres categorías equiprobables: debajo de lo normal, casi normales y por encima de lo normal, Lo que permite cuantificar la probabilidad de ocurrencia de cada tipo de evento climático. Es importante destacar que, como señalan Davey et al. (2014), las temperaturas presentan cambios en los patrones del sistema climático, lo que debe considerarse al analizar la probabilidad de ocurrencia de las diferentes categorías climáticas.

Variación en las temperaturas máximas por estación

Tabla 8

Variación en las temperaturas máximas por estación

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típ.	Varianza
Juliaca	20	15.60	18.10	16.81	0.72	0.52
Cabanillas	20	15.70	18.70	17.29	0.89	0.80
Lampa	20	15.60	18.30	17.03	0.71	0.50
Capachica	20	15.51	17.60	16.36	0.52	0.27
Pampauta	20	15.10	18.10	16.49	0.67	0.45
N válido (según lista)	20					

La estación climatológica de Cabanillas presentó los valores más altos de desviación típica (0,89) para las temperaturas máximas durante el período de 20 años comprendido entre 1994 y 2014, según se desprende de los datos estadísticos descriptivos de la Tabla 8. No obstante, al analizar el período extendido desde 1966 hasta 2014, se observan valores de desviación típica aún mayores.

En la cuenca del río Coata, se detectó un incremento de 0.05°C en la temperatura media anual. Además, se observó una tendencia al alza en las temperaturas durante el mes de junio y la estación primaveral en toda la región. Estas tendencias de temperatura más significativas parecen ser consistentes en las diversas fuentes de datos analizadas (Chakraborty et al., 2000).

Variación en las temperaturas mínimas por estación

Tabla 9

Variación en las temperaturas mínimas por estación

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típ.	Varianza
Juliaca	20	2.30	4.70	3.60	0.58	0.34
Cabanillas	20	-2.10	3.60	2.15	1.17	1.38
Lampa	20	0.00	3.50	2.22	0.83	0.69
Capachica	20	-0.50	3.70	2.07	1.08	1.16
Pampauta	20	1.94	4.70	3.05	0.82	0.66
N válido (según lista)	20					

La Tabla 9 presenta un análisis estadístico descriptivo de las temperaturas mínimas registradas en las estaciones climatológicas de Cabanillas y Pampauta durante un periodo de 50 años (1966-2016). Entre los datos más relevantes, se destaca que la estación de Cabanillas presentó la mayor desviación típica en las temperaturas mínimas, con un valor de 1.17. Esta cifra supera ligeramente la desviación típica registrada en Pampauta, que fue de 1.08. Es importante señalar que estos valores corresponden al periodo de análisis completo (1966-2016). Si se considera un periodo más corto, de 20 años (1994-2014), los valores de desviación típica cambian ligeramente. En este caso, Pampauta presenta la mayor desviación típica (1.08), seguida de Cabanillas (1.17).

Influencia del cambio climático sobre la variación de las temperaturas

Tabla 10

Modelo de variables predictores de temperaturas

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0.650 ^a	0.422	0.314	4.901

Nota: a. Variables predictores: (Constante), temperaturas medias, mínimas y máximas

La Tabla 10 presenta un modelo de regresión lineal que evidencia una fuerte asociación entre los cambios de temperatura y el cambio climático en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante los últimos 20 años hidrológicos. El modelo indica que el 42,2 % de la variación en el cambio climático se puede atribuir a los cambios en la temperatura. Esta relación se ve reforzada por la alta correlación del 65 % entre ambas variables.

En términos más específicos, el estudio revela que las temperaturas máximas, medias y mínimas dentro de la cuenca experimentan variaciones significativas en respuesta a cambios más amplios en el clima regional. Estas variaciones en la temperatura contribuyen de manera importante a la variabilidad general del cambio climático en la región.

Tabla 11

Análisis de varianza (ANOVA^a) del cambio climático y las variables del clima

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	280.745	3	93.582	3.897	0.029 ^b
Residual	384.255	16	24.016		
Total	665.000	19			

Nota: a. Variable dependiente: Cambio climático

b. Variables predictoras: (Constante), temperaturas medias, mínimas y máxima

El análisis estadístico utilizando la Tabla 11 y la prueba de hipótesis de la distribución F en ANOVA, admitió comprobar que preexiste una supremacía significativa del cambio climático en las temperaturas de la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante los últimos 20 años. Esto se evidencia en el valor de significancia de 0.029, que es inferior al nivel de significancia establecido en 0.05.

Los resultados de la Tabla 12, que muestran los coeficientes independientes, permiten inferir que el cambio climático ejerce una mayor influencia en las temperaturas máximas de la cuenca del río Coata, en Puno, Perú, durante el período de estudio (1994-2014). Esta influencia se cuantifica en un valor de 0.047, cifra inferior al umbral de significancia estadística de 0.05. En el caso de las temperaturas medias, las influencias del cambio climático no se consideran significativas o representativas.

Tabla 12

Análisis de Coeficientes Independientes de temperaturas frente al cambio climático

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
		B	Error típ	Beta		
1	(Constante)	-89.841	39.041		-2.302	0.034
	Máxima	34.573	16.396	3.038	2.101	0.047
	Mínima	22.052	16.403	1.605	1.345	0.188
	Media	-55.334	33.081	-3.790	-1.674	0.051

Nota: Variable dependiente: Cambio climático

Por último, en lo que respecta a las temperaturas mínimas, no se observan efectos relevantes atribuibles al cambio climático durante el período de análisis.

La Tabla 13 revela una correlación positiva considerable entre el cambio climático y las temperaturas máximas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, con un valor de 0.476. Esto implica que, a mayor temperatura máxima registrada en un año, mayor será el cambio climático observado en ese mismo período. Por otro lado, se presenta una correlación negativa muy baja (-0.024) entre las temperaturas mínimas y el cambio climático, lo que sugiere que, a mayor temperatura mínima anual, menor será el cambio climático. Finalmente, la relación entre las temperaturas medias y el cambio climático es positiva y baja, con un valor de 0.256. En otras palabras, el análisis evidencia que el aumento de las temperaturas máximas tiene un impacto más significativo en el cambio climático de la cuenca del río Coata que las temperaturas mínimas o medias.

Tabla 13

Correlaciones bivariadas del cambio climático respecto a las temperaturas

Correlaciones					
		Cambio climático	Temperatura		
			Máxima	Mínima	Media
Cambio climático	Correlación de Pearson	1	*	-0.024	0.256
	Sig. (bilateral)		0.034	0.913	0.272
Temperatura	Máxima	Correlación de Pearson	*	*	**
		Sig. (bilateral)	0.034	0.023	0.000
	Mínima	Correlación de Pearson	-0.026	0.506*	0.836**
		Sig. (bilateral)	0.913	0.023	0.000
	Media	Correlación de Pearson	0.258	**	**
		Sig. (bilateral)	0.272	0.000	0.000

Nota: *. La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral)

** . La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Modelos matemáticos para pronosticar las temperaturas máximas y mínimas para los próximos dieciséis años

Tabla 14

Coefficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo lineal

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
Cambio climático	0.042	0.018	0.475	2.291	0.034
(Constante)	16.153	0.218		4.007	0.000

Modelo lineal para Coeficientes de las temperaturas máximas medias

$$Y = \alpha - \beta(t)$$

$$Y = 16.453 + 0.042(\text{año})$$

Tabla 15

Coefficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo logarítmico

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln (Cambio climático)	0.305	0.132	0.477	2.301	0.034
(Constante)	15.946	0.299		53.249	0.000

Modelo logarítmico para Coeficientes de las temperaturas máximas medias

$$\log Y = \log a + \log \log Y = \log \log a + \log \log b (t)$$

$$Y = 15.946 + \ln(0.305 (\text{año}))$$

Tabla 16

Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo exponencial

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
Cambio climático	0.003	0.001	0.480	2.319	0.032
(Constante)	16.149	0.211		76.524	0.000

Nota: La variable dependiente es ln (Temperatura máxima).

Modelo exponencial para Coeficientes de las temperaturas máximas medias

$$Y = a + e^{\beta x}$$

$$Y = 16.149 + e^{0.003 (\text{año})}$$

Las Tablas 14, 15 y 16 muestran proyecciones del comportamiento del promedio de las temperaturas máximas, indicando un incremento gradual con los variados modelos, de 0.071°C por año hasta el 2030. Este aumento de la temperatura puede influir en los patrones de precipitación, alterando las propiedades termodinámicas de la masa de aire y, por consiguiente, el transporte de humedad. Tal como lo confirman Zhang, Jianfeng, Singh P. y Xiao (2013), el cambio climático está asociado a un incremento generalizado de la temperatura ambiental, con variaciones espaciales y temporales. Este incremento tendrá un impacto significativo, principalmente en el sector agrícola.

Tabla 17

Coefficientes del promedio de temperaturas mínimas según el modelo lineal

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
Cambio climático	-0.002	0.017	-0.026	-0.111	0.913
(Constante)	2.465	0.206		11.980	0.000

Modelo lineal para Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas

$$Y = \alpha - \beta(t)$$

$$Y = 2.465 + 0.002(\text{año})$$

Tabla 18

Coefficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo lineal

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
In (Cambio climático)	-0.030	0.125	-0.056	-0.236	0.816
(Constante)	2.508	0.282		8.884	0.000

Modelo logarítmico para Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas

$$\log Y = \log a \log \log Y = \log \log a + \log \log b (t)$$

$$Y = 2.508 + \ln(0.30. (\text{año}))$$

Tabla 19

Coeficientes de las temperaturas máximas medias según el modelo exponencial

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
Cambio climático	0.001	0.007	−0.010	−0.042	0.967
(Constante)	2.416	0.210		11.489	0.000

Nota: La variable dependiente es ln (Temperatura mínima).

Modelo exponencial para Coeficientes del promedio de temperaturas mínimas

$$Y = a + e^{\beta x}$$

$$Y = 2.416 + e^{0.001 \text{ (año)}}$$

Las tablas 17, 18 y 19 muestran que las proyecciones de temperatura mínima promedio para la cuenca del río Coata, ejecutadas con dispares modelos climáticos, muestran diferenciaciones en el tiempo. Se espera un incremento gradual de 0.017°C anual hasta el año 2030. No obstante, en contraste, las temperaturas mínimas extremas exhiben una tendencia a la disminución, alcanzando valores de hasta −2.76°C para el mismo año 2030, tanto en el tiempo como en el espacio. Este comportamiento, según Zhang, Jianfeng, Singh P. y Xiao (2013), es el que está alterando el funcionamiento del sistema climático de la región.

Según Chen, Brissette y Leconte (2011), los métodos estadísticos asentados en regresiones presagian un aumento más pronunciado de las temperaturas mínimas durante los meses de otoño e invierno, este incremento es superior, para ciertas latitudes al observado en las temperaturas máximas. Sin embargo, en la cuenca del río Coata, ubicada en Puno, Perú, la

magnitud del aumento no resulta significativa y presenta una distribución espacial y temporal altamente irregular.

Los modelos de temperatura media anual indican que el aire de la superficie experimentará un aumento progresivo, pasando del valor actual de 10,4°C a 11,5°C entre los años 2030 y 2050, y llegando a 13,2°C en el período 2070 - 2090. Este incremento tendrá un impacto considerable en las tasas de evaporación, especialmente durante las estaciones de primavera y verano, cuando el aumento de la temperatura será más notable, lo que a su vez se traducirá en un alza en la tasa de evaporación.

Los modelos de temperatura media anual muestran que el aire de la superficie experimentará un aumento progresivo, pasando del valor actual de 10,4°C a 11,5°C entre los años 2030 y 2050, y llegando a 13,2°C en el período 2070 - 2090. Este incremento tendrá un impacto considerable en las tasas de evaporación, especialmente durante las estaciones de primavera y verano, cuando el aumento de la temperatura será más notable, lo que a su vez se traducirá en un alza en la tasa de evaporación.

Se anticipa que el cambio climático provocará en la cuenca un acrecentamiento de las temperaturas, una modificación en los estándares de precipitación y una mayor periodicidad e intensidad de eventos climáticos extremos. Esta afirmación está respaldada por investigaciones de otros expertos, como Reidsma et al. (2010).

Según Chow (1994), el incremento de la temperatura durante las estaciones de invierno y primavera tendrá como consecuencia:

- a. Alteraciones en los patrones de evaporación y precipitación: El aumento del calor provocará una mayor evaporación del agua, lo que a su vez podría conducir a una disminución de la precipitación;

- b. Cambios en la proporción nieve/precipitación: Se espera una menor proporción de nieve en relación con la precipitación total, lo que afectaría el almacenamiento de agua en el suelo;
- c. Reducción del volumen de agua almacenada en el suelo;
- d. La combinación de la menor precipitación y la mayor evaporación podría disminuir la cantidad de agua disponible en la capa arable del suelo;
- e. Impacto en el ciclo hidrológico: En general, estos cambios afectarían el ciclo hidrológico completo, desde la captación de agua hasta su distribución y retorno al ambiente.

Comportamiento de las precipitaciones pluviales

Para garantizar la confiabilidad de los análisis futuros, se realizó un análisis de consistencia previo al modelado de las series de precipitaciones pluviales. Este proceso consintió conseguir una serie consistente, homogénea y robusta, minimizando el riesgo de errores significativos en los análisis posteriores. La inconsistencia en los datos de precipitación puede introducir sesgos y afectar negativamente la precisión de los modelos, por lo que este paso previo es crucial para garantizar la calidad de los resultados.

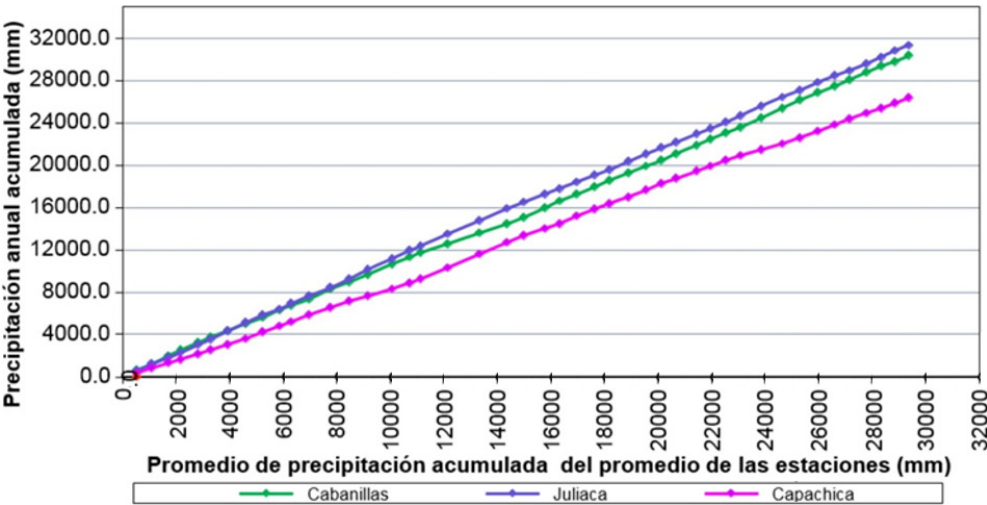
La información meteorológica, especialmente la referente a la pluviometría, es crucial para diversos sectores como la agricultura, la hidrología y la gestión de recursos hídricos. Para garantizar la confiabilidad de estos datos, se implementa un análisis de consistencia que involucra tres métodos y un software especializado, estos métodos son (gráfico, curva doble masa y estadístico) y el software es hydraccess.

La estación Cabanillas fue seleccionada como base para el análisis de doble masa debido a su regularidad en los datos, menor cantidad de puntos de quiebre y un coeficiente de correlación (r) cercano a 1.

Tabla 20
Coeficiente de correlación (r) para cada estación – Cuenca del río Coata, Puno, Perú, 2016

Coeficiente de correlación de la precipitación total anual			
Estaciones	Cabanillas	Juliaca	Capachica
Coeficiente (r)	0.984	0.839	0.779

Figura 10
Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales respecto al promedio



Esta información se encuentra detallada en la Tabla 20 y en la Figura 10. El análisis de doble masa evidenció pequeños quiebres en la serie de precipitaciones anuales. Estas quiebres fueron evaluadas y confirmadas mediante un análisis estadístico.

Al realizarse el análisis estadístico mensual para cada una de las estaciones, en el mismo, se utilizó la prueba T para comparar las medias y la prueba F para comparar las desviaciones estándar de las precipitaciones mensuales. Las estaciones seleccionadas se dividieron en dos subseries para realizar el análisis. Las pruebas de hipótesis se aplicaron con un nivel de significancia del 5 % y una probabilidad de 95 %.

Tabla 21
Análisis de saltos de las precipitaciones mensuales, 2016.

Estación	Periodo de análisis	N.º de datos	Promedio	Desviación estándar	Consistencia en la media			Consistencia en la desviación estándar		
					Tc	Tt	Diferencias medias	Fc	Ft	Diferencia varianzas
Julaca	N! 1966-1994	348	64.19	65.43	0.801	1.976	No	1.065	1.246	No
	N2 1995-2016	149	59.18	63.43						
Cabanillas	N! 1966-1987	264	62.69	65.21	1.767	1.986	No	1.301	1.235	Si
	N2 1988-2016	348	54.21	53.11						
Capachica	N! 1966-1987	264	51.43	59.12	0.631	1.986	No	1.370	1.235	Si
	N2 1988-2016	348	37.98	51.03						

El análisis estadístico realizado en la Tabla 21 con respecto a las series históricas de precipitaciones pluviales en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, no reveló diferencias significativas entre las medias de los períodos de análisis de los tres grupos de estaciones seleccionadas. Esta conclusión se basa en la observación de que $T_c \leq T_t$, lo que indica que no se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias.

Respecto a la variabilidad de la precipitación total mensual en la estación Cabanillas, se observó una diferencia significativa, lo que indica la existencia de heterogeneidad entre las subseries. Este cambio en la varianza se atribuye a alteraciones climáticas regionales, ya que el análisis de doble masa no evidenció rupturas significativas, por lo cual se consideran confiables y homogéneos los datos de las series históricas de precipitación pluvial.

La metodología empleada para completar la información pluviométrica consistió en una correlación múltiple cruzada. Para ello, se utilizaron los datos de precipitación mensual de las estaciones consistentes en cada período. El software Hydraccess fue empleado para identificar el coeficiente de correlación más apropiado. Los hidrogramas y consecuencias de la completación y extensión de las series anuales se presentan en los anexos.

En cuanto al análisis de la serie histórica de precipitaciones entre 1966 y 2016, no se observan tendencias significativas o marcadas. En la estación Capachica, los meses de mayo, junio y julio presentan un aumento en las precipitaciones pluviales. A nivel anual, el comportamiento de las precipitaciones en las tres estaciones es estable, es decir, no se registran cambios significativos.

Para el período histórico 1966 - 2016, no se observa una tendencia in cuestionable en las series de precipitación en ninguna de las estaciones estudiadas. Sin embargo, se identifican patrones estacionales específicos:

- En las estaciones de Capachica y Juliaca, las precipitaciones tienden a disminuir durante el mes de septiembre;
- En la estación de Cabanillas, las precipitaciones tienden a aumentar durante el mes de octubre;
- En las estaciones de Cabanillas y Juliaca, las precipitaciones tienden a aumentar durante los meses de enero, marzo y abril.

A nivel anual, el comportamiento de las precipitaciones en todas las estaciones es estable, es decir, no se presentan cambios significativos a lo largo del período estudiado.

El estudio presenta los resultados de pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas para los gradientes de cada estación, ilustrados en cuadros y gráficos.

Durante el verano, se ha observado un cambio en los patrones de precipitación, tanto en cantidad como en frecuencia. Este cambio no se atribuye únicamente a modificaciones en la circulación atmosférica, sino que también se ve influenciado por el acrecimiento de la temperatura, tal como lo sugieren las investigaciones sobre el impacto del cambio climático. Si bien los análisis de precipitación mensual revelan una tendencia a la disminución, Galindo (2009) señala que estas tendencias no son estadísticamente significativas en los datos observados.

La Tabla 22 revela que, si bien el modelo de regresión lineal no establece una relación significativa, sí permite inferir que, en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante los últimos 20 años, los cambios en las precipitaciones pluviales solo pueden atribuirse en un 53.4 % al cambio climático.

La Tabla 23 presenta los resultados del análisis ANOVA para evaluar la influencia de los cambios climáticos en las precipitaciones pluviales de la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante el período de 1994 a 2014.

Tabla 22

Resumen del modelo de regresión lineal de precipitación, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2016

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0.731 ^a	0.534	-0.231	6.001

Nota: a. Variables predictoras: (Constante), precipitaciones máximas de 24 horas, días de precipitación, precipitación Total

Tabla 23

ANOVA^a de las precipitaciones pluviales, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994- 2014

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	88.70	3	29.57	0.822	0.0401 ^b
1 Residual	576.30	16	36.02		
Total	665.000	19			

Nota: a. Variable dependiente: Cambio climático

b. Variables predictoras: (Constante), precipitación máxima en 24 horas, días de precipitación, precipitación total

De acuerdo con la prueba de hipótesis de la distribución F, se observa que no existe una relación significativa entre los cambios climáticos y las precipitaciones pluviales en la cuenca. Esto se evidencia por el valor de C, que resulta menor que el valor crítico de F (2.24).

Sin embargo, el valor de la significancia (0.0401 = 4.01 %) es inferior al nivel de error establecido (0.05 = 5 %).

Este resultado indica que, aunque la prueba de hipótesis no encuentra una relación significativa, existe una leve tendencia que sugiere que los cambios climáticos podrían estar ejerciendo una influencia sobre las precipitaciones pluviales en la cuenca.

Tabla 24

Análisis de coeficientes independientes, según prueba t

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típ	Beta		
(Constante)	3.85	26.89		0.144	0.889
1 Precipitación Total	-0.19	0.28	-0.38	-0.683	0.053
Días de precipitación	2.44	2.50	0.43	0.977	0.033
Precipitación máxima de 24 h	-0.57	1.08	-0.19	-0.530	0.063

La Tabla 24 presenta los coeficientes independientes, los cuales indican que no hay una influencia significativa del cambio climático en las precipitaciones pluviales de la cuenca. Esto se debe a que el valor de C es menor o igual a 2.093. Adicionalmente, se observa una relación inversa entre la precipitación total y la precipitación máxima de 24 horas. Esto significa que, a mayor variación del clima, las precipitaciones pluviales y las máximas de 24 horas serán menores. En otras palabras, el cambio climático no parece tener un impacto considerable en las precipitaciones de la cuenca.

Los cambios en los patrones de precipitación pueden provocar desenlaces tanto positivos como negativos, los cuales dependen en gran medida de los tipos de circulación atmosférica existentes, tal como lo afirman Goldberg, Radley M. Horton y Rosenzweig (2013). Estos efectos están influenciados por el aumento de la temperatura, ya que este puede modificar la tasa de evapotranspiración, la forma de precipitación y, en consecuencia, los patrones de caudales mensuales.

Tabla 25

Correlaciones bivariadas del cambio climático con las variaciones de las precipitaciones pluviales en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

		Cambio climático	Precipitación		
			Total	Días	máxima de 24 horas
Cambio climático	Correlación de Pearson	1	0.160	0.049	-0.282
	Sig. (bilateral)		0.501	0.839	0.228
	N	20	20	20	20
Total	Correlación de Pearson	-0.160	1	0.811**	0.686**
	Sig. (bilateral)	0.501		0.000	0.001
	N	20	20	20	20
Días	Correlación de Pearson	0.049	**	1	0.382
	Sig. (bilateral)	0.839	0.000		0.097
	N	20	20	20	20
máxima de 24 horas	Correlación de Pearson	-0.282	**	0.382	1
	Sig. (bilateral)	0.228	0.001	0.097	
	N	20	20	20	20

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 25, no se encontraron relaciones bivariadas significativas entre el cambio climático y los factores de precipitación en la Cuenca del río Coata, Puno, Perú. Sin embargo, se observó una relación negativa muy débil entre el cambio climático y la precipitación total, con un coeficiente de correlación de -0.160. Esto sugiere que, a medida que avanza el tiempo y se intensifican los cambios climáticos, la precipitación total en la cuenca tiende a disminuir. Esta tendencia también se observa en el caso de las precipitaciones máximas de 24 horas.

Modelos matemáticos para la precipitación total

Tabla 26

Coefficientes de precipitación total según el modelo lineal

		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
		B	Error típico	Beta		
1	(Constante)	89.154	5.481		16.266	0.000
	Cambio climático	-0.314	0.458	-0.160	-0.686	0.501

Nota: Variable dependiente: Precipitación total

Modelo lineal para la precipitación total

$$Y = \alpha - \beta(t)$$

$$Y = 89.154 + 0.314(\text{año})$$

Tabla 27

Coefficientes de precipitación total según el modelo logarítmico

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
ln (Cambio climático)	-1.881	3.345	-0.131	-0.562	0.581
(Constante)	89.840	7.560		11.884	0.000

Modelo logarítmico para la precipitación total

$$\log Y = \log a + \log \log Y = \log \log a + \log \log b (t)$$

$$Y = 89.840 + \ln(1.181 (\text{año}))$$

Tabla 28

Coefficientes de precipitación total según el modelo exponencial

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta		
Cambio climático	-0.004	0.005	-0.163	-0.699	0.493
(Constante)	88.428	5.454		16.212	0.000

Nota: La variable dependiente es ln (Precipitación total).

Modelo exponencial para la precipitación total

$$Y = a + e^{\beta x}$$

$$Y = 88.428 + e^{0.004 (\text{año})}$$

La data recolectada para esta investigación evidenció en las tablas 26, 27 y 28 no presentan una tendencia significativa clara en cuanto a las precipitaciones. De acuerdo a dicha data, todos los escenarios proyectados sugieren un moderado descenso de las precipitaciones para mediados de siglo, con una disminución estimada entre el 2 % y el 4 %. Para finales de siglo, se anticipa un descenso aún mayor, con valores que oscilan entre el 4.5 % y el 5.5 %. Estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos por Ribalaygua et al. (2013). Es importante destacar que las proyecciones mostradas en este trabajo presentan una mayor fluctuación en comparación con estudios previos. Sin embargo, cuando se analizan los datos completos de la serie histórica, se observan tendencias claras que permiten realizar estimaciones más precisas.

De acuerdo con Darwin (1999), el potencial de que los eventos de precipitación extrema se desplacen en el tiempo, aunado al incremento de su intensidad a nivel global, conseguiría agravar la dimensión de las crecidas. Esto se traduce en un incremento de las cargas de sedimentos y nutrientes que llegan al río.

En cuanto a las precipitaciones extremas, los cambios observados fueron comparativamente pequeños. Solo se identificaron tendencias regionales significativas en la cantidad de días húmedos consecutivos. Sin embargo, estas tendencias son difíciles de divisar debido a la alta variabilidad de la precipitación a escalas más grandes.

De acuerdo con Xu (2009), la distribución espacial de las variaciones en todos los índices climáticos extremos es un reflejo de la intrincada naturaleza del clima en general y del dominio que ejerce la topografía.

De persistir estas tendencias, podrían intensificarse otro tipo de fenómenos extremos potencialmente peligrosos: sequías prolongadas que ocasionarían daños a la infraestructura y a la vida humana.

Rendimiento de los cultivos frente a los comportamientos climáticos

Medidas de tendencia central y variabilidad de rendimiento de los cultivos

Tabla 29

Medidas de tendencia central y variación del rendimiento de los cultivos

Cultivo	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
Haba	838.39	1215.83	1029.0780	112.07095	12559.898
Papa	5799.46	10287.98	8430.2745	1531.66743	2346005.119
Quinua	766.74	1970.78	1000.7055	259.08518	67125.129

Nota: Tomado del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2015).

La Tabla 29 revela la influencia variable de las condiciones climáticas en distintos cultivos seleccionados. En el caso del cultivo de haba, las temperaturas óptimas fluctúan entre 11.5 y 16°C durante su fase fenológica. No obstante, temperaturas constantes superiores a 23°C, así como oscilaciones calurosas diarias con temperaturas diurnas por encima de 20°C y nocturnas por debajo de 10°C, pueden impedir la floración (Evans, 1983, citado por Roberts y Hadley, 1985). En otras palabras, la temperatura ideal para el cultivo de haba se encuentra en un rango específico. Si las temperaturas son demasiado altas o bajas, o si hay grandes fluctuaciones entre el día y la noche, la floración puede verse afectada negativamente.

El cultivo de la papa se caracteriza por su sensibilidad a las heladas. Su óptimo desarrollo se produce en ambientes con temperaturas frescas, especialmente durante la noche, ya que estas favorecen la formación de tubérculos. Durante el crecimiento vegetativo, la planta prospera en temperaturas que oscilan entre los 20 y 25°C. Para la producción de tubérculos, la temperatura ideal se encuentra entre los 18 y 20°C. En cambio, las temperaturas elevadas, que rondan los 28 a 30°C, resultan perjudiciales para

el crecimiento de los tubérculos, ya que la planta destina toda la energía de la fotosíntesis a la respiración, imposibilitando la formación de nuevos tubérculos.

La quinua se destaca por su capacidad de adaptación a diversos climas, tolerando temperaturas que fluctúan entre los 10°C y los 25°C. Su temperatura media ideal se encuentra alrededor de los 15-20°C, pero incluso con temperaturas más bajas de 10°C o más altas de hasta 25°C, este cultivo demuestra un notable desarrollo. Un rasgo distintivo de la quinua es su mecanismo de escape y tolerancia a las bajas temperaturas. En ciertas etapas fenológicas, como la ramificación, puede soportar temperaturas de hasta -8°C. Sin embargo, durante la floración y el llenado del grano, la planta se vuelve más susceptible al frío. Las temperaturas extremas superiores a 38°C han sido asociadas a la interrupción del proceso reproductivo en las plantas. Este fenómeno se manifiesta en la pérdida de flores, la muerte de estigmas y estambres, lo que imposibilita la formación de polen y, en consecuencia, el desarrollo de granos. En resumen, la quinua se caracteriza por su resistencia a las variaciones de temperatura, lo que la convierte en un cultivo versátil que puede prosperar en una amplia gama de condiciones climáticas.

Rendimiento promedio del cultivo de haba frente a las variables climáticas

Tabla 30

Resumen del modelo de relación entre cultivo y clima

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0.694 ^a	0.482	0.215	105.40396

Nota: Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, temperatura máxima, precipitación total

De acuerdo al análisis presentado en la Tabla 30, se observa una relación significativamente alta entre el rendimiento del cultivo de haba grano seco y las variables climáticas de temperatura y precipitación pluvial en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante los últimos 20 años. Este hallazgo se ve respaldado por un coeficiente de determinación (R^2) de 0.482, lo que indica que el 48.2 % de la variación en el rendimiento del haba puede explicarse por los cambios en las condiciones climáticas.

Cabe destacar que el altiplano peruano, donde se ubica la cuenca del río Coata, es reconocido como una zona altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, lo cual genera repercusiones significativas en las actividades agrícolas y ganaderas de la región (Sanabria et al., 2010). En resumen, los resultados de la data de la tabla 30 evidencian una fuerte asociación entre el rendimiento del haba grano seco y las variables climáticas, lo que resalta la importancia de considerar estos factores en el manejo y planificación del cultivo en el contexto del cambio climático.

Tabla 31
ANOVA^a de la regresión residual total para el cultivo de haba

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	R	F	Sig.
1	Regresión	71988.123	4	17997.031	0.694 ^b	1.620	0.042 ^b
	Residual	166649.935	15	11109.996			
	Total	238638.058	19				

Nota: a. Variable dependiente: Haba
b. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, Temperatura máxima, Precipitación Total

De acuerdo al análisis ANOVA y la prueba de hipótesis de la distribución F, la información presentada en la Tabla 31 indica que no existe una influencia significativa de los cambios en las temperaturas y precipitaciones pluviales sobre el rendimiento del cultivo de haba grano seco en la cuenca durante el período de 1992 a 2012. Esto se evidencia en el valor de $C \leq F$ (2.24), que sugiere la ausencia de variaciones estadísticamente relevantes. Sin embargo, el valor de significancia de 0.042 (equivalente al 4.2%) es inferior al error establecido del 0.05 (5 %). Cabe destacar que se requieren precipitaciones pluviales promedio de 800 mm y temperaturas óptimas durante el ciclo vegetativo que se ubiquen entre 11.5 y 16°C. Temperaturas superiores a 20°C pueden inhibir la floración, lo que a su vez podría conducir a una disminución en el rendimiento del cultivo de haba.

Tabla 32

Coeficientes no estandarizados y tipificados de las variables climáticas - haba

Modelo			Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
			B	Error típ	Beta		
(Constante)			- 1971.844	1328.334		- 1.484	0.158
1	Precipitación	Total	-0.041	3.902	-0.004	- 0.011	0.092
		Días	71.701	40.345	0.662	1.777	0.045
	Temperatura	Máxima	138.412	72.697	0.642	1.904	0.036
		Mínima	-118.153	80.453	-0.455	- 1.469	0.163

Nota: Variable dependiente: Haba

Un análisis de los coeficientes independientes presentes en la Tabla 32 revela una relación inversa entre el cambio en las temperaturas máximas y los días de precipitación, y el rendimiento del cultivo de haba grano seco durante el período de 1992 a 2012. Esta influencia inversa se ve amparada por un error del 4 %.

Tabla 33

Correlaciones bivariadas del cultivo de haba con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

		Haba grano seco	Precipitación		Temperatura	
			Total	Días	Máxima	Mínima
Haba grano seco	Correlación de Pearson	1	0.146	0.312	0.139	-0.014
	Sig. (bilateral)		0.539	0.180	0.560	0.952
Precipitación	Total					
	Correlación de Pearson	0.146	1	**	-0.438	0.233
	Sig. (bilateral)	0.539		0.000	0.053	0.324
	Días					
	Correlación de Pearson	0.312	**	1	-0.415	0.176
	Sig. (bilateral)	0.180	0.000		0.069	0.458
Temperatura	Máxima					
	Correlación de Pearson	0.139	-0.438	-0.415	1	0.506*
	Sig. (bilateral)	0.560	0.053	0.069		0.023
	Mínima					
	Correlación de Pearson	0.014	0.233	0.176	*	1
	Sig. (bilateral)	0.952	0.324	0.458	0.023	

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Es importante destacar que ninguna de las variables climáticas evaluadas presenta significancia estadística ($C \leq 2.093$). Esto se atribuye a que las oscilaciones de temperatura durante el ciclo del cultivo superan los 20°C durante el día y bajan por debajo de los 10°C por la noche, condiciones que no son favorables para el desarrollo del haba. De igual manera, la cantidad de días de precipitación juega un papel crucial en la creación de un ambiente fresco, factor también determinante para el rendimiento de este cultivo (FAO, 2002).

El análisis de la Tabla 33 evidenció que entre las variaciones de temperatura, precipitación pluvial y el rendimiento del cultivo de haba grano seco en la cuenca del río Coata durante el período 1994 - 2014 existen relaciones bivariadas de baja intensidad (Abraha y Savage, 2006). No obstante, sobre el rendimiento del haba, se observó una influencia negativa específica de las temperaturas mínimas.

Se ha observado que el rendimiento del cultivo de haba grano seco, se asocia al aumento o el incremento de la precipitación pluvial. Este comportamiento ha sido proyectado mediante tres modelos: lineal, logarítmico y exponencial. Sin embargo, el aumento de la temperatura y la migración de los humedales, asociados a los cambios en la precipitación, ocasiona una disminución del periodo de crecimiento de las habas (IPCC, 2007).

En el ámbito socioeconómico, modelos de medidas de adaptación reactivas ante estos cambios climáticos incluyen modificaciones en las técnicas agrícolas y en el esquema de utilidad del agua.

El cambio climático repercute en el sistema agrario de los cultivo de varias maneras:

- a. Reducción de los daños causados por las heladas en la agricultura;
- b. Aumento en el riesgo de que algunos cultivos y animales sufran daños por el calor;

- c. Amplitud térmica diaria en reduciendo;
- d. Mayor uso de riego debido a la disminución de las precipitaciones;
- e. Frecuencia de los ataques de insectos está en aumento.

Ante este hecho, se debe implementar las siguientes medidas para mejorar la gestión agrícola:

- a. Reestructuración de los calendarios laborales, que busquen optimizar el trabajo garantizar el rendimiento de los cultivos;
- b. Ajustar la cantidad de animales que pastan en los pastizales para prevenir el sobrepastoreo y promover un equilibrio ecológico;
- c. Adoptar y desarrollar variedades de semillas de cultivos resistentes, a las condiciones climáticas adversas y plagas, asegurando una producción sostenible;
- d. Desarrollar e implementar programas integrales que garanticen el acceso a alimentos nutritivos y de calidad para la población, especialmente en zonas vulnerables como la de este estudio.

El estudio de Ojeda-Bustamante et al. (2011) revela que el principal efecto del aumento de la temperatura en la agricultura será la aceleración del ciclo fenológico de los cultivos anuales, lo que significa que las diferentes etapas de desarrollo de las plantas, desde la germinación hasta la cosecha, se completarán en menos tiempo. Esta aceleración del ciclo fenológico puede tener consecuencias negativas para la productividad de los cultivos, ya que podría reducir el tiempo disponible para la acumulación de biomasa y el rendimiento final.

Para enfrentar este desafío, Ojeda-Bustamante et al. (2011) Propone dos estrategias de adaptación:

1. Implementación de variedades híbridas con ciclo más largo de desarrollo anuales y resistencia al estrés térmico, lo cual, permitiría a las plantas tener más tiempo para crecer y producir antes de la cosecha, incluso en condiciones de temperaturas más elevadas o expuestas al estrés térmico. Existen variedades de semillas mejor equipadas genéticamente para tolerar las altas temperaturas y sus efectos negativos sobre el crecimiento y la producción;
2. Compactación del período o calendario de siembra hacia los meses más fríos, ya que las plantas se encontrarán en sus etapas más sensibles durante los períodos con temperaturas más bajas, lo que reduciría el impacto negativo del estrés térmico en su desarrollo.

La implementación de estas estrategias de adaptación, en conjunto con otras medidas de manejo agronómico adecuadas, podría ayudar a mitigar los efectos adversos del aumento de la temperatura en el ciclo fenológico de los cultivos anuales y contribuir a la seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático, ya que, el aumento de la temperatura, en general, disminuye la producción en todos los escenarios evaluados. Por otro lado, los cambios en la precipitación pueden tener un impacto positivo o negativo en la producción, con un alto grado de incertidumbre según los diferentes modelos climáticos globales (Abraha y Yohannes, 2013).

Rendimiento promedio del cultivo de la papa frente a las variables climáticas

Tabla 34

Resumen del modelo del rendimiento de papa y variables climáticos

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0.839 ^a	0.704	0.599	1084.62201

Nota: a. Variables predictoras: (Constante), temperaturas mínimas, días de precipitación, temperaturas máximas, precipitación total

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 34, se observa una relación altamente significativa entre las variables analizadas. El coeficiente de determinación R cuadrado, de 0.704, indica que aproximadamente el 70.4 % de las variaciones en el rendimiento del cultivo de papa durante los últimos 20 periodos en la cuenca del río Coata, pueden ser explicadas por los cambios en las temperaturas y precipitaciones pluviales.

Tabla 35

ANOVA^a de la regresión residual total para el cultivo de papa, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

	Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	26928023.736	4	6732005.934	5.723	0.005 ^b
	Residual	17646073.520	15	1176404.901		
	Total	44574097.256	19			

Nota: a. Variable dependiente: Papa

b. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, Temperatura máxima, Precipitación Total

La Tabla 35 muestra que, que existe un predominio significativo de las variaciones de la temperatura y las precipitaciones pluviales en el rendimiento del cultivo de papa en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante el período de 1994 a 2014, lo cual se sustenta y está acorde con la prueba de hipótesis de la distribución F con el análisis ANOVA, cuyo valor de C es mayor que F (2.24). Esta conclusión se sustenta en el valor de significancia de 0.005 (equivalente al 0.5 %), el cual es considerablemente menor que el nivel de error establecido en 0.05 (o 5 %).

Los resultados de la Tabla 36 revelan que las temperaturas máximas, los días de precipitación y las temperaturas mínimas ejercen una influencia altamente significativa ($p < 0.05$) en el rendimiento del cultivo de papa en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante el período de 1994 a 2014.

Tabla 36

Coeficientes no estandarizados y tipificados de las variables climáticas - papa

Modelo			Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
			B	Error típ	Beta		
(Constante)			- 52067.583	13668.753		-3.809	0.002
1	Precipitación	Total	-15.025	40.156	-0.114	-0.374	0.714
		Días	1313.763	415.161	0.888	3.164	0.006
	Temperatura	Máxima	2977.397	748.062	1.010	3.980	0.001
		Mínima	-2403.648	827.873	-0.677	-2.903	0.011

Nota: Variable dependiente: Papa

Se observa:

- Una relación positiva y altamente significativa ($p = 0.001$) entre las temperaturas máximas y el rendimiento del cultivo;
- La influencia de los días de precipitación sobre el rendimiento del cultivo también es positiva y altamente significativa con un valor de ($p = 0.006$);
- En contraste, las temperaturas mínimas presentan una relación negativa y significativa ($p = 0.011$) con el rendimiento del cultivo;
- En cuanto a la precipitación total, a diferencia de las demás variables climáticas, esta no presenta una influencia significativa ($p > 0.05$) sobre el rendimiento del cultivo. Sin embargo, se observa una tendencia negativa en su relación con el rendimiento;

- e. En relación al coeficiente de determinación (C), este valor es superior a 2.093 para todas las variables climáticas, excepto para la precipitación total, donde el valor es menor o igual a 2.093.

La disminución relativa del rendimiento de los cultivos, se estimó en función de un elemento relevante como lo es: el estrés hídrico, el cual depende del contenido de humedad del suelo. Este contenido promedio se comprobó para el área de estudio mediante un enfoque simple de balance hídrico. La reducción promedio del rendimiento de los cultivos durante 20 años para todos los escenarios se vio afectada por la disminución irregular de las precipitaciones pluviales (Hahn et al., 2009).

Podría esperarse que los impactos del cambio climático en la agricultura sean más severos en los países en desarrollo de las zonas tropicales. Esto se debe a la alta dependencia de la agricultura de subsistencia, la sensibilidad de los recursos agrícolas al clima, la pobreza que limita la capacidad de adaptación y el desafío actual que representa el crecimiento de la población para la seguridad alimentaria. En consecuencia, el cambio climático presenta una grave amenaza para la seguridad alimentaria en estas regiones. La implementación de estrategias de adaptación y mitigación es crucial al apoyar a estas poblaciones a enfrentar los impactos del cambio climático y garantizar su seguridad alimentaria a largo plazo.

Las evaluaciones cuantitativas sobre los efectos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos tropicales son, en gran medida, inciertas, a pesar de que las proyecciones actuales sugieren un promedio negativo (Hahn et al., 2009). Se necesitan evaluaciones más consistentes a gran escala para comprender mejor estas repercusiones.

El estudio de Hahn et al. (2009) establece una relación lineal entre la disminución del rendimiento y el acortamiento del período de crecimiento, provocado por el aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones pluviales.

Tabla 37

Correlaciones bivariadas del cultivo de papa con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

		Papa	Precipitación		Temperatura		
			Total	Días	Máxima	Mínima	
Papa	Correlación de Pearson	1	0.006	0.257	0.349	-0.036	
	Sig. (bilateral)		0.979	0.275	0.131	0.880	
Precipitación	Total	Correlación de Pearson	0.006	1	0.811**	-0.438	0.233
		Sig. (bilateral)	0.979		0.000	0.053	0.324
	Días	Correlación de Pearson	0.257	**	1	-0.415	0.176
		Sig. (bilateral)	0.275	0.000		0.069	0.458
Temperatura	Máxima	Correlación de Pearson	0.349	-0.438	-0.415	1	0.506*
	Sig. (bilateral)	0.131	0.053	0.069		0.023	
Temperatura	Mínima	Correlación de Pearson	-0.036	0.233	0.176	*	1
		Sig. (bilateral)	0.880	0.324	0.458	0.023	

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

El análisis de la Tabla 37 revela que las temperaturas mínimas ejercen un efecto adverso sobre el cultivo de la papa. Esto se traduce en una disminución del rendimiento del cultivo a medida que las temperaturas descienden, evidenciando una mayor sensibilidad de la papa a las condiciones de frío. En la Cuenca del río Coata, Puno, Perú, según la información de esta misma tabla, se observó una relación positiva entre las temperaturas máximas, la precipitación total y los días de precipitación con el rendimiento de la papa, sin embargo, esta asociación no alcanzó significancia estadística.

El cambio climático tendrá un impacto significativo en los cultivos de secano debido a su propia naturaleza vulnerable, estos abarcan cerca del 60% de la superficie cultivable. La producción agrícola con respecto a este tipo de cultivo, se puede incrementar, como se ha nombrado anteriormente mediante la utilización de semillas de alta calidad, variedades de alto rendimiento y resistentes al estrés, junto con un manejo adecuado algunos insumos, especialmente el agua y los nutrientes. Los cambios climáticos repercuten en las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria: disponibilidad, acceso a los alimentos, estabilidad del suministro de alimentos y utilización de los alimentos.

Rendimiento promedio del cultivo de quinua frente a las variables climáticas.

Tabla 38

Resumen del modelo del rendimiento de quinua y variables climáticos, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0.815 ^a	0.664	0.575	168.95366

Nota: a. Variables predictoras: (Constante), temperaturas mínimas, días de precipitación, temperaturas máximas, precipitación total

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 38, se observa una relación altamente significativa entre el rendimiento del cultivo de quinua y las variaciones de temperatura y precipitación pluvial en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, durante los últimos 20 años. Esto se evidencia en el coeficiente de determinación R cuadrado de 0.664, el cual indica que aproximadamente el 66.4 % de las variaciones en el rendimiento del cultivo pueden ser atribuidas a los cambios en las condiciones climáticas mencionadas.

Tabla 39

ANOVA^a de la regresión residual total para el cultivo de quinua, cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

	Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	847197.365	4	211799.341	7.420	0.002 ^b
	Residual	428180.088	15	28545.339		
	Total	1275377.453	19			

Nota: a. Variable dependiente: Quinua

b. Variables predictoras: (Constante), temperatura mínima, días de precipitación, Temperatura máxima, Precipitación Total

De acuerdo a la Tabla 39, el análisis ANOVA y la prueba de hipótesis de la distribución F que mostraron un valor de $C > F$ (2.24), se encontró que existe una influencia significativa ($p < 0.05$) de las variaciones en las temperaturas y precipitaciones pluviales sobre el rendimiento del cultivo de quinua en el área de estudio durante el período 1994-2014. Esto se corrobora con el valor de significancia igual a $0.002 = 0.2\%$ que es mucho menor a un error del 0.05 (5 %).

Tabla 40

Coefficientes no estandarizadas y tipificadas de las variables climáticas - quinua, Cuenca Cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
		B	Error típ	Beta		
(Constante)		- 7948.622	2129.208		-3.733	0.002
1	Precipitación Total	22.193	6.255	0.997	3.548	0.003
	Precipitación Días	-72.179	64.670	-0.288	-1.116	0.282
	Temperatura Máxima	571.367	116.527	1.146	4.903	0.000
	Temperatura Mínima	-585.722	128.959	-0.975	-4.542	0.000

Nota: Variable dependiente: Quinua

De acuerdo con los resultados de la Tabla 40, se puede inferir que la precipitación total, las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas ejercen una influencia altamente significativa ($C > 2.093$) sobre el rendimiento del cultivo de quinua en la cuenca del Río Coata, Puno, Perú, durante el período comprendido entre 1994 y 2014. Esta influencia se ve reflejada en la significancia estadística de cada variable: precipitación total (sig. = 0.003), temperaturas máximas (sig. = 0.000) y temperaturas mínimas (sig. = 0.000). Por el contrario, los días de precipitación no presentan una influencia significativa ($C \leq 2.093$) sobre el rendimiento del cultivo.

En otras palabras, el estudio revela que la cantidad total de precipitación, las temperaturas más altas y las temperaturas más bajas durante el ciclo de crecimiento de la quinua son factores determinantes para el rendimiento del cultivo en la región mencionada. Por otro lado, la frecuencia de días con precipitación no parece tener un impacto significativo en la productividad del cultivo.

Tabla 41

Correlaciones bivariadas del cultivo de quinua con las variaciones climáticas en la cuenca del río Coata, Puno, Perú, 1994-2014

		Quinua	Precipitación		Temperatura	
			Total	Días	Máxima	Mínima
Quinua	Correlación de Pearson	1	0.034	-0.128	0.336	-0.214
	Sig. (bilateral)		0.888	0.592	0.148	0.364
Precipitación	Total					
	Correlación de Pearson	0.034	1	0.811**	-0.438	0.233
	Sig. (bilateral)	0.888		0.000	0.053	0.324
	Días					
Temperatura	Correlación de Pearson	-0.128	**	1	-0.415	0.176
	Sig. (bilateral)	0.592	0.000		0.069	0.458
	Máxima					
	Correlación de Pearson	0.336	-0.438	-0.415	1	0.506*
Temperatura	Sig. (bilateral)	0.148	0.053	0.069		0.023
	Mínima					
	Correlación de Pearson	-0.214	0.233	0.176	*	1
	Sig. (bilateral)	0.364	0.324	0.458	0.023	

Nota: **. La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Con respecto al cultivo de Quinua y debido al cambio climático, se observa un aumento en la temperatura ambiental, el cual presenta variaciones tanto espaciales como temporales. Este incremento de la temperatura tendrá un impacto significativo en los cultivos anuales de Quinua, principalmente en la reducción de su ciclo fenológico.

Se propone la implementación de medidas de adaptación para enfrentar los desafíos climáticos, como en el caso de la papa, tales como utilización de variedades de ciclo más largo y resistentes al estrés térmico y compactación del periodo de siembra hacia los meses más fríos (Ojeda-Bustamante et al., 2011).

De acuerdo con los datos de la Tabla 41, se observa una influencia negativa de los días de precipitación y las temperaturas mínimas sobre el rendimiento del cultivo de quinua en la cuenca del río Coata, Puno, Perú. Esto significa que a mayor temperatura mínima, menor será el rendimiento obtenido. En contraste, las temperaturas máximas y la precipitación total presentan una relación positiva con el rendimiento de la quinua en la zona mencionada. En otras palabras, un aumento en las temperaturas máximas y la precipitación total favorece el crecimiento y la producción de quinua, mientras que un mayor número de días con precipitaciones y temperaturas mínimas más elevadas perjudica el rendimiento del cultivo.

En las últimas tres décadas, el norte de China ha experimentado un cambio climático significativo, caracterizado por variaciones en la temperatura, las precipitaciones y la radiación solar. Estos cambios han tenido un impacto positivo en el rendimiento del trigo de la región, incrementándose entre un 0,9 % y un 12,9 %. Por el contrario, en el sur de China, la misma tendencia climática ha provocado una reducción del rendimiento del trigo que oscila entre el 1,2 % y el 10,2 %. Esta disparidad espacial en los efectos del cambio climático sobre el trigo resalta la complejidad de las interacciones entre el clima y la agricultura (Tang et al., 2010).

Se ha observado que el rendimiento y las características de calidad del grano se ven más afectados por el aumento de las temperaturas que por los cambios en las precipitaciones. Se proyecta que los cambios climáticos venideros tendrán un impacto significativo en las características de calidad del grano, lo que afectará a su valor en diferentes mercados y a su uso final (Tang et al., 2010).

De igual manera, el calentamiento global podría acortar el período de crecimiento de los cultivos. Se prevé que la producción y la productividad de todos los cultivos, independientemente de su variedad, disminuyan debido a la mayor necesidad de agua como consecuencia de la menor precipitación y las temperaturas significativamente más altas (Tang et al., 2010).

Los sistemas de producción agropecuaria de secano se enfrentan a un panorama preocupante, caracterizado por una baja productividad. Esta situación se ve agravada por la recurrencia de períodos secos prolongados y sequías, los cuales ocasionan pérdidas considerables en las cosechas. Adicionalmente, se prevé que el cambio climático intensifique estos eventos climáticos extremos, lo que podría exacerbar aún más la problemática de la baja productividad en este tipo de sistemas agrícolas (Tang et al., 2010).

En el contexto de la agricultura de secano, donde las prácticas de gestión mejoradas son esenciales para incrementar la productividad, resulta crucial analizar a fondo el impacto de la fecha de siembra. En un escenario de cambio climático, con alteraciones en las condiciones climáticas, se prevé una reducción del ciclo de crecimiento de los cultivos, lo que a su vez afectaría negativamente los rendimientos. (Tang et al., 2010).

4.9. Conclusiones

- La Cuenca del río Coata ha experimentado un aumento promedio de 0.03°C en las temperaturas máximas anuales durante un período de 47 años. Las estaciones de Cabanillas, Capachica, Juliaca y Pampauta revelan predisposiciones positivas en las temperaturas máximas con un

nivel de significancia estadística de 0.05. La estación de Lampa presenta una predisposición positiva en las temperaturas máximas con un nivel de significancia estadística de 0.1.

- En la estación Lampa, se observa un comportamiento temporal estable, las predisposiciones o tendencias de las temperaturas medias dichas estaciones exhiben un claro cambio de incremento de 0.024°C por año. A nivel anual, este incremento es altamente significativo con un nivel de evidencia de 0.01. Cabe destacar que, en la estación Cabanillas, la tendencia es contraria, con una disminución de 0.005°C , aunque con evidencia leve. Igualmente se ha observado, un incremento en las temperaturas mínimas a nivel de cuenca, con una tasa de aumento de 0.0004°C por año. Las estaciones de Cabanillas y Lampa presentan una tendencia negativa significativa, con un valor de 0.01.
- En la estación de Cabanillas, según la data analizada, indica que las precipitaciones en mayo muestran una tendencia a la baja, con un nivel de significancia estadística de 0.10. Esto representa que la cantidad de lluvia está reduciendo en este mes. A nivel anual, el comportamiento de las precipitaciones en las estaciones analizadas es constante, pero con una reducción de 0.17 mm por año, en otras palabras, no se observan cambios significativos en la cantidad de lluvia a nivel anual. Las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Coata, Puno, Perú, registran variabilidad climática con periodos secos y húmedos a lo largo de los años. Sin embargo, no se observa una tendencia regional definida hacia una disminución de la precipitación en la cuenca.
- Se ha observado una relación significativa entre los días de precipitación y temperatura máxima y los rendimientos del cultivo de haba grano seco, con un aumento de 13,28 kg/ha. Por otro lado, las temperaturas mínimas y la precipitación total no presentan una marca considerable, aunque sí negativa.
- Se observó un aumento en los días con precipitación, lo que, junto con las temperaturas máximas, medias y mínimas, crea un impacto signifi-

cativo en el rendimiento de los cultivos de papa, con 23.45 kg/ha. Por otro lado, la precipitación total no presenta un impacto significativo, aunque sí una tendencia negativa.

- El estudio reveló que la precipitación total, las temperaturas máximas y mínimas, impactan negativamente el rendimiento del cultivo de quinua, provocando pérdidas de hasta 39,11 kg/ha. Sin embargo, los días de precipitación tienen un efecto contrario, incrementando el rendimiento del cultivo en 29,12 kg/ha.

4.10 Recomendaciones

- Para la formulación de políticas de desarrollo sostenible a nivel regional y nacional, las cuales a su vez proporcionarán la implementación de programas de adaptabilidad. Es recomendable que se lleven a cabo estudios investigativos que emplean series de tiempo de mayor extensión temporal.
- Para comprender adecuadamente las variaciones en la producción agrícola del altiplano en el contexto del cambio climático, es necesario realizar estudios investigativos que incluyan análisis de series de tiempo con pruebas de bondad de ajuste.
- Se sugiere a los actores implicados en la gestión del sistema de cultivos andinos la elaboración y ejecución de bancos de datos que registren los rendimientos de los cultivos en la región, con el fin de facilitar su posterior evaluación.
- En el contexto del cambio climático, se exhorta a las instituciones públicas, privadas y a los sectores implicados en la gestión y el aprovechamiento de los recursos hídricos, que lleven a cabo investigaciones que consideren dimensiones y factores climáticos. Para ello, se sugiere la adopción de nuevas metodologías, como modelos estocásticos, aplicables a diversos escenarios presentes y futuros.

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES FINALES SOBRE LA AGRICULTURA Y SU CORRESPONDENCIA CON LAS VARIABLES CLIMÁTICAS (TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN) COMO PARTE DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

Según se desprende del análisis de los tres primeros capítulos, el cambio climático encuentra su origen principal en el calentamiento global, producto del incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero, debido a las actividades económico sociales y al aumento de la población. Dicho de una forma más sintética, el cambio climático, se ha exacerbado en las últimas décadas por responsabilidad directa del ser humano. Por ello, las variaciones en las condiciones meteorológicas, así como el cambio

en los ecosistemas y la pérdida de biodiversidad planetaria son problemas que en la actualidad no pueden seguir soslayando, sobre todo si empiezan a tener un impacto en zonas donde las actividades económicas, el entorno geográfico y las personas tienen una relación armónica y equilibrada de coexistir con la naturaleza (Lozano-Povis et al., 2021).

Ahora bien, dentro de todas aquellas actividades que el hombre ha realizado, a parte de la industria y el uso de los recursos fósiles, se encuentra una que ha estado presente su historia casi desde sus inicios: la agricultura. Esta actividad, en la actualidad tiene una manera particular de relacionarse con el cambio climático, puesto que por un lado, es una de las dimensiones trascendentales en el surgimiento del calentamiento global y, por otra parte, es uno de los sectores más afligidos por los cambios climatológicos.

Si se considera a una escala local, no podría ser pensada como una de las acciones más dañinas para el planeta y para el clima; pero si se enfoca el problema desde una escala global y actual, entonces se comprende que su desarrollo contribuye significativamente en el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se debe a que cuando la agricultura se realiza en términos industriales, empiezan a surgir una serie de técnicas y tecnologías que hacen de aquella actividad un peligro para el medio ambiente del planeta.

Desde la década del 50 del siglo pasado el uso de los fertilizadores naturales no era suficiente para el cultivo de los alimentos, por ello se hizo necesario el uso de fertilizantes artificiales. Además, con el aumento exponencial de los cultivos agrícolas, se ha incrementado las plagas, lo que ha generado que se incorporen insecticidas y fungicidas que contienen altos niveles de óxido nitroso y óxido nítrico, así como dióxido de carbono. Por otra parte, cada vez se necesitan más extensiones de tierra para cultivar los alimentos y con ello compensar la solicitud incesante del emporio poblacional mundial. Por último, la implementación de técnicas de monocultivo y la adopción de una agricultura intensiva perjudican la escala de producción de los suelos y disminuye la biodiversidad alimenticia.

Cabe precisar que, si se considera a la agricultura como una causa que favorece el acrecentamiento de las emisiones de los gases de efecto invernadero y con ello al cambio climático, se hace referencia a la agricultura industrial intensiva, pues es esta clase de actividad agrícola la que sobreexplota los suelos y utiliza ingentes cantidades de fertilizantes y pesticidas. En cambio, la agricultura familiar y la agricultura que adopta técnicas extensivas con fines económicos no se caracteriza por emplear constantemente aquellas prácticas.

Por otra parte, si se considera a la agricultura no como un factor responsable de los cambios climáticos, sino como una actividad que padece las consecuencias de los cambios en las temperaturas y las variaciones en las precipitaciones, entonces el tipo de agricultura que se ve más afectado es la agricultura familiar.

La razón para afirmar ello, tiene su fundamento en tres premisas: La primera es que la agricultura familiar, como se ha visto, emplea métodos extensivos para el cultivo de los alimentos; esto significa que no utiliza grandes áreas de tierras, no hace un uso constante de fertilizantes y evita la sobreexplotación del suelo. La segunda premisa es que, según la Programa de Formación Agraria y de Apoyo al emprendimiento juvenil (FORMAGRO), (2020), la agricultura familiar, emplea métodos tradicionales de cultivo, tales como la agricultura de secano, que se caracteriza por utilizar solamente las precipitaciones pluviales y las aguas subterráneas, pues los lugares donde practican la agricultura se caracterizan por ser presentar un clima tórrido o uno gélido, lo cual significa que las precipitaciones son estacionales.

Finalmente, la tercera premisa, que se relaciona más con la presente investigación, se refiere a las condiciones geográficas del lugar donde se realiza la agricultura (Pintado, 2016). En este caso, la región de Puno que se sitúa a más de 3.827 metros del nivel del mar tiene una cercanía con la troposfera media. Esta parte de la atmósfera se considera que es una de las zonas que mayores alteraciones ha presentado producto del cambio

climático. Por ello es de esperarse que las regiones que se sitúan próximas a la Cordillera de los Andes se vean afectadas directamente y con mayor impacto que otras zonas de menor altitud.

Entonces, por lo expuesto, se puede ver con mayor nitidez que la agricultura familiar, de todos los tipos de agricultura que se practican, es la más afectada por los cambios climáticos y, aún más así aquella agricultura se desarrolla en las zonas altoandinas, puesto que los cambios en los niveles de la temperatura atmosférica y los aumentos o descensos en las volúmenes de precipitación pluvial pueden ocasionar fuertes periodos de heladas agrometeorológicas que ocurren cuando el nivel de la temperatura del aire desciende a 0°C o incluso menos y también pueden ocasionar friajes que ocurre por el ingreso del aire frío proveniente del sur de la selva. Esto es perjudicial, puesto que cuando se registran con mayor frecuencia las temperaturas mínimas, la cosecha de los alimentos suele ser baja, dado que los alimentos no alcanzan el proceso de maduración o, en caso contrario, los alimentos cosechados presentan una reducción significativa en su volumen y peso (Belizario, 2015). Asimismo, el alza de la temperatura podría propiciar un crecimiento más rápido de las cosechas, lo cual se torna perjudicial en caso de no presentarse precipitaciones suficientes durante ese lapso ; ya que ocasiona que el rendimiento de la producción disminuya.

Entonces, como se ha mostrado a lo largo de la presente investigación, la agricultura, sobre todo la de índole familiar, es una de las actividades económicas que mayor consecuencia padece por el cambio climático producto de la diversificación en la temperatura y en las precipitaciones (Caira et al., 2021). Ahora, lo que cabe esperar es una gestión contigua por parte de las autoridades locales y regionales, así como del Estado peruano, para poder mitigar en algún grado los efectos de aquella problemática que no solo es de índole económica, sino sobre todo social, puesto que son miles de grupo familiares los que se consagran a trabajar en el sector agrícola en las zonas altoandinas.

Si la agricultura familiar gradualmente se torna impracticable, por las condiciones climáticas y geográficas que tiene que afrontar, entonces lo que ocasionará eventualmente es, en primer lugar, un problema de seguridad alimentaria, puesto que miles de familias de las zonas andinas no tendrán los alimentos necesarios para su sustento, lo que agravará los problemas de desnutrición que ya se padecen en aquellas regiones. En segundo lugar, ocasionará un problema de desabastecimiento, puesto que en el Perú la agricultura familiar es la base que permite que miles de personas puedan acceder a diversos productos alimentos traídos desde distintas partes de la región. En tercer lugar, las familias que practican este tipo de agricultura se verán en la necesidad de migrar a otras zonas con la intención de encontrar una actividad laboral que les permita obtener los ingresos para cubrir sus necesidades básicas y la de sus familiares. Lo que origina un cuarto problema de índole social, que es la exposición de aquellas familias a trabajos mal remunerados o labores que se caracterizan por una sobre-explotación.

Por ello, el Estado peruano y las autoridades locales tiene que comenzar por elabora estudios que les permitan obtener el material teórico e informático de la condiciones climáticas, geográficas, sociales y económicas de aquellas zonas con la finalidad de elaborar políticas de prevención e implementar estrategias de acción, de tal manera que la agricultura familiar pueda adaptarse con éxito a los cambios y condiciones que los nuevos tiempos exigen. Estas políticas y estrategias tiene que caracterizarse por una orientación asistencialista, formativa y técnica, ya que así las familias altoandinas podrán estar en la plena capacidad de aprender e implementar directrices que les permitan continuar ejerciendo una de las actividades que forman parte intrínseca de su modo de vida y cosmovisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraha, B. y Yohannes, G. (2013). The role of seed priming in improving seedling growth of maize (*Zea mays* L.) under salt stress at field conditions. *Agricultural Sciences*, 4(12). 10.4236/as.2013.412089
- Abraha, M. & Savage, M. (2006). Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1), 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.020>
- Alonso, V. (2017). El permafrost, un suelo congelado afectado por las variaciones climáticas del Cuaternario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(1), 48-58. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6979864>
- Andreola, F., Lancellotti, I., Manfredini, T. y Barbieri, L. (2020). The circular economy of agro and post-consumer residues as raw materials for sustainable ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17(1), 22-31. <https://doi.org/10.1111/ijac.13396>.
- Araya, T., Fezzehazion, M. y Du Plooy, C. (2019). 204 Review 205 African Leafy Vegetables: A Review of Status, Production and Utilization 206 in

- South Africa 207. *Pre-And Post-Harvest Response of Selected Indigenous Leafy Vegetables to Water Stress*, 10(16), 25. <https://bit.ly/3Db5FKZ>.
- Ayres, R. (2017). Fire and Water: Technologies Extending Nature. En Ayres, R. (Ed.), *The History and Future of Technology* (7-31). <https://bit.ly/3kpqrPO>.
- Azam-Ali, S. (2021). *The Ninth Revolution. Transforming Food Systems for Good*. World Scientific. <https://bit.ly/3ksKzQO>.
- Barlasina, M. & Copes, G. (2019). *Boletín de Gases de efecto invernadero y gases reactivos*. Obtenido de El Abrigo Repositorio institucional del Servicio Meteorológico Nacional: <http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1110>
- Belizario, G. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú. *Revista de investigación altoandina*, 17, 47-52. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Bonneuil, C. & Fressoz, J. (2020). El acontecimiento antropoceno. *Ciencias Sociales y Educación*, 9(17), 251-280. doi:<https://doi.org/10.22395/csye.v9n17a12>
- Bornare, D., Nagarajan, R. y Barge, R. (2018). Improvement of Supplementary Irrigation Water Quality for Rain-Fed Agriculture in the Semi-Arid Region Using Magnetization Techniques. *Journal of Water Resource and Protection*, 10(12), 1198-1209. <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=89629&#abstract>.
- Caira, C., Lopez, C. y Carhuarupay, Y. (2021). Efecto de la temperatura y precipitacion sobre la agricultura en la cuenca Cuenca del río Coata, Puno,

- Perú-Puno, Perú. *Revista de investigación en ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5(14), 285-296. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.118>
- Cantú, P. (2020). Deliberación del cambio climático desde la bioética global. *Revista Iberoamericana De Bioética*(13), 1-11. doi:<https://doi.org/10.14422/rib.i13.y2020.004>
- Cardona, J., Lamprea, M. & Cubides, F. (2021). Sobre el concepto de cambio climático e implicaciones: Construcción desde el aula. *Revista Internacional De Pedagogía E Innovación Educativa*, 1(2), 87-102. doi:<https://doi.org/10.51660/ripie.v1i2.39>
- Castellaro, G., Orellana, C. y Escanilla, J. (2021). Summer Diet of Horses (*Equus ferus caballus* Linn.), Guanacos (*Lama guanicoe* Müller), and European Brown Hares (*Lepus europaeus* Pallas) in the High Andean Range of the Coquimbo Region, Chile. *Animals*, 11(5), 1-20. <https://doi.org/10.3390/ani11051313>.
- Chakraborty, S., Tiedemam, A. y Teng, P. (2000). Climate change: potential impact on plant diseases. *Environmental Pollution*, 108(3), 317- 326. 10.1016/s0269-7491(99)00210-9
- Chen, J., Brissette, F., Poulin, A. y Leconte, R. (2011) Overall Uncertainty Study of the Hydrological Impacts of Climate Change for a Canadian Watershed. *Water Resources Research*, 47, W12509.<https://doi.org/10.1029/2011WR010602>
- Chow, W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw Hill. <https://bit.ly/30dTrT9>

- Cisneros-Zayas, E., Venero-Delgado, Y., Placeres-Miranda, Z. & González-Robaina, F. (2019). El viento y su influencia en los parámetros de calidad del riego. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(4), 27-35. <https://bit.ly/3c2Up7t>
- Costantini, E., Antichi, D., Almagro, M., Hedlund, K., Sarno, G. y Virto, I. (2020). Local adaptation strategies to increase or maintain soil organic carbon content under arable farming in Europe: Inspirational ideas for setting operational groups within the European innovation partnership. *Journal of Rural Studies*, 79(7), 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.005>.
- Darwin. R., Tsigas, M., Lewandrowski, J. y Ranases, A. (1999). World Agriculture and Climate Change Economic Adaptations. *Agricultural Economic Report, Number 703*. https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/40597/32471_aer703_002.pdf?v=9096.6
- Davey, M., Brookshaw, A. y Ineson, S. (2014). The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. *Climate Risk Management*, 1, 5-24. doi:10.1016/j.crm.2013.12.002
- Deléage, J. & Hémery, D. (2021). De la eco-historia a la ecología-mundo. *Relaciones Internacionales*(47), 53-66. doi:<https://doi.org/10.15366/relaciones-internacionales2021.47.002>
- Delgado, C., Bautista, F. & Palma-López, D. (2017). Duración del periodo de lluvias y aptitud de tierras para la agricultura de temporal. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 485-497. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1320>
- Denham, T. (2017). Domesticatory Relationships in the New Guinea Highlands. En Golson, J., Denham, T., Hughes, P., Swadling, P. y Muke, J. (Eds.), *Ten*

- thousand years of cultivation at Kuk Swamp in the highlands of Papua New Guinea* (39-50). Vol. Terra Australis 46. ANU Press. <http://library.oapen.org/handle/20.500.12657/31189>
- Despoudi, S., Spanaki, K., Rodriguez-Espindola, O. y Zamani, E. (2021). *Agricultural Supply Chains and Industry 4.0*. Springer Books. <https://bit.ly/3w-G57um>
- Dev, S. (2019). Agriculture-nutrition linkages and policies in India. *Gates Open Res*, 3(897), 1-32. <https://doi.org/10.21955/gatesopenres.1115790.1>.
- Dilas, J., Ortecho, R., & Alvarez, A. (2020). Captura de Carbono: Un enfoque sobre el cambio climático y los servicios ecosistémicos en el Perú. *Alpha Centauri*, 1(2), 2-14. doi:<https://doi.org/10.47422/ac.v1i2.8>
- Dodd, W., Gómez, M., Orellena, P., Humphries, S., Sadoine, M., Zombré, D., Zinszer, K., Kipp, A, & Cole, D. (2020). Factors associated with seasonal food insecurity among small-scale subsistence farming households in rural Honduras. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030706>
- Donoso, S. (2020). Cambio climático: Un fenómeno alimentado por la desigualdad. *Cuadernos Médico Sociales*, 60(2), 41-47. Obtenido de <https://www.gentedelacalle.cl/wp-content/uploads/2020/09/CMSPersonasCalle.pdf#page=41>
- Doussoulin-Escobar, E. & Chalco-Cano, Y. (2018). Energía solar: nuevos desafíos para el desarrollo y crecimiento sostenible de la agricultura en zonas desérticas. *Idesia (Arica)*, 36(4), 3-5. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002304>

- Duke, G. (2017). *Consuming Identities. Communities and Culinary Practice in the Late Moche Jequetepeque Valley, Peru* [Doctoral dissertation, University of Toronto (Canada)]. TSpace Repository. <http://hdl.handle.net/1807/78507>.
- Duque-Escobar, G. (2016a, 19 y 20 de mayo). *Clima andino y problemática ambiental* [sesión de conferencia]. IV Foro Ambiental, Caldas, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/3C62gvw>
- Duque-Escobar, G. (2016b, 24 de julio). *Agua y clima en el desafío ambiental* [sesión de conferencia]. III Encuentro de Responsabilidad Social con El Territorio: Cumbre de Salento, Quindío, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/3Hd6w04>
- Esperbent, C. (2017). El cambio del clima deja su huella en la agricultura. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(2), 108-112. <https://bit.ly/2YHcFQY>
- FAO (2002). World agriculture: towards 2015/2030 summary report. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*. <https://www.fao.org/3/y3557e/y3557e.pdf>
- Francisco, D. (2017). Estimación de bajas temperaturas en la Isla de Tenerife y valoración de resultados para el cultivo de mango, guayaba y noni en agricultura ecológica. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2), 399-414. <https://doi.org/10.5209/AGUC.57731>
- Galindo, L.M. (2009). La economía del cambio climático en México. Síntesis. <https://bit.ly/30jr3zy>
- Galindo-Araque, D., Vargas-Sarmiento, M. & Corredor-Gómez, J. (2017). Caracterización de Temperatura y Humedad de Suelos Agrícolas. *Letras Con-Ciencia TecnoLógica*, 16, 24-31. <https://bit.ly/3qu85Rm>

- Gates, P. (2017). *The Farmer's Age: Agriculture, 1815-60*. Routledge. <https://bit.ly/3n47TpQ>
- Gerhardt, C., Suhlmann, G., Ziemßen, F., Donnan, D., Warschun, M. y Kühnle, H. (2020). How Will Cultured Meat and Meat Alternatives Disrupt the Agricultural and Food Industry? *Industrial Biotechnology*, 16(5), 262-270. <https://doi.org/10.1089/ind.2020.29227.cge>
- Gherardi, L. y Sala, O. (2019). Effect of interannual precipitation variability on dryland productivity: A global synthesis. *Global Change Biology*, 25(1), 269-276. <https://doi.org/10.1111/gcb.14480>
- Gobierno Regional de Puno. (2008). *Plan estratégico regional del sector agrario de Puno 2009-2015*. Dirección Regional de Agricultura Puno. Oficina de Planificación Agraria. <https://bit.ly/3D8dS2J>
- González, I., Rodríguez, A. & Sastoque, J. (2016). La Incidencia de la Precipitación y el Área Sembrada Frente a la Producción de Arroz en el Departamento del Meta. *El Conuco*, 3(1), 1-15. <https://bit.ly/3ksYNBc>
- Guerrero, M., Gómez, J. & Sánchez, S. (2021). Determinantes de la adopción de instrumentos de gestión del riesgo en la agricultura de regadío. *ITEA-Información Técnica Económica*, 117(4), 449-473. doi:<https://doi.org/10.12706/itea.2021.001>
- Hahn, M. B. (2009). The livelihood vulnerability index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change-a case study in Mozambique. *Global Environmental Change*, 19(1), 74-88. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002>

- Halvorsen, L. y Hjelle, K. (2017). Prehistoric agriculture in Western Norway—evidence for shifting and permanent cultivation based on botanical investigations from archaeological sites. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 13(3), 682-696. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.05.011>.
- He, K., Lu, H., Zhang, J., Wang, C. & Huan, X. (2017). Prehistoric evolution of the dualistic structure mixed rice and millet farming in China. *The Holocene*, 27(12), 1885–1898. <https://doi.org/10.1177/0959683617708455>.
- Hermi, M. (2021). Cambio climático antropogénico y decrecimiento. *Ar@cne: revista electrónica de recursos en internet sobre geografía y ciencias sociales*, 25(250), 1-30. doi:<https://doi.org/10.1344/ara2021.250.33232>
- Hernández, P. (2021). El cambio climático y las implosiones del ser humano. *Con-Ciencia Serrana Boletín Científico De La Escuela Preparatoria Ixtlahuaco*, 3(5), 11-14. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/6850>
- Hernández, Y. (2020). Cambio climático: causas y consecuencias. *Renovat: Revista De Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales, Tecnología E Innovación*, 4(1), 38–53. Obtenido de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3517>
- Hernández-Vicente, P. (2021). El cambio climático y las implosiones del ser humano. *Con-ciencia Serrana*, 3 (5), 11-14. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/6850/7843>
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for policy makers. IPCC WGII 4th. Praga, República Checa. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>

- Isaac, B. (2017). *Empire and Ideology in the Graeco-Roman World. Selected Papers*. Cambridge University Press. <https://bit.ly/3c0qVXV>.
- Kader, M., Singha, A., Begum, M., Jewel, A., Khan, F. y Khan, N. (2019). Mulching as water-saving technique in dryland agriculture. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7>.
- Kostas, E., Adams, J., Ruiz, H., Durán-Jiménez, G. y Lye, G. (2021). Macroalgal biorefinery concepts for the circular bioeconomy: A review on biotechnological developments and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151(17), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111553>.
- Kreuz, A. y Marinova, E. (2017). Archaeobotanical evidence of crop growing and diet within the areas of the Karanovo and the Linear Pottery Cultures: a quantitative and qualitative approach. *Vegetation History and Archaeobotany*, 26(6), 639-657. <https://doi.org/10.1007/s00334-017-0643-x>
- Lieberman, B. y Gordon, E. (2018). *Climate change in human history. Prehistory to the present*. Bloomsbury Publishing. <https://bit.ly/3C6e7ty>
- Lieberman, B., & Gordon, E. (2021). *El cambio climático en la historia de la humanidad. Desde la prehistoria hasta el presente*. (I. Blanco, Trad.) España: Editorial Almuzara. Obtenido de <https://bit.ly/3on9oie>
- López, A., & Hernández, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496. doi:<https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>

- López, D. & Pantoja, M. (2021). El impacto de las sequías en la agricultura. *Jóvenes En La Ciencia*, 12, 1-5. <https://bit.ly/3n3ntCg>
- Lozano-Povis, A. Ivarez-Montalván, C. y Moggiano., N. (2021). El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101-108. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- Lozano-Rivas, W. (2018). *Clima, hidrología y meteorología. Para ciencias ambientales e ingeniería*. Universidad Piloto de Colombia. <https://bit.ly/3c2UKXX>
- Marie, P. (2018). *The Evolution of Agricultural Technology*. Britannica Educational Publishing. <https://bit.ly/3ks5tQd>.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). Cambio Climático: Informe de síntesis. Guía resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC. https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia-sintesis-resumida_tcm30-376937.pdf
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2015). *Evaluaciones de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad de la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la inseguridad alimentaria familiar con enfoques de adaptación de los medios de subsistencia – AMICAF*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01403SENA-9.pdf>
- Mondragón, F. (2021). Ciclos del dióxido de carbono en la formación y utilización de combustibles fósiles y su efecto en el cambio climático. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(176), 833–849. doi:<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1364>

- Morales-Casco, L. & Zúniga-González, C. (2016). Impactos del cambio climático en la agricultura y seguridad alimentaria. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 269-291. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v2i1.5700>
- Nicholls, C. & Altieri, M. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(1), 55-61. <https://bit.ly/3kw1jqj>
- Noriega, C. (2018). Nuestro mar de cada día. Óptimas condiciones oceanográficas y actividades sostenibles. *Cultura*, 32, 189-210. <https://doi.org/10.24265/cultura.2018.v32.09>
- Obeso., J y Lailolo., P. (2021). Cambio climático y variación de los ciclos vitales con la altitud. *Ecosistemas*, 30 (1). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2145>
- Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Íñiguez-Covarrubias, M. y Montero-Martínez, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1), 1-11. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000100001&lng=es&tlng=es.
- Oldani, J. (2020). *La meteorología*. De Vecchi. <https://bit.ly/3kvxne7>
- Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J. & Rodríguez, M. (2016). Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. *Acta Nova*, 7(3), 266-283. <https://bit.ly/3ksRcTi>

- Petrone, P. (2020). Cambio climático y su impacto sobre la salud humana. *Revista Colombiana de Cirugía*, 35(3), 347-350. Obtenido de <https://www.re-dalyc.org/articulo.oa?id=355566075003>
- Pintado, M. (2016). Agricultura familiar y seguridad alimentaria en Puno. <https://cepes.org.pe/wp-content/uploads/2019/01/af-y-situacion-alimentaria-en-puno.pdf>
- Polk, M., Mishra, N., Young, K. y Mainali, K. (2020). Greening and browning trends across Peru's diverse environments. *Remote Sensing*, 12(15), 1-21. <https://doi.org/10.3390/rs12152418>.
- Programa de Formación Agraria y de Apoyo al emprendimiento juvenil. (8 de abril, 2020). El futuro de la agricultura familiar [boletín N°11]. <https://www.formagro.org/boletin/boletin-formagro-8-el-futuro-de-la-agricultura-familiar/>
- Pyszczyk, O. (2020). Cambio Climático y sostenibilidad. *Geográfica Digital. Revista del Instituto de Geografía de la UNNE*, 17(34). Obtenido de <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/geo/article/view/4671/4377>
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A. & Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.06.003>
- Roberts, E. Hadley, E. y Summerfield, R. Effects of Temperature and Photoperiod on Flowering in Chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Annals of Botany*, 55(6), 881-892, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086969>

- Safriel, U. (2009). Deserts and desertification: Challenges but also opportunities. *Land Degradation & Development*, 20(4), 353–366. <https://doi.org/10.1002/ldr.935>.
- Salas, W., Grueso, S. & Bernal, D. (2020). *Agricultura sostenible como alternativa de control y mitigación de impactos ambientales*. Obtenido de DSpace Repositorio Universidad de Cali: <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/4954>
- Sanabria, J., Marengo, J. & Velarde, M. (2010). Escenarios de Cambio Climático con modelos regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). *Revista Peruana Geo Atmosférica*, (1), 134-149. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1076/Escenarios-de-cambio-clim%C3%A1tico-con-modelos-regionales-sobre-el-Altiplano-Peruano.pdf?sequence=1>
- Sánchez, C. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33(1), 128-138. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.331.2014>
- Schlegel, R. (2017). *History of Plant Breeding*. CRC Press. <https://bit.ly/31PyMG2>.
- Shahid, S., Zaman, M. y Heng, L. (2018). Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem. En Zaman, M., Shahid, S. y Heng, L. (Eds.), *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (43-53). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_2.
- Shankar, K., Nirmala, G., Nagasree, K., Pankaj, P., Samuel, J., Sindhu, K., Raju, S., Vijaya, K. & Chary, G. (2019). Adoption Outcomes of Krishi Vigyan Kendra, Central Research Institute for Dryland Agriculture Technolo-

- gies by Farmers in South India. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 37(4), 1-13. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2019/v37i430275>.
- Sinclair, F., Wezel, A., Mbow, C., Chomba, S., Robiglio, V. y Harrison, R. (2019). *The contribution of agroecological approaches to realizing climate-resilient agriculture*. GCA: Rotterdam, The Netherlands. <https://bit.ly/3qoGMrM>.
- Singh, S., Kumar, B., Sharma, N. y Rathore, K. (2019). Organic farming: challenge for chemical pollution in aquatic ecosystem. En Wani, K. y Mamta, M. (Eds.), *Handbook of Research on the Adverse Effects of Pesticide Pollution in Aquatic Ecosystems* (408-420). IGI Global. <https://bit.ly/3HoYKk7>
- Soriano, M. (2020). *Concepto de climatología*. Obtenido de Riunet Repositorio Institucional UPV: <http://hdl.handle.net/10251/146446>
- Squires, V. (2018). Dryland Resources of North America with Special Reference to Regions West of the 100th Parallel. En Gaur, M. y Squires, V. (Eds.), *Climate Variability Impacts on Land Use and Livelihoods in Drylands* (151-179). Springer, Cham. <https://bit.ly/3bZByKG>
- Swiderska, K., King-Okumu, C. & Islam, M. (2018). *Ecosystem-based adaptation. A handbook for EbA in mountain, dryland and coastal ecosystems*. International Ecosystem Management Partnership. <https://bit.ly/3C5MbGj>
- Tang, W., Ma, S. & Wu, B. (2010). An overview of assessment methods of agricultural vulnerability under climate change. *Journal of Anhui Agricultural Sciences (in Chinese)*, 38(25), 13847-13849.
- Taris, M. & Limache, S. (2017). *Análisis de resiliencia comunitaria ante factores climáticos extremos (precipitación, heladas, sequía, vientos) en las comunidades del*

- Corazón, Culebrillas, Pachakutic de la Parroquia de Guanujo Cantón Guaranda Provincia Bolívar en el periodo 2017 [tesis de titulación, Universidad Estatal de Bolívar]. Repositorio UEB. <https://bit.ly/3C9EWgB>
- Toffano, S. (2021). *Global goods and international trade. Two eras of globalization compared* [tesis de Maestría, Università Ca' Foscari Venezia]. Archivio istituzionale ad accesso aperto. <http://hdl.handle.net/10579/19967>
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-Baile, D., Merizalde-Mora, M., Reyes-Yunga, D., Viera-Torres, M. & Heredia, M. (2020). Cambio Climático según los académicos ecuatorianos - Percepciones versus hechos. *La Granja*, 31(1), 21-46. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.02>
- Tromp, M., Matisoo-Smith, E., Kinaston, R., Bedford, S., Spriggs, M. & Buckley, H. (2020). Exploitation and utilization of tropical rainforests indicated in dental calculus of ancient Oceanic Lapita culture colonists. *Nature human behaviour*, 4(5), 489-495. <https://doi.org/10.1038/s41562-019-0808-y>
- Uhlig, S. (2020). ¡CO₂ = calentamiento global = cambio climático! ¿Y qué pasaría si todo fuera más complejo? Los continuos cambios climáticos: aspectos geológicos, arqueológicos y astrofísicos. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Revista de Xeoloxía Galega e do Herónimo Peninsular*, 42, 95-168. doi:<https://doi.org/10.17979/cadlaxe.2020.42.0.7306>
- Vidal, M., Sietz, D., Jost, F. y Berger, U. (2019). Archetypes of climate vulnerability: a mixed-method approach applied in the Peruvian Andes. *Climate and Development*, 11(5), 418-434. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442804>.
- Vieira, H., Assemany, P., Abreu, M., Couto, E., Maciel, A., Duarte, R., Barbosa, M. & Reis, A. (2021). Microalgae in a global world: New solutions for old

- problems? *Renewable Energy*, 165(3), 842-862. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.014>
- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, M., Donatti, C., Harvey, C. & Alpízar, F. (2017). *El clima, el cambio climático, la vulnerabilidad y acciones contra el cambio climático: Conceptos básicos*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://bit.ly/31PxrPw>
- Williams, M. y Adamson, D. (Eds.). (2021). *A land between two Niles. Quaternary geology and biology of the Central Sudan*. Routledge. <https://bit.ly/3kp4obS>
- Winchell, F., Brass, M., Manzo, A., Beldados, A., Perna, V., Murphy, C., Stevens, C. y Fuller, D. (2018). On the origins and dissemination of domesticated sorghum and pearl millet across Africa and into India: a view from the Butana Group of the Far Eastern Sahel. *African Archaeological Review*, 35(4), 483-505. <https://doi.org/10.1007/s10437-018-9314-2>
- Xu, M., (2009). The Research of Vulnerability and Suitability to Climate Change of Yangtze River. *China Water Power Press*, 242-259.
- Zhang, Q., Li, J., Singh, V. & Xiao, M. (2013). Spatio-temporal relations between temperature and precipitation regimes: Implications for temperature-induced changes in the hydrological cycle. *Global and Planetary Change*, 111: 57-76.
- Zinda, J. y Kapoor, S. (2019). Metabolic fractures: How household livelihood practices differentiate agricultural input use in southwest China. *Journal of Rural Studies*, 71(7), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.09.008>
- Zinkernagel, J., Maestre-Valero, J., Seresti, S. y Intrigliolo, D. (2020). New technologies and practical approaches to improve irrigation management of

open field vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 242(16), 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106404>

Zúñiga, I. & Crespo, E. (2021). *Meteorología y Climatología*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://bit.ly/3ks2oja>

Zúñiga, I., Crespo, E., Fernández, J. & Santos, C. (2016). *Problemas de meteorología y Climatología*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://bit.ly/3H9dROi>



EDITORIAL
NAVEGANTE