

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LOS CULTIVOS DE *Solanum tuberosum* Y *Zea mays* EN LA
MICROCUEENCA DE CALICANTO EN APURÍMAC”**

Presentada por:

GLENI ARACELLY MALLMA CARRERA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERA METEORÓLOGA

Lima-Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LOS CULTIVOS DE *Solanum tuberosum* Y *Zea mays* EN LA
MICROCUEENCA DE CALICANTO EN APURÍMAC”

Presentada por:

GLeni ARACELLY MALLMA CARRERA

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA METEORÓLOGA

Ph.D. Sergio Artemio Pacsi Valdivia

PRESIDENTE

Maest. Juan Jesús Torres Guevara

MIEMBRO

Ing. Franklin Delio Unsihuay Tovar

MIEMBRO

Mg.Sc. Victoria Doris Calle Montes

ASESORA

Dr. Alexis Nicolás Ibáñez Blancas

CO ASESOR

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Gleni y Lucho, por su amor incondicional, comprensión inagotable, guía, ejemplo de superación y lucha, por enseñarme que el conocimiento es la mejor arma contra cualquier obstáculo que me ponga la vida y sobre todo por permitirme alcanzar mis metas.

Gracias por todo lo que me han dado. Son los seres más maravillosos de este mundo.
Los amo con todo el corazón.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Dr. Nicolás Ibáñez por su permanente guía y apoyo para la realización de esta tesis. Así cómo también a la Mg. Sc Victoria Calle por su tiempo y sus sugerencias.

A el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), por el financiamiento para la realización de esta investigación en el marco del Proyecto PNIA UNALM 027-2015 “Diversidad, flujo génico de cultivos andinos y seguridad alimentaria: contrarrestando procesos de erosión genética para enfrentar a los inciertos escenarios de cambio climático. Así como también a los profesores, investigadores, amigos y familiares, que tuvieron la paciencia de asistirme cuando necesitaba resolver dudas (que fueron varias) o una palabra de aliento. Y nuevamente a mis padres, pues fueron mi motivación constante y una luz en los días de poca inspiración.

Al equipo de la ONG Centro Andino de Educación y Promoción (CADEP) de Cusco, pues hicieron que el trabajo de campo en Haqira fuera más llevadero y a su vez me ayudaron a establecer una conexión amigable entre los pobladores, agradezco mucho su apoyo, fue de vital importancia para la realización de esta investigación.

No olvidaré nunca a los amigos que hice en Haqira, muchas gracias por compartir conmigo sus conocimientos ancestrales. La mejor lección que aprendí es que a veces, el mejor equipo para pronóstico, son simplemente, los ojos y la capacidad de observar e interpretar las señas que te brinda la naturaleza.

También estoy muy agradecida por todo lo que pude aprender de ti mamá Alejandrina, por el cariño y la felicidad con la que tratas a la tierra como a las personas que te rodean, por hacer entender a esta chica de ciudad, cuanta belleza y diversidad existe en los Andes peruanos, *tupananchiskama mamita*.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.1 CLIMA.....	4
2.2 VARIABILIDAD DE CLIMA.....	4
2.3 CAMBIO CLIMÁTICO.....	4
2.4 ESCENARIO DE FUTURO.....	5
2.5 ESCENARIOS DE EMISIÓN PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO	5
2.6 MODELOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL.....	6
2.7 SOFTWARE MAXENT.....	7
2.8 PERCEPCIÓN LOCAL.....	9
2.9 PAPA.....	10
2.9.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PAPA.....	10
2.9.2 VARIEDADES NATIVAS DE PAPA.....	10
2.9.3 FENOLOGÍA Y REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL	
CULTIVO PAPA.....	11
2.10 MAIZ.....	12
2.10.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN.....	12
2.10.2 FENOLOGÍA Y REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS	
DEL CULTIVO DE MAÍZ.....	13
2.11 RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS	
CULTIVOS DE MAÍZ Y PAPA.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	16
3.2 MATERIALES.....	17
3.2.1 DATOS METEOROLÓGICOS.....	17

3.3 METODOLOGÍA.....	18
3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DE TENDENCIA CLIMÁTICA CLIMÁTICA.....	18
3.3.2 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE EL MODELAMIENTO DE ESCENARIOS DEL CLIMA ACTUAL Y FUTURO.....	18
3.3.3 GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE FUTURO USANDO LA PERCEPCIÓN LOCAL.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1 DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS DE TENDENCIA CLIMÁTICA.....	25
4.1.1 TEMPERATURA.....	25
4.1.2 PRECIPITACIÓN.....	27
4.1.3 ANÁLISIS DECADAL.....	28
4.1.4 ANÁLISIS DE DATOS PISCO.....	34
4.2 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE EL MODELAMIENTO DE ESCENARIOS DEL CLIMA ACTUAL Y FUTURO.....	36
4.2.1 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DEL MAÍZ VARIEDAD BLANCO.....	37
4.2.2 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DEL MAÍZ VARIEDAD AMARILLO AMILÁCEO.....	38
4.2.3 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DE LA PAPA VARIEDAD CCOMPIS.....	40
4.2.4 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DE PAPA VARIEDAD LINLI.....	41
4.3 GENERACION DE ESCENARIOS DE FUTURO USANDO LA PERCEPCIÓN LOCAL.....	43
4.3.1 ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN LOS CULTIVOS DE PAPA Y MAÍZ.....	43

4.3.2 LÍNEAS DE TIEMPO E HISTORIAS DE FUTURO.....	46
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES.....	52
VII. OBSERVACIONES.....	53
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
IX. ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Materiales y equipo utilizados en la presente investigación y durante el trabajo de campo.....	17
Tabla 2.	Cantidad de parcelas por variedad y centro poblado de Haqira visitado.....	20
Tabla 3.	Factores que contribuyen a la disminución de la diversidad de cultivos nativos en el distrito de Haqira, Provincia de Cotabambas, Apurímac, para los cultivos de papa y maíz.....	23
Tabla 4.	Resultados de los escenarios del futuro en el 2050 para el maíz y para la papa.....	48
Tabla 5.	Comparación de los resultados obtenidos del análisis de tendencia para las variables de temperatura mínima, máxima y precipitación y los resultados del programa MaxEnt con los resultados obtenidos en el taller de percepción local.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa de ubicación del distrito de Haquira. Provincia de Cotabambas en el departamento de Apurímac.....	3
Figura 2:	Ejemplo de cómo está distribuido los datos de las variables ambientales en un archivo ráster. Donde T= temperatura y los árboles, representan los puntos de presencia de la especie.....	8
Figura 3:	Fenología de la papa.....	11
Figura 4:	Fenología del maíz.....	13
Figura 5:	Mapa de ubicación del distrito de Haquira, provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac. En azul se resalta a la microcuenca de Calicanto. También se resaltan los centros poblados que fueron parte de esta investigación.....	16
Figura 6:	Listado de los modelos globales que se utilizan en esta investigación. Para cada RCP, existe una variable asociada para su libre descarga, siendo t_n = temperatura mínima, t_x =temperatura máxima, pr =precipitación y bi = variables bioclimáticas, para el año 2050.....	19
Figura 7:	Mapa conceptual de la ejecución del programa MaxEnt y de su resultado.....	21
Figura 8:	Taller en Haquira, el 12 de agosto del 2017, en el local de la ONG CADEP.....	17
Figura 9:	(a) Gráfico de tendencia de la temperatura mínima, (b) Gráfico de la tendencia de la temperatura máxima para las estaciones meteorológicas Curahuasi, Paruro y Acomayo.....	25
Figura 10:	Gráficos de tendencia de la precipitación haciendo uso de la data de las estaciones (a) Curahuasi, (b) Paruro y (c) Acomayo.....	27

Figura 11: Gráfico sobre los cambios en la composición de las variedades de papa, basado en el informe del CCTA- Erosión Genética- Apurímac y Huánuco, generado por Parra y Cruz (2014). Las anotaciones azules corresponden a los acontecimientos sociales y antecedentes, y las anotaciones en color negro son las obtenidas del testimonio de los pobladores de Haqira.....	29
Figura 12: Gráfico sobre los cambios en la composición de las variedades de maíz, basado en el informe del CCTA- Erosión Genética- Apurímac y Huánuco, generado por Parra y Cruz (2014). Las anotaciones azules corresponden a los acontecimientos sociales y antecedentes, y las anotaciones en color negro son las obtenidas del testimonio de los pobladores de Haqira.....	29
Figura 13: Gráfico de tendencias del promedio de la temperatura mínima anual para las estaciones Curahuasi, Acomayo y Paruro: a) período de 1965-1975, b) período de 1976 a 1986, c) período de 1987 a 1997, d) período de 1998 a 2008 y e) período de 2009 al 2016.....	30
Figura 14: Gráfico de tendencias del promedio de la temperatura máxima anual para las estaciones Curahuasi, Acomayo y Paruro: a) período de 1965-1975, b) período de 1976 a 1986, c) período de 1987 a 1997, d) período de 1998 a 2008 y e) período de 2009 al 2016.....	32
Figura 15: Gráfico de tendencias del acumulado anual de la precipitación para las estaciones Curahuasi, Acomayo y Paruro: a) período de 1965 a 1975, b) período de 1976 a 1986, c) período de 1987 a 1997, d) período de 1998 a 2008 y e) período de 2009 al 2016.....	33
Figura 16: Gráfico de tendencias para a) Precipitación, b) Temperatura mínima y c) Temperatura máxima en el área de estudio.....	34

Figura 17: Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de maíz blanco.....	37
Figura 18: Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de maíz amarillo....	38
Figura 19: Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de papa Ccompis...	40
Figura 20: Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de papa Linli.....	41
Figura 21: Relaciones establecidas por los pobladores de los centros poblados San Juan de Llachua y Patahuasi (distrito de Haqira) entre los factores que favorecen el cambio en la producción del maíz.....	43
Figura 22: Relaciones establecidas por los pobladores de los centros poblados San Juan de Llachua y Patahuasi (distrito de Haqira) entre los factores que favorecen el cambio en la producción de la papa.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es yHadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de maíz blanco y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto.....	59
ANEXO 2:	Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es y HadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de maíz amarillo y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto.....	60
ANEXO 3:	Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es yHadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de papa Ccompis y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto.....	61
ANEXO 4:	Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es yHadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de papa Linli y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto.....	62

RESUMEN

El cambio climático está trayendo como consecuencia cambios en el periodo de las lluvias, así como también un incremento en la temperatura. Estas modificaciones en el clima son un problema para la agricultura, sobre todo para la de autoconsumo y quiénes participan de esta actividad, siendo estas las personas que, por lo general, no cuentan con los recursos para contrarrestar los efectos negativos en sus cultivos. Es por eso que la presente investigación propone analizar el efecto del cambio climático en la distribución de 2 cultivos de mayor consumo, que son la papa y el maíz, dentro de la microcuenca de Calicanto, distrito de Haqira, Apurímac, dichos cultivos son la papa y el maíz, específicamente las variedades de papa Linli y Ccompis, y en el maíz, el amarillo amiláceo y el blanco. Para esto se usa el programa MaxEnt y los datos meteorológicos generados para el 2050 de 3 modelos globales bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5. Así mismo, se realizó un taller con los agricultores de la zona, con el fin de generar escenarios de futuro para contrastarlos con lo obtenido del modelamiento y el análisis de los datos meteorológicos. Del análisis se obtuvo que existe una tendencia positiva en la microcuenca para la temperatura y la precipitación. Del modelamiento, se obtuvo que es posible encontrar al 2050, condiciones climáticas que favorezcan el desarrollo de ambas variedades de papa y maíz, sobretodo en la zona suroeste de la microcuenca. Por último, del taller, se obtuvieron escenarios que coinciden en que ambas variedades sufrirán cambios debido al cambio en su ambiente. Dichos resultados permiten concluir que el cambio climático influye en la adaptabilidad de los cultivos estudiados en cuanto a su distribución, pues el modelamiento nos indica nuevas ubicaciones probables dentro de la microcuenca, lo que significaría que las variaciones en las condiciones ambientales en efecto poseen una influencia en la adaptación de los cultivos. Así mismo, existe una percepción de los agricultores, un tanto negativa respecto al futuro de los cultivos de papa y maíz, que no hace más que reforzar la idea de que la influencia del cambio climático traerá consecuencias y se debe de tener en cuenta a fin de mantener la seguridad alimentaria.

PALABRAS CLAVES: cambio climático, papa, maíz, MaxEnt, escenarios de futuro.

ABSTRACT

Climate change is bringing about changes in the rainy season, as well as an increase in temperature. These changes are a problem for agriculture, especially for self-consumption and who participate in this activity, which are the people who usually does not have the resources to counteract the negative effects on their crops. That is why this research proposes to analyze the effect of climate change on the distribution of 2 crops of higher consumption, which are potatoes and corn, within the micro basin of Calicanto, district of Haqira, Apurimac, specifically the varieties of potato Linli and Ccompis, and Amarillo amilásceo and Blanco for corn. For this, the MaxEnt program and the meteorological data generated for 2050 of 3 global models are used under the scenario of climate change RCP 4.5. Likewise, a workshop was held with the farmers of the area, in order to generate future scenarios to contrast them with the obtained from the modeling and the analysis of the meteorological data. The analysis showed that there is a positive trend in the micro-basin for temperature and precipitation. From the modeling, it was obtained that it is possible to find by 2050, climatic conditions that favor the development of both potato and corn varieties, especially in the southwestern zone of the micro basin. Finally, from the workshop, scenarios were obtained that coincide in that both varieties will undergo changes due to the change in their environment. These results allow us to conclude that climate change influences the adaptability of the crops studied in terms of their distribution, since modeling indicates new probable locations within the micro basin, which mean that variations in environmental conditions do have an influence on the adaptation of crops. Likewise, there is a perception of farmers, somewhat negative about the future of this crops, which only reinforces the idea that the influence of climate change will have consequences in food security.

KEY WORDS: climate change, crops, MaxEnt, corn, potato

I. INTRODUCCIÓN

Cada vez que se discute el tema de cambio climático, se mencionan los efectos a nivel global, como que la atmósfera y el océano se han calentado, la disminución de las cantidades de nieve y hielo, y que el nivel del mar ha subido. Sabemos que es un hecho y que desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no han tenido precedente (IPCC, 2013).

Así mismo, también existen cambios que se perciben a nivel local, como es el caso de la agricultura, actividad de vital importancia, dado que es la fuente principal de donde provienen los alimentos, y donde se puede observar de primera mano, las alteraciones en la fenología de los cultivos, las variaciones en el ciclo vegetativo de las plantas, entre otros.

El Perú, un país muy diverso y rico, se encuentra dividido en 3 regiones naturales, que son Costa, Sierra y Selva. Y es en la región Sierra, o conocida también como región Andina debido a que en ella encontramos gran parte de la cordillera de los Andes, que existe el 64 por ciento del total de agricultores del país (Libélula, 2011) entre los grandes productores y los agricultores para autoconsumo, estos últimos vienen a integrar la llamada “sierra rural” y es la categoría que obtiene los mayores niveles de pobreza con un 47,8 por ciento (INEI, 2016). A su vez, solo un 38 por ciento aproximadamente de la superficie agrícola, cuenta con riego tecnificado, lo que deja un 62 por ciento que necesita de la lluvia para iniciar la siembra (INEI, 2012), dentro de este porcentaje encontramos, nuevamente, a la agricultura de autoconsumo.

Si bien la disponibilidad de agua es un factor importante para el desarrollo de los cultivos, también es importante considerar a la temperatura, dado que el calentamiento de la atmósfera ha de modificar las condiciones ambientales óptimas de las plantas. Estos dos casos son claros ejemplos de cómo afectan las condiciones globales a una actividad en particular y a si mismo cómo es que se pone en riesgo la existencia de la biodiversidad.

Por lo expuesto anteriormente, es que la principal zona en donde se enfoca esta investigación es en los centros poblados que se encuentran dentro de la microcuenca de Calicanto, ubicada en el distrito de Haqira, en la provincia de Cotabambas, en el departamento de Apurímac (Figura 1), perteneciente a la región Sierra. La microcuenca presenta una gran diversidad en cuanto a lechos ecológicos y ecosistemas. Y es en sus laderas donde los pobladores suelen desarrollar labores de pastoreo de ganado caprino y vacuno en pequeña escala. En cuanto a la producción agrícola, el cultivo más importante viene a ser la papa, cuyo uso principalmente es para el autoconsumo, dado que la prioridad por el mercado es escasa, por la baja rentabilidad debido a los altos costos de transporte y los bajos precios del mercado, seguido luego por el maíz (INEI, 2012). Así mismo, se viene realizando investigaciones gracias al apoyo del Centro de Investigación de Zonas Áridas, por lo que la zona posee información que amerita ser utilizada.

El objetivo general de este estudio fue:

Analizar la influencia que tendrá el cambio climático en la adaptabilidad de los cultivos de papa y maíz en la microcuenca de Calicanto, al año 2050, específicamente de la variedad Linli y Ccompis y para el maíz, las variedades Amarillo amiláceo y Blanco.

Los objetivos específicos:

- a) Determinar la de tendencia climática en la zona de estudio.
- b) Analizar la influencia del cambio climático mediante el modelamiento de escenarios del clima actual y futuro para los cultivos de papa y maíz con el programa MaxEnt.
- c) Generar escenarios de futuro usando la percepción de los agricultores de las comunidades productoras de papa y maíz presentes dentro de la microcuenca.

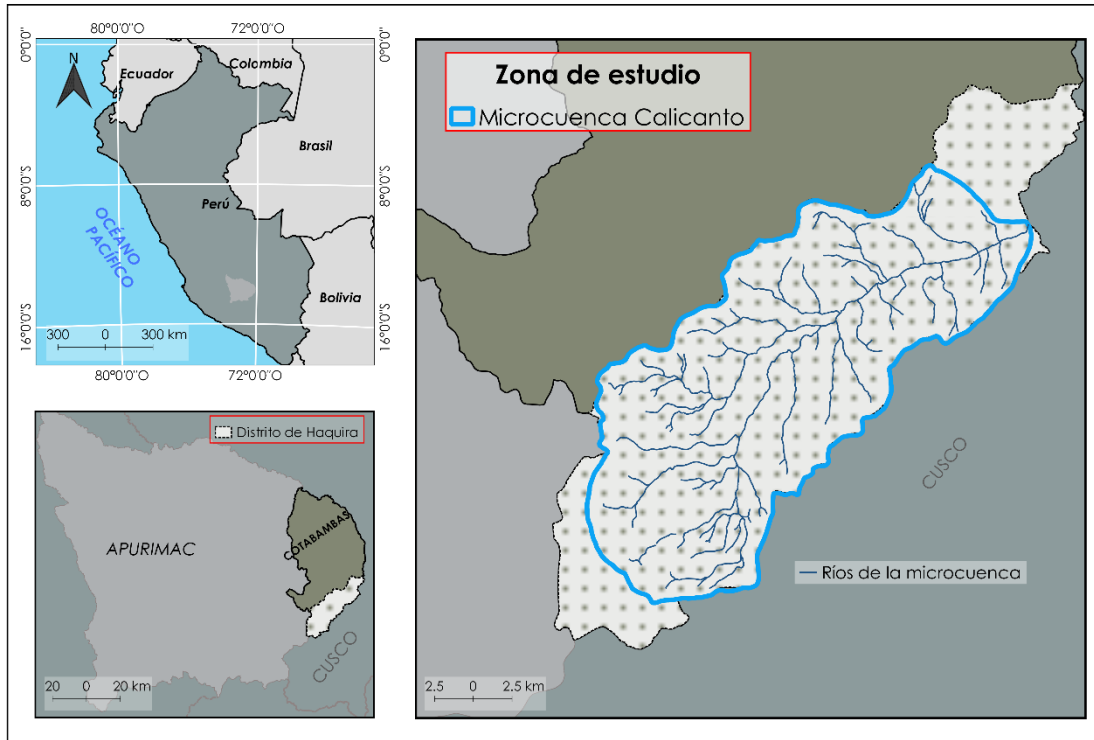


Figura 1: Mapa de ubicación del distrito de Haqira. Provincia de Cotabambas en el departamento de Apurímac.

FUENTE: Elaboración propia.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 CLIMA

Puede ser definido como la medición de la media y la variabilidad de cantidades relevantes de ciertas variables (como temperatura, precipitación o viento) a lo largo de un período de tiempo que varía de meses a miles o millones de años. El período clásico es de 30 años, tal como lo define la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (IPCC, 2013).

2.2 VARIABILIDAD DE CLIMA

La variabilidad climática se refiere a las variaciones en la media y otras estadísticas (como las desviaciones estándar, la ocurrencia de extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más allá de los eventos climáticos individuales. La variabilidad puede deberse a un proceso interno natural dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (IPCC, 2013).

2.3 CAMBIO CLIMÁTICO

Se define como un cambio en el estado del clima que se puede identificar (por ejemplo, mediante el uso de pruebas estadísticas) por cambios en la media y / o la variabilidad de sus propiedades, y eso persiste durante un período extendido, típicamente décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, las erupciones volcánicas y los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. En el Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define al cambio climático como: 'un cambio de clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada periodos de tiempo comparables'. La CMNUCC hace así una distinción entre cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la atmósfera composición y variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC ,2013).

2.4 ESCENARIO DE FUTURO

Un escenario es un conjunto formado por la descripción de una situación futura y el proceso que marca la propia evolución de los acontecimientos de manera que permitan al territorio pasar de la situación actual a la situación futura (Aguila, Moya y Becerra ,2009).

No se debe de confundir escenario con realidad futura (en el más estricto sentido de la palabra), pues es solo un medio para representar esta realidad a partir de los datos que se analizan en el presente, por lo que la formulación de estos implica coherencia, verosimilitud y transparencia, Aguila et al. (2009). En otras palabras, un escenario no es la fotografía de un determinado momento, sino una ruta a largo plazo y cuya aplicación a sistemas complejos le permite ser una herramienta importante en la gestión de la incertidumbre (MA, 2005).

2.5 ESCENARIOS DE EMISIÓN PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Un escenario climático futuro es una representación plausible que indica cómo posiblemente se comportará el clima en una región para una cierta cantidad de años, tomando en cuenta datos históricos y usando modelos de proyección, generalmente para precipitación y temperatura (IPCC, 2007).

Desde el quinto informe del IPCC (2013) se ha empezado a utilizar un nuevo conjunto de escenarios: las rutas representativas de concentración (RCP, por sus siglas en inglés), estos nuevos escenarios pueden contemplar efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XXI, a diferencia de los escenarios de emisión utilizados en el AR4 (conocidas como SRES, por sus siglas en inglés). Los RCP se han definido en base a los niveles forzantes radiactivas hacia el año 2100, en vez de considerarse ciertos niveles futuros de emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

Se entiende como forzante radioactiva (FR) a la diferencia entre la radiación entrante a la Tierra contrastada con la radiación que se entrega de vuelta al espacio, por lo que si la diferencia es positiva se tendrá calentamiento producto de la acumulación de energía en la superficie terrestre. El IPCC menciona que el rango de FR será de 2.6 a 8.5 W/m² para el año 2100.

Cada RCP tiene asociada una base de datos de alta resolución espacial de emisiones de sustancias contaminante, de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y de usos de suelo hasta el año 2100.

Los escenarios RCP se clasifican en 4:

- RCP 2.6 es un escenario donde la mitigación agresiva por lo que requiere las emisiones netas de dióxido de carbono negativos después de alrededor de 2070. En este escenario, los picos de concentración de gases de efecto invernadero en alrededor de 420 ppm y comienza a disminuir lentamente hacia 360 ppm en 2300.
- RCP 4.5 es un escenario de estabilización tipo medio-bajo donde la concentración de gases de efecto invernadero se estabiliza a aproximadamente 540 ppm en 2100.
- RCP 6.0 es un escenario de estabilización tipo medio-alto donde la concentración de gases de efecto invernadero alcanza aproximadamente 670 ppm en 2100 y se estabilice en alrededor de 750 ppm a partir de entonces.
- RCP 8.5 es el escenario más alto por su calentamiento continuo. Las concentraciones de gases de efecto invernadero alcanzan alrededor de 940 ppm en 2100 y sólo se estabilizará en torno a 2.000 ppm en 2250, siete veces superiores a los niveles preindustriales.

2.6 MODELOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL

Los modelos de circulación global (GCM) son algoritmos matemáticos que intentan simular el sistema climático de la tierra acoplando los sistemas atmósfera-océano y suelo. Predicen los cambios de las variables en un mayor tiempo (Numerical Weather Prediction, NWP). Estos modelos se definen según el Informe del Grupo de trabajo III (IPCC, 2003) mencionando lo siguiente:

“Imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinadas en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis”.

Los GCM usan una grilla tridimensional del globo, con resoluciones horizontales que van de 250km a 600km. Por lo tanto, la grilla es bastante gruesa, siendo imposible modelar procesos a menor escala, como el caso de una cuenca, no siendo útiles para el estudio de impactos locales que se deseen analizar (IPCC 2007). Por lo tanto, lo ideal, es trabajar con modelos regionalizados o locales, sin embargo, el procedimiento de disminuir la resolución de los modelos requiere de un procesamiento mayor.

2.7 SOFTWARE MAXENT

MaxEnt o máxima entropía, es nombre del software del mismo nombre, que desarrollo Phillips et. al (2006). Este algoritmo, muy usado por investigadores, se basa en el principio de máxima entropía, que estima la probabilidad de distribución de una especie (ya sea vegetal o animal), usando la distribución más uniforme, es decir, donde la entropía sea máxima (Flores, 2017). Este software está diseñado para realizar predicciones o deducciones a partir de información incompleta, pero teniendo en cuenta ciertas limitaciones o restricciones a partir de la información que se tiene disponible de la especie en estudio (Guzmán, 2013).

Para hacer uso de este software, se necesita de dos tipos de información inicial, el primero son los puntos de ocurrencia u observación y la segunda, es la data ambiental de lugar o llamada también variables ambientales, tal como la temperatura, precipitación, altitud, puntos de presencia de la especie a estudiar, entre otras que pueden ser agregadas bajo el criterio del investigador.

El algoritmo permite estimar la probabilidad sobre un cierto grupo de celdas $i=1,2,\dots,n$. Toda la información que ingresa al modelo se encuentra en un formato del tipo malla, conocido como ráster, tal como podemos ver en la Figura 2, figura que usaremos como ejemplo para la explicación del algoritmo.

En cada celda hay un valor numérico correspondiente a la variable que se ha ingresado como dato inicial y se le representa como x_i , también llamadas variables ambientales como se mencionó anteriormente, para el ejemplo (Figura 2) se tiene la variable temperatura, representada con la letra T. Se quiere estimar una distribución de probabilidades (p_i) sobre dichas celdas.

Como es una distribución sobre las celdas, todas las probabilidades han de sumar 1, lo que se traduce en la ecuación (1) como:

$$\sum_i^n p_i = 1 \dots \text{ecuación (1)}$$




T= 10 °C	 T= 10 °C	T= 10 °C
T= 20 °C	 T= 20 °C	T= 20 °C
T= 30 °C	 T= 30 °C	T= 30 °C

Figura 2: Ejemplo de cómo está distribuido los datos de las variables ambientales en un archivo ráster. Donde T= temperatura y los árboles, representan los puntos de presencia de la especie.

FUENTE: Elaboración propia.

Además, se cuenta con los datos de las presencias de la especie a estudiar. Es decir que hay una colección de localidades, celdas o puntos $k=1, 2\dots m$ donde se ha observado la especie. La media empírica (\check{X}_k) de las variables ambientales en esos puntos es:

$$\check{X}_k = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m X_k \dots \text{ecuación (2)}$$

En el ejemplo, el promedio de la temperatura en cada celda que contiene un punto de presencia sería de 20 °C.

Lo que se espera es encontrar una distribución p_i que tenga (\check{X}_k) parecidos a los empíricos:

$$\check{X}_i = \sum_{i=1}^n p_i * X_i \dots \text{ecuación (3)}$$

Pero, que sea lo más plana posible, es decir que tenga la máxima entropía. En otras palabras, se desea encontrar una distribución que esté de acuerdo con todo lo que se sabe de la especie sin que se suponga nada acerca de lo que no se sabe, es decir, sin inventar valores.

La entropía (H) es representada entonces como:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i * \ln (p_i) \dots \text{ecuación (4)}$$

MaxEnt maximiza H sujeta a las restricciones de la ecuación (3) y que la suma de las probabilidades debe ser 1, esto se hace recurriendo a multiplicadores de Lagrange, obteniéndose la siguiente ecuación general:

$$p_i = \frac{e^{-\lambda * x_i}}{\sum_i e^{-\lambda * x_i}} \dots \text{ecuación (5)}$$

Dónde:

λ = Representa el conjunto de datos iniciales y los puntos de presencia.

p_i = Distribución de probabilidades sobre las celdas

La ecuación (5), es la función de Gibbs que Maxent calcula (Soberón, 2012). Un ejemplo de lo que se obtiene, se puede ver en la Figura 3, donde p, es la probabilidad obtenida luego del cálculo respectivo, resultado que, llevado a algún programa de Sistemas de Información Geográfica, puede representarse en un mapa donde las zonas de mayor probabilidad de ocurrencia se resalten más que otras zonas.

Tal y como puede usarse para obtener mapas de distribución para una especie actual, también se pueden realizar mapas que proyecten la ubicación de estas a futuro, tal como Guzmán (2013) lo realiza para el cultivo de café en la cuenca alta del río Sisa, de la provincia de San Martín, y Flores (2017) lo realiza para los queñuales Andinos.

2.8 PERCEPCIÓN LOCAL

Según Osman-Elasha, et al. (2006) y Goebbert et al. (2012), la percepción local viene a ser la visión de los pobladores de una localidad respecto a las señas que usan para el pronóstico o monitoreo del tiempo y clima. En ese sentido, las señas vienen a ser la forma

en la que se manifiestan o se comportan los componentes vivos de la naturaleza en un determinado momento. Sus mensajes y avisos permiten conocer anticipadamente el comportamiento y los ritmos internos de la naturaleza, más no permite saber las causas de ellos (Van Kessel y Enríquez, 2002).

2.9 PAPA

2.9.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PAPA

La papa (*Solanum tuberosum*) es un cultivo originario de los Andes y base de la alimentación popular y seguridad alimentaria del Perú. Se estima que en el país existen más de 2800 variedades de papa. Por su origen, las papas pueden clasificarse en variedades modernas y nativas (Egúsquiza, 2000).

2.9.2 VARIEDADES NATIVAS DE PAPA

En el Perú se cuenta con un gran número de variedades nativas. Estas presentan una enorme diversidad de características y se les reconoce como recurso genético valioso para la alimentación del futuro. Las variedades nativas se siembran especialmente en las comunidades campesinas localizadas a partir de los 3000 m.s.n.m. Pueden sembrarse mezcladas, que es una técnica que permite reducir la diseminación de plagas o enfermedades, a su vez es una estrategia para asegurar la producción de alimentos en caso ocurra sequía, heladas, etc. Sin embargo, también pueden sembrarse solas, con el fin de la comercialización, ya que poseen muy buena calidad culinaria o para su uso en forma de chuño o moraya (papas amargas) (Egúsquiza, 2000).

a) VARIEDAD CCOMPIS

Se siembra desde los 3000 m.s.n.m en los departamentos de Cusco, Puno, Apurímac y Ayacucho. Es una planta de porte alto, posee flores blancas y abundante producción de frutos. Sus tubérculos son redondos. Tiene un muy buen potencial productivo, pero su período vegetativo es tardío. Tiene un sabor muy agradable (Egúsquiza, 2000).

b) VARIEDAD LINLI

De esta variedad, no se ha escrito mucho, pero se conoce, por la información recolectada en la zona de estudio, que se le encuentra de muchos colores, con ojos numerosos, y se le consume de preferencia sancochada.

2.9.3 FENOLOGÍA Y REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO PAPA

Las etapas fenológicas se encuentran en la Figura 2. Sobre los requerimientos climáticos de la papa, por Egúsqiza (2000) y SENAMHI (2013), se sabe que el cultivo de papa posee 5 etapas fenológicas, y la temperatura es un factor que influye mucho puesto que los requerimientos térmicos son muy diferentes entre cada una de ellas. Por ejemplo, en la etapa de emergencia los requerimientos de temperatura oscilan entre 5 °C a 30 °C siendo la óptima de 17 °C a 25 °C, en la de crecimiento, los extremos de temperatura se encuentran entre 6 °C a 30 °C y en la etapa de tuberización, el rango de temperatura va entre 5 °C a 28 °C siendo la óptima de 14 °C a 20 °C. En cuanto a la precipitación pluvial óptima requerida por la planta es alrededor de 400 a 800 mm anuales, la cual debe ser distribuida en todo el ciclo vegetativo del cultivo

FASES FENOLOGICAS DE LA PAPA
Solanum tuberosum

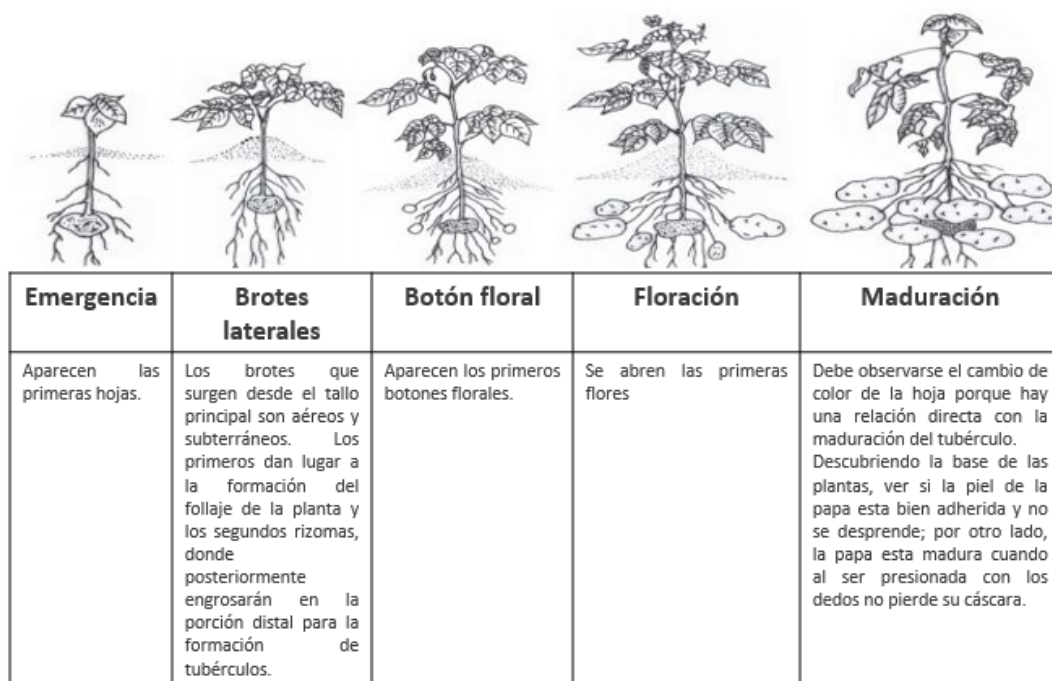


Figura 3: Fenología de la papa.

FUENTE: SENAMHI (Yzarra y López 2011).

2.10 MAIZ

2.10.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es una gramínea anual originaria de América. Es una planta que se encuentra ampliamente distribuida en todas las regiones del Perú debido a que existe una diversidad de grupos y razas adaptadas a todas las condiciones climáticas, siendo la sierra, la zona agroecológica que presenta las mayores zonas de producción. (MINAGRI ,2012)

En la sierra se siembran principalmente el maíz amiláceo y maíz morocho en zonas de clima templado ubicadas entre los 2000 m a 3400 m. El maíz amiláceo y morocho son los cultivos más importantes de esta zona, tanto por el área que ocupa, por su participación la dieta alimentaria, así como en la generación de ingresos para la economía del agricultor (Celis-García 1996, MINAGRI 2012).

a) AMARILLO AMILÁCEO

Los pobladores comentan que esta variedad es muy usada para hacer la chicha de jora, bebida ceremonial, importante para realizar el pago a la tierra antes de la siembra.

b) BLANCO O PARAQAY

Según los pobladores, esta variedad se ha vuelto comercial desde hace 5 años aproximadamente, por lo que algunos han decidido invertir en parcelas exclusivas para su venta.

2.10.2 FENOLOGÍA Y REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ

Así como la papa, el maíz también presenta fases fenológicas (Figura 3) con características propias:

- Los requerimientos térmicos del maíz para la etapa de germinación oscilan entre 10 °C a 30 °C, siendo el rango óptimo entre 15 °C a 25 °C.
- La etapa de crecimiento la temperatura se encuentra alrededor de los 7 °C a 30 °C, con un valor óptimo de 15 °C a 21 °C.
- La etapa de floración, la temperatura óptima es de 15 °C a 20°C.
- La precipitación pluvial óptima se encuentra alrededor de los 500 a 700 mm anuales. En relación con el brillo solar, el maíz requiere de 10 a 14 horas de sol por día. (Ochoa 2009)

FASES FENOLÓGICAS DEL MAÍZ

Zea mays

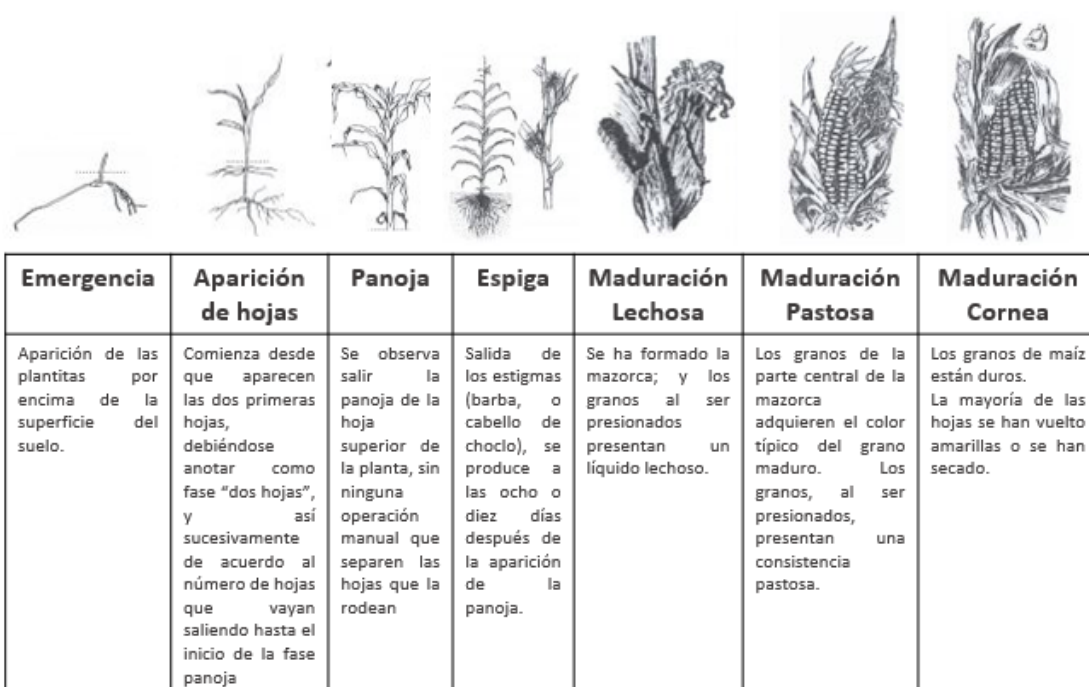


Figura 4: Fenología del maíz.

FUENTE: SENAMHI (Yzarra y López 2011).

2.11 RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y PAPA

Para el caso del maíz, existen estudios en zonas andinas (Skarbø 2005; Skarbø and VanderMolen 2016) como en las comunidades de la provincia de Imbabura en Ecuador, cuyos cultivos han mostrado un incremento en el rango de su distribución altitudinal. Se ha registrado una subida del nivel de 2900 a 3200 msnm, es decir, una variación de 300 metros entre los años 2005 y 2014 (Ibáñez, 2019). Así mismo, en otra zona de Ecuador, en Cotacachi, existen campos de maíz que también han migrado en altura, lo que indica que la altitud influye en la productividad de los cultivos. Efectos que se han visto también en Perú, para los cultivos de papa. (Tito, Vasconcelos y Feeley, 2018)

Según Ortiz (2012), en nuestra región, la papa será vulnerable al calor y por lo tanto el desarrollo de la planta y del tubérculo será afectado, lo que provocará una disminución

de su rendimiento. Así mismo, se perjudicará el contenido de materia seca y la formación de almidón, cuyo principal centro de origen y diversificación lo constituyen los Andes (Vavilov, 1951). Dicho aumento, también favorecerá la aparición de plagas, entre ellos, el tizón tardío de papa y la polilla de la papa, que en la actualidad se presenta en las zonas costeras y en los valles interandinos, también se extenderá a mayores alturas como consecuencia del cambio climático. En cuanto al maíz, menciona que su rendimiento ha de reducirse si es que en el futuro disminuyen las precipitaciones entre un 15 y un 20 por ciento, y que las consecuencias podrían ser peores si es que las temperaturas aumentan más de 2 °C.

Por otro lado, Sanabria y Lhomme (2013) realizaron una investigación sobre la papa, donde, se modeló dicho cultivo para el área de los Andes, con la información generada por el modelo climático regional HadRM3P, para analizar sus posibles efectos, y entre los resultados, se obtuvo que el ciclo de desarrollo del cultivo se acorta y que existe mayor déficit de rendimiento. Existe además, otro estudio, de Sanabria (2014) que solo se centra en los departamentos de Apurímac y Cusco, donde también se incluye al cultivo de maíz, entre otros, y los resultados del modelamiento son muy similares, salvo por algunos casos, donde hay un riesgo ligeramente mayor de que la siembra falle en un futuro próximo, de donde se concluye que una mejor comprensión de los cambios en el régimen de precipitación al comienzo de la temporada de cultivo es necesario para evaluar las necesidades a corto plazo y sus posibilidades de adaptación (Sanabria et. al, 2014).

En cuanto a la zona de estudio, que es Haquira, se tiene la información proporcionada por Valdivia (2014), que menciona que los múltiples factores de cambio de clima y la estructura en las comunidades andinas del Perú, tienen una alta influencia en la pérdida de las variedades locales de papa y de los conocimientos locales relacionados a la diversidad. Dado que no se cuenta con información detallada, es complicado el establecer líneas de tiempo, que permitan comparar las variedades pasadas y actuales de papa del distrito. Sin embargo, logra obtener un registro de variedades de papas nativas, con ayuda de encuestas a los pobladores de Pauchi, Queñapampa y Huancacalla Chico, esto fue con la finalidad de averiguar el estado de las variedades de papa, el conocimiento colectivo, así como las amenazas potenciales a la diversidad de papas nativas. Y concluyó que las percepciones locales proporcionan información clave de las variedades resistentes a las

afectaciones climáticas y por lo tanto contribuyen a la adaptación. Tal y como hace mención Ortiz (2012), ya que en vista de que los modelos solo permiten trabajar bajo ciertos supuestos, los resultados casi nunca se pueden validar, sin embargo, se sabe que los agricultores monitorean los cambios en el clima y responden rápidamente a las nuevas condiciones climáticas a través del establecimiento de complejos mecanismos de adaptación en sus agroecosistemas. Por lo tanto, su conocimiento es una fuente valiosa para desarrollar medidas de adaptación específicas del sitio, ya que ellos consideran los factores culturales y ambientales de sus sistemas agrícolas.

Respecto a las variedades de maíz en la zona estudio frente al cambio climático, se tiene información, gracias al aporte de Parra y Cruz (2014), quienes mencionan que existe una tendencia a la disminución de variedades nativas no solo para dicho cultivo, sino también para la papa, y que el cambio climático, es solo 1 de una lista de factores importantes que deben de tenerse en cuenta a la hora de discutir el motivo de la mencionada tendencia.

A continuación, los factores obtenidos:

- Falta de transmisión del conocimiento debido a la migración
- Falta de interés de los jóvenes en la actividad agrícola por la búsqueda de ingresos monetarios fomentada en los últimos años por la actividad minera.
- La presencia de una escuela ajena a los conocimientos locales sobre agrobiodiversidad.
- Los cambios en el manejo de suelos, la aparición e incremento de las plagas y enfermedades.
- Los cambios en el clima.
- La aparición e incremento de las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos son percibidas como resultado del incremento de la temperatura y son consideradas de los mayores problemas locales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se hizo para 8 centros poblados que se encuentran dentro del área de la microcuenca de Calicanto, en el distrito de Haquira, ubicado en las coordenadas $14^{\circ}13'24''S$ $72^{\circ}11'41''O$, en la provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac. Dichos centros poblados fueron: Ccocha, San Juan de Llachua, Patahuasi, Haquira, Huancacalla Chico y Pauchi. Este distrito se encuentra al sureste de Apurímac y cuenta con topografía muy accidentada, posee alturas que oscilan entre los 2934 a los 4880 m.s.n.m.

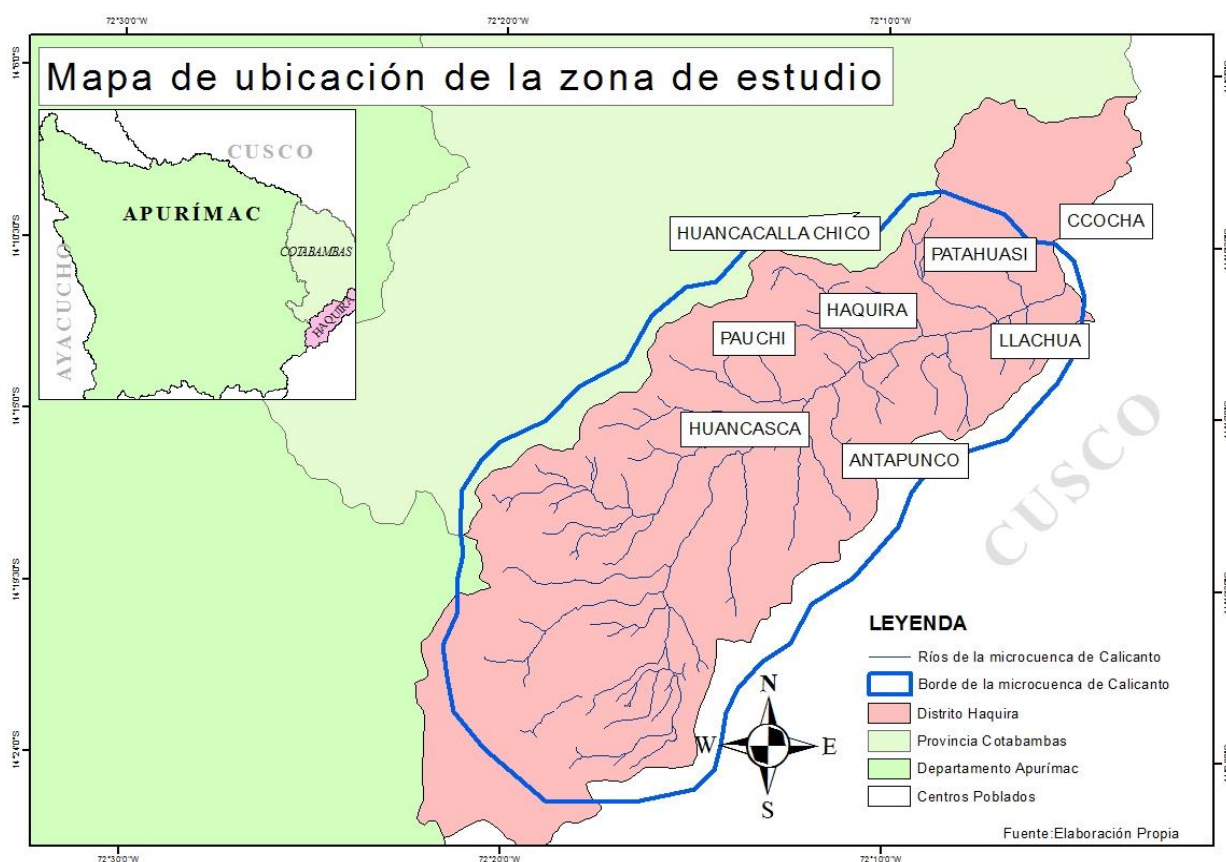


Figura 5 : Mapa de ubicación del distrito de Haquira, provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac. En azul se resalta a la microcuenca de Calicanto. También se resaltan los centros poblados que fueron parte de esta investigación.

FUENTE: Elaboración propia.

3.2 MATERIALES

Tabla 1. Materiales y equipo utilizados en la presente investigación y durante el trabajo de campo.

Materiales	Equipos
Libreta de campo	Laptop
Papelógrafos	GPS
Plumones	Cámara fotográfica
Lapiceros	Grabadora de audio
Recortes de revistas	
1 pasta limpiatipo	
Datos meteorológicos y de modelos	
Software MaxEnt, Rstudio y ArcGis	

3.2.1 DATOS METEOROLÓGICOS

Se descargaron los datos de temperatura máxima y mínima, y precipitación, disponibles en la página web de SENAMHI (<http://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>). Lamentablemente, en la microcuenca no se cuenta con estaciones meteorológicas y las que hay, están muy lejanas y no todas poseen información de más de 30 años, sin embargo, se emplean a modo general para tener una visión de la zona.

Dado el problema de escasas de información, es que se optó por complementar el análisis usando la base de datos Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO).

Dicha base de datos puede descargarse libremente de la siguiente página web <ftp://ftp.senamhi.gob.pe/>. Se creó usando información satelital y de estaciones meteorológicas a nivel nacional. Brinda al usuario datos mensuales de temperatura máxima, mínima y precipitación para todo el Perú con una resolución de 5Kmx5Km (Aybar et al. 2017). Y viene siendo utilizada como la base de las herramientas desarrolladas para el usuario, que se encuentra en la página web principal de SENAMHI, y también ha sido usada para investigaciones sobre los mejores predictores para el pronóstico climático (Barreto, 2017).

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DE TENDENCIA CLIMÁTICA

En base al trabajo de Guirado y Bermúdez (2011) y Guzmán (2013), donde evalúan las tendencias de precipitación, temperatura máxima y mínima a través del cálculo de una regresión lineal a lo largo de una serie no menor a 30 años y luego dividen dicha serie por décadas, es que se realiza el análisis, haciendo uso de los datos de las estaciones más cercanas a la microcuenca para el periodo de 1965-2016. Estas fueron las estaciones Acomayo, Paruro y Curahuasi, y sus datos fueron obtenidos del registro de datos históricos disponibles de la página web del SENAMHI. En dichos datos había algunos años de información faltante, por lo que se procedió a llenarlos usando el programa Rclimtool versión 1, un software de libre acceso, especialmente diseñado para realizar esta clase de tarea, usando a su vez el software estadístico R versión 2.15 y Rstudio.

Luego, usando el Rstudio y con la versión de R 3.5.1. Se procedió a calcular las tendencias, que es realizar una regresión lineal para cada set de datos.

Como se mencionó anteriormente, las estaciones no están muy cerca de la zona de estudio, por lo que se decide usar también los datos PISCO, a modo de tener una visión general del comportamiento climático de la región, que pueda complementar lo obtenido con las estaciones. Se construyeron gráficos de tendencia para el mismo período usando también el programa Rstudio. Para así obtener una idea general de la tendencia de los datos, pero no para ilustrar periodos o ciclos concretos (Guzmán ,2013).

3.3.2 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE EL MODELAMIENTO DE ESCENARIOS DEL CLIMA ACTUAL Y FUTURO

Para poder obtener una prueba visual de que el cambio climático influencia a los cultivos estudiados, es que se utiliza el programa MaxEnt (Guzmán ,2013), cuyos resultados son un mapa que permite ver la variación de la ubicación de la especie estudiada en el futuro. Es por ello, que los datos iniciales necesarios para el procesamiento fueron archivos que contengan datos climáticos de temperatura máxima, mínima y de precipitación, obtenidos de los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-AO y HadGEM2-ES (Figura 6), que pertenecen al Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) y se les seleccionó porque

han sido verificados como los modelos que mejor simulan las condiciones atmosféricas para zona sur del país (Barreto, 2016). Dicha información puede obtenerse de la siguiente página de libre acceso <http://www.worldclim.org/version1>. Pero antes de la descarga, también es necesario establecer con cuál escenario se quiere trabajar, ya que los modelos contienen información creada a partir de una condición (escenario) y la escala de la información. En esta oportunidad se seleccionaron los datos correspondientes al escenario RCP 4.5 propuesto por el IPCC (2013) en el 5to informe de Cambio Climático, que corresponde a un escenario de estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero dado que las acciones de mitigación mundiales surtieron efecto. Y, por último, la opción de downscaling a 30 segundos de arco, es decir, son un registro a nivel global pero ajustado a 0.86km² en el Ecuador y contienen los datos mencionados anteriormente para el presente y para el futuro 2050, qué es precisamente el año que nos interesa y al cual nos referiremos en esta investigación cada vez que se mencione “futuro”.





Año 2050					
Modelo Climático Global	Código	Información disponible			
		RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
ACCESS1-0	AC	 tx	 tn	 pr	 bi
HadGEM2-AO	HD				
HadGEM2-ES	HE				

Figura 6: Listado de los modelos globales que se utilizan en esta investigación. Para cada RCP, existe una variable asociada para su libre descarga, siendo tn= temperatura mínima, tx=temperatura máxima, pr=precipitación y bi= variables bioclimáticas, para el año 2050.

FUENTE: Elaboración propia.

Así mismo, es necesario contar con la información de la ubicación de las parcelas de papa y maíz, en otras palabras, de la georreferenciación de campos de cultivo en coordenadas geográficas utilizando el GPS. Para obtener esta información fueron necesarios 3 viajes

a la zona de estudio específicamente a los centros poblados Ccocha, Haquira, Llachua, Pauchi, Patahuasi, Huancacalla Chico.

La primera visita a la zona sirvió para establecer que se modelarían las variedades Ccompis y Linli para la papa y las variedades amarillo amiláceo y blanco o paraqay para el maíz, en vista de que los agricultores mostraron mayor interés en el futuro de dichas variedades. En esta etapa de recolección de datos, la ayuda de los agricultores fue muy importante, ellos permitieron el ingreso a sus tierras e indicaron la ubicación de sus parcelas, así como también brindaron información de las variedades de los cultivos que siembran. En el caso del maíz la variedad Amarillo amiláceo, se utiliza, de preferencia para preparar la chicha de jora, bebida ceremonial que se utiliza para el pago a la tierra previo a la siembra, y en el caso del Blanco o Paraqay, su interés yace en que desde hace aproximadamente 5 años su demanda ha incrementado, por lo que algunos agricultores han decidido aprovecharlo como una oportunidad nueva de ingreso. Para la papa, las variedades, Linli y Ccompis, cuentan con un sabor muy agradable y son muy conocidas en la zona.

Una consideración importante es que entre cada parcela o punto debe de existir por lo menos 1 km de distancia, pues así lo requiere el software MaxEnt para realizar la modelación. Estos puntos se tienen que guardar en formato .CSV. Se obtuvieron 30 puntos para cada variedad de maíz, 26 puntos para Linli y 28 puntos para Ccompis.

Tabla 2. Cantidad de parcelas por variedad y centro poblado de Haquira visitado

Centro poblado	Papa		Maíz	
	Cantidad de parcelas			
	Ccompis	Linli	Amarillo	Blanco
Ccocha	5	4	7	5
Llachua	6	4	6	7
Pauchi	5	6	3	5
Patahuasi	4	5	8	6
Haquira	3	4	4	4
Huancacalla Chico	5	3	2	3
Total	28	26	30	30

FUENTE: Elaboración propia.

La información de los modelos, primero se procesan en el programa ArcGis versión 10.2 y los archivos obtenidos se guardarán en formato ASCII, al igual que el archivo de altura de la microcuenca.

Finalmente, se carga toda esta información al programa MaxEnt y el resultado nos permitirá conocer la probabilidad de que una especie esté presente dada ciertas condiciones del ambiente (Phillips et al. 2006). En total se realizan 12 modelaciones (3 modelos x cada variedad (2 de papa y 2 de maíz)), obteniendo 12 mapas de distribución posible al 2050.

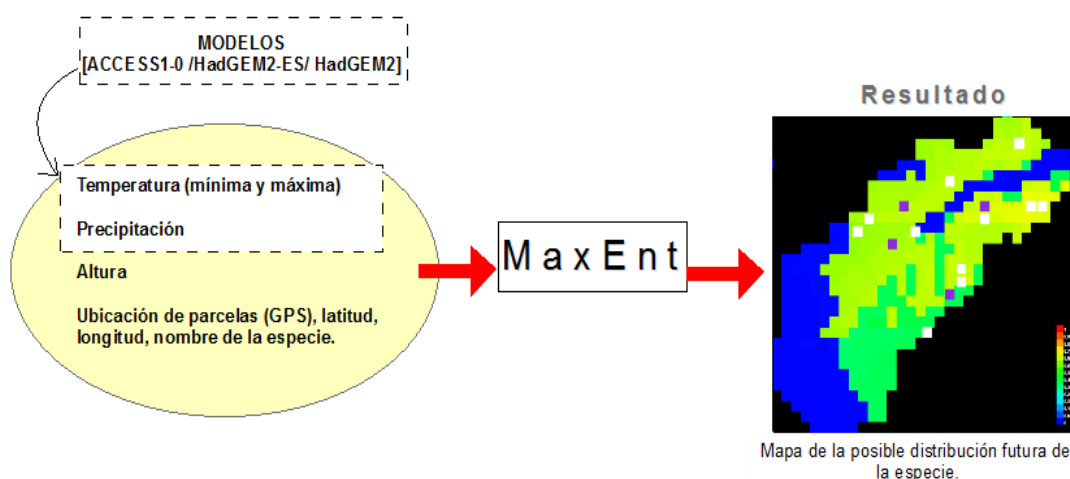


Figura 7: Mapa conceptual de la ejecución del programa MaxEnt y de su resultado.

FUENTE: Elaboración propia.

El MaxEnt es un programa que combina estadística, máxima entropía y métodos bayesianos, cuyo propósito es estimar distribuciones de probabilidad de máxima entropía sujeto a restricciones dadas por la información ambiental (Phillips et al. 2006). Para esto utiliza las variables ambientales como temperatura (máxima y mínima) y precipitación, y la información de la distribución inicial de la especie, que son los puntos georreferenciados con el GPS, toda esta información se carga al programa MaxEnt y así es como se generan mapas de distribución futura. Los resultados pueden ser graficados en un sistema de información geográfica, para esta investigación se usó el programa ArcGis (Nicho.conabio.gob.mx, 2017).

3.3.3 GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE FUTURO USANDO LA PERCEPCIÓN LOCAL

A los escenarios se les puede entender como historias que ayudan a tener una idea del futuro con el fin de planificar y tomar decisiones que ayuden a disminuir riesgos y a su vez se puedan generar estrategias que disminuyan los impactos negativos de ciertas situaciones y a diferentes escalas (Guzmán, 2013; Ibáñez, 2013). En esta investigación, lo que se desea es que los pobladores y por lo tanto usuarios del ecosistema, construyan un escenario para el cultivo de papa y de maíz al 2050 y así poder comparar el futuro esperado con lo obtenido cuantitativamente, es decir los datos meteorológicos y los resultados del modelamiento con el programa MaxEnt, el cual hizo uso de datos generados bajo un supuesto, el escenario RCP 4.5.

Para esto se adaptó la metodología usada por Guzmán (2013) e Ibáñez (2013), y se realizó un taller con 16 pobladores de la microcuenca, pertenecientes al centro poblado de Llachua y Ccocha. Se trabajaron las siguientes actividades:

a) RELACIONAR LAS PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN LOS CULTIVOS DE PAPA Y MAIZ

Se les dividió en 2 grupos, el primero se encargaría de discutir sobre el cultivo de maíz y el segundo sobre la papa. Se les dio a ambos grupos, un papelógrafo, que a su vez contenía los factores de cambio climático que afectan a dichos cultivos, estos fueron tomados del informe del CCTA- Erosión Genética- Apurímac y Huánuco, generado por Parra y Cruz (2014).

Lo que se busca es que encuentren y discutan las relaciones entre los factores y su influencia en el cultivo (Ibáñez, 2013). Para esto se señalaron con plumón rosa los factores que más relación tengan entre sí y las que menos relación tuvieran con plumón azul, así mismo se colocan algunas situaciones importantes a resaltar según la consideración del agricultor.



Figura 8: Taller en Haqira, el 12 de agosto del 2017, en el local de la ONG CADEP.

Tabla 3. Factores que contribuyen a la disminución de la diversidad de cultivos nativos en el distrito de Haqira, Provincia de Cotabambas, Apurímac, para los cultivos de papa y maíz.

Factores que favorecen la disminución de diversidad de papa y maíz
1. Minería
2. Plagas y enfermedades
3. La escuela
4. Cambio cultural
5. Cambios en el clima
6. Uso de señas (conocimiento tradicional)
7. Migración
8. Organización comunal

FUENTE: Parra y Cruz (2014).

b) LÍNEAS DE TIEMPO E HISTORIAS DE FUTURO

Esta segunda actividad consistió en tomar los elementos identificados en la primera, y sus relaciones obtenidas, para que cada grupo explique cómo se comportaría cada elemento en el futuro respecto al cultivo correspondiente, y lo indiquen a través de imágenes y dibujos, por lo que se les brinda un nuevo papelógrafo a cada grupo, plumones y recortes de revistas. Resultando luego en la construcción de una hipótesis de lo que podría pasar en el 2050 bajo la percepción de los agricultores y por lo tanto, conocedores del medio que los rodea (Ibáñez, 2013), para luego convertir dicha información en el escenario de futuro para la papa y maíz.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS DE TENDENCIA CLIMÁTICA

Las estaciones consideradas al comenzar esta investigación fueron las de Acomayo, Paruro y Curahuasi, ya que son las más cercanas a la microcuenca de Calicanto. Los datos de cada una fueron obtenidos del registro web de datos históricos del SENAMHI. Esto fue con el fin de tener una idea general del comportamiento de las variables meteorológicas tales como temperatura máxima, mínima y precipitación, en la zona de estudio, o en este caso, lo más próximo a esta. A continuación, los resultados obtenidos:

4.1.1 TEMPERATURA

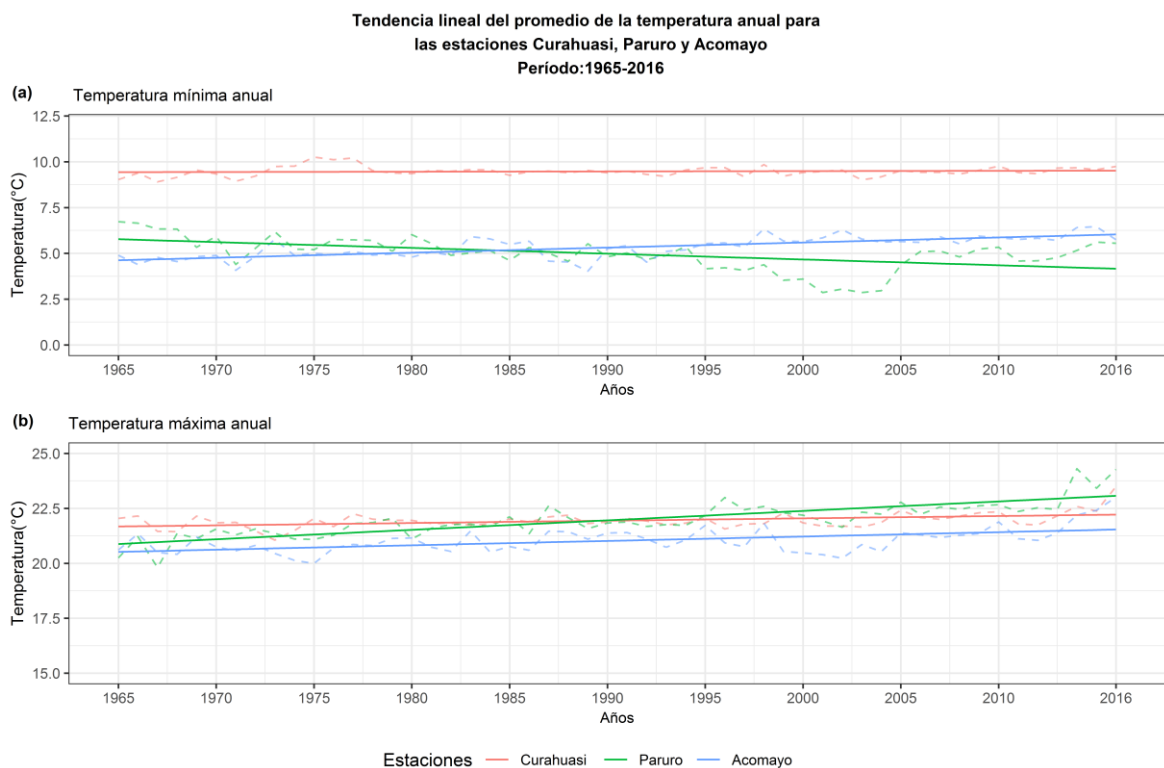


Figura 9: (a) Gráfico de tendencia de la temperatura mínima. (b) Gráfico de la tendencia de la temperatura máxima para las estaciones meteorológicas Curahuasi, Paruro y Acomayo.

FUENTE: Elaboración propia.

Según el registro de las estaciones meteorológicas para la variable temperatura mínima, en la Figura 9 (a), la estación Curahuasi no presenta una tendencia positiva o negativa, pero si es apreciable pequeñas fluctuaciones dentro de la serie de tiempo de 1965 al 2016, además, la temperatura oscila entre los 8,7 ° y 10.2°C, siendo superior a las estaciones Paruro y Acomayo, lo que posiblemente se deba a que está ubicada a una altitud de 2763 metros sobre el nivel del mar, mientras que las otras dos estaciones están a mayor altura, ya que la temperatura y la altitud tienen un comportamiento inverso, conforme uno asciende, la temperatura va disminuyendo.

Luego, tenemos a la estación Paruro, cuya tendencia es negativa. Si observamos la serie de datos vemos que hay un periodo a partir de 1995 al 2004, donde los valores de temperatura mínima disminuyen, y luego se elevan, continuando con las fluctuaciones que se ven a lo largo de la serie, y al parecer, es lo que hace que la tendencia tenga ese resultado. Esta estación se encuentra ubicada a una altitud de 3084 metros, y a 3160, se encuentra la estación Acomayo, cuya tendencia es positiva, y se puede apreciar como los valores de temperatura a partir de 1994 no bajan de los 5°C.

En la Figura 9 (b), es evidente que existe una tendencia positiva de la temperatura máxima para las 3 estaciones, pero no con la misma intensidad, ya que la estación Paruro (3084 m.s.n.m.) tiene la mayor tendencia, en segundo lugar está la estación Acomayo (3160 m.s.n.m.) cuyo aumento es mucho menor a 1°C en el periodo de estudio, y en tercer lugar, Curahuasi (2763 m.s.n.m.), que a su vez, no parece presentar grandes fluctuaciones en su serie de datos, como si las tiene la estación Paruro.

4.1.2 PRECIPITACIÓN

Tendencia lineal del acumulado anual de la precipitación para las estaciones Curahuasi, Paruro y Acomayo

Periodo: 1965-2016

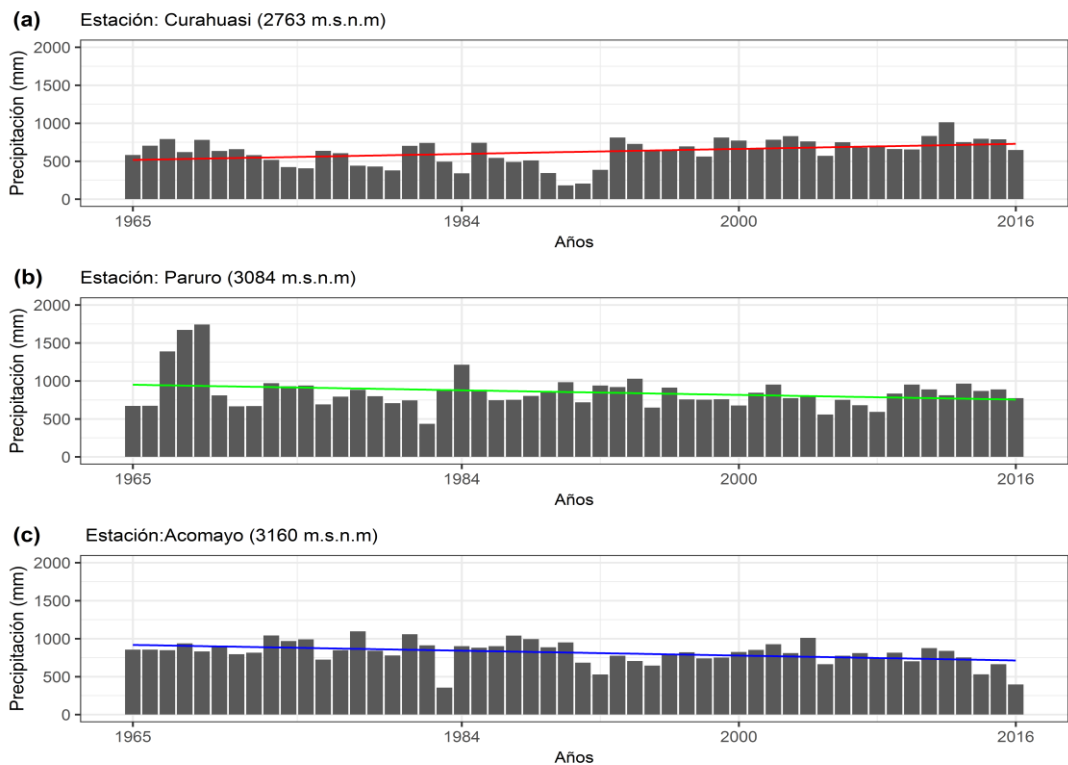


Figura 10: Gráficos de tendencia de la precipitación haciendo uso de la data de las estaciones (a) Curahuasi, (b) Paruro y (c) Acomayo.

FUENTE: Elaboración propia.

Respecto a la variable precipitación, podemos apreciar en la Figura 10 (b) y (c), que las estaciones Paruro y Acomayo siguen una tendencia lineal negativa, es decir que se espera en el futuro que la precipitación disminuya, mientras que en la estación Curahuasi, es positiva.

Por otro lado, la serie de datos en la Figura 10 (b), presenta los mayores valores de precipitación para los años 1967 a 1969, dichos valores hacen que la tendencia sea negativa, y si buscamos ese aumento en la Figura 10 (a) y Figura (c), no encontramos el mismo patrón.

Hasta aquí se ha podido observar el comportamiento en general de la temperatura y de la precipitación, pero se profundizará con el siguiente análisis decadal.

4.1.3 ANÁLISIS DECADAL

Luego, de obtener una visión general de las tendencias de cada variable, se realizó un análisis decadal para el mismo período.

a) ANÁLISIS DECADAL PARA LA TEMPERATURA MÍNIMA

En la Figura 13 (a), las estaciones de Curahuasi y Acomayo muestran una tendencia de aumento, mientras que la de Paruro es negativa, y se mantiene en la Figura 13(b), al igual que la estación Acomayo, pero la estación Curahuasi pasa a ser negativa. Para el período de 1987 a 1997, la tendencia en las 3 estaciones reduce su pendiente.

En la Figura 13 (d), se puede notar que los datos a partir del año 2000 en adelante presentan un aumento de temperatura, aunque la tendencia sea negativa, en las 3 estaciones. Coincidentemente, en la Figura 12, se menciona que, por el mismo año, se observa que se produce el cultivo de zapallo, en áreas no usuales a cultivarlo y también, que a partir de ese año aproximadamente, los agricultores perciben un cambio en el clima, es decir, que aumenta el calor en la zona. Dicha información fue elaborada por el Centro de Investigación de Zonas Áridas (CIZA- UNALM), que, en el 2014, construyó con la ayuda del testimonio de los pobladores de Haquira, líneas de tiempo para la papa y el maíz, donde se resaltan los años donde ocurren hechos importantes en el desarrollo de los cultivos mencionados (Figuras 11 y 12). Información que es de utilidad para el análisis ya que no se cuenta con datos reales dentro del área de estudio.

En la Figura 13 (e), se puede apreciar una tendencia positiva de la temperatura mínima para las 3 estaciones, a pesar de que antes habíamos dicho que no existía consenso en la tendencia general (Figura 9(a)). A su vez, dicho aumento coincide con la disminución de variedades de maíz, de 18 a 13 (Figura 11). En cuanto a la papa, los agricultores indican que los eventos de heladas se incrementan (Figura 12) por el año 2014 aproximadamente.

El cultivo de la Papa
 Línea de tiempo: 1950-2014
 Microcuenca Calicanto, Dist. Haquira, Prov. Cotabambas. Apurímac
CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS VARIEDADES

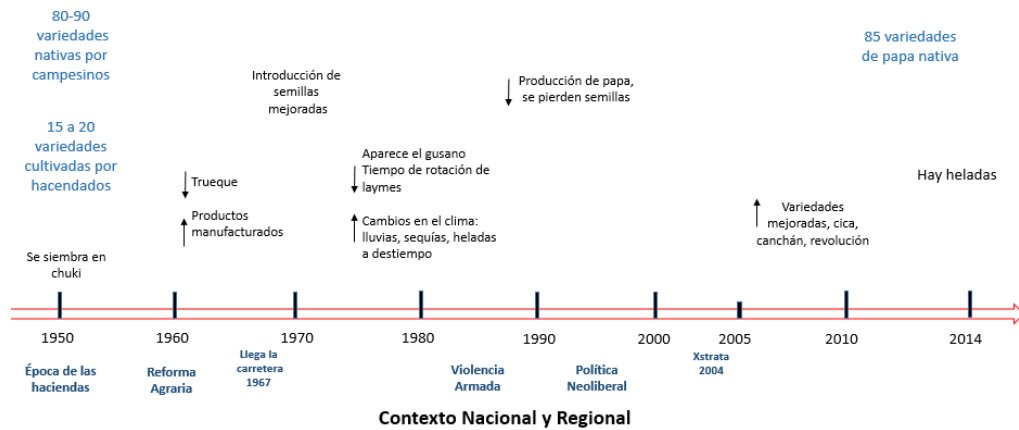


Figura 11: Gráfico sobre los cambios en la composición de las variedades de papa, basado en el informe del CCTA- Erosión Genética- Apurímac y Huánuco. Las anotaciones azules corresponden a los acontecimientos sociales y antecedentes, y las anotaciones en color negro son las obtenidas del testimonio de los pobladores de Haquira.

FUENTE: Parra y Cruz (2014).

El cultivo del Maíz
 Línea de tiempo: 1950-2014
 Microcuenca Calicanto, Dist. Haquira, Prov. Cotabambas. Apurímac
CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS VARIEDADES

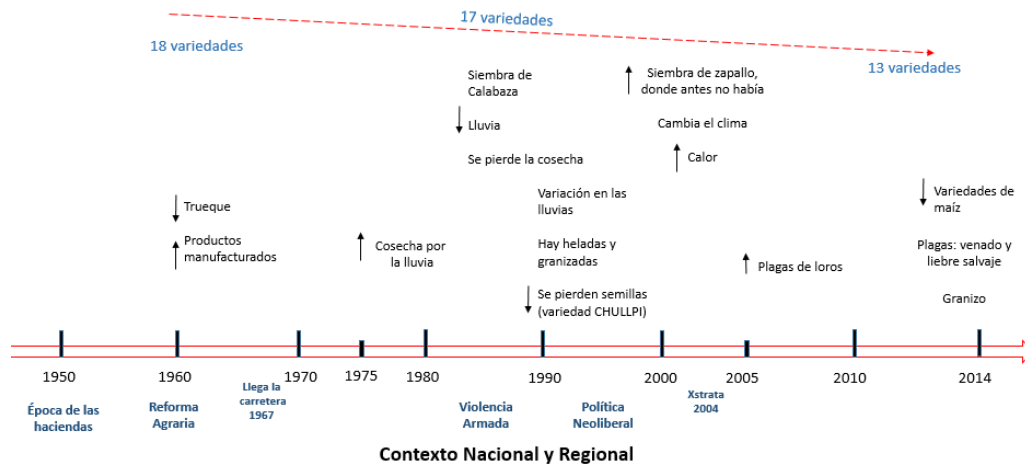


Figura 12: Gráfico sobre los cambios en la composición de las variedades de maíz, basado en el informe del CCTA- Erosión Genética- Apurímac y Huánuco. Las anotaciones azules corresponden a los acontecimientos sociales y antecedentes, y las anotaciones en color negro son las obtenidas del testimonio de los pobladores de Haquira.

FUENTE: Parra y Cruz (2014).

**Tendencia lineal del promedio de la temperatura mínima anual para las estaciones
Curahuasi, Paruro y Acomayo
Periodo: 1965-2016**

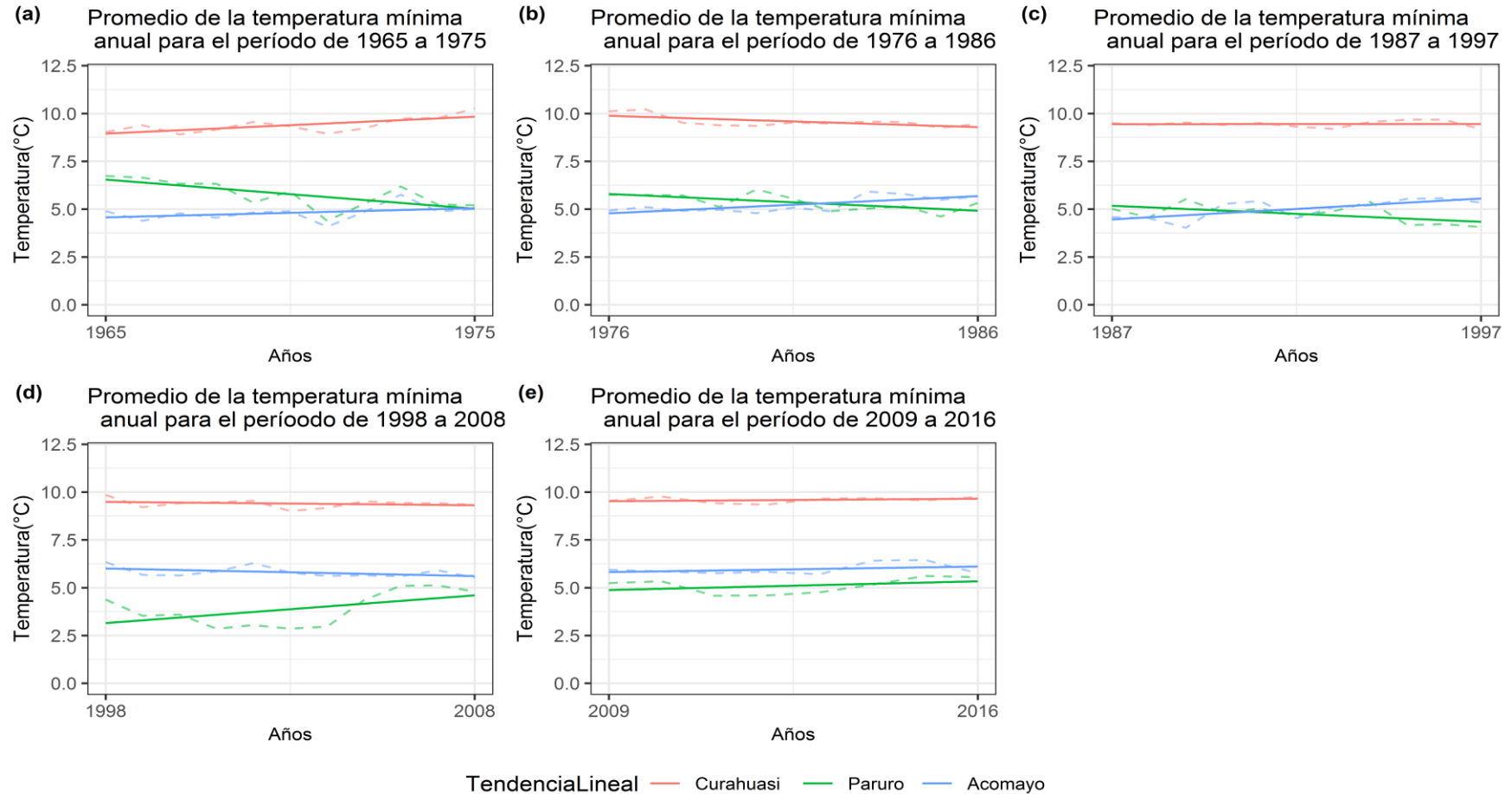


Figura 13: Gráfico de tendencias del promedio de la temperatura mínima anual para las estaciones Curahuasi, Acomayo y Paruro: a) período de 1965-1975, b) período de 1976 a 1986, c) período de 1987 a 1997, d) período de 1998 a 2008 y e) período de 2009 al 2016.

FUENTE: Elaboración propia.

b) ANÁLISIS DECADAL PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA

En cuanto a la temperatura máxima, se había visto anteriormente que las 3 estaciones mostraban una tendencia positiva (Figura 9(b)) en general. Sin embargo, en las Figura 14 (a), (b) y (c), la tendencia va cambiando hasta llegar al período 1998 al 2016, Figura 14 (d) y (e), donde podemos notar como hay una marcada tendencia de aumento y a su vez, es el único período en el que coinciden las 3 estaciones. Pero, es en la Figura 14 (e) que se nota una mayor pendiente en la tendencia. Así mismo, de la Figura 12, se puede entender que, para los agricultores de Haquira, se viene sintiendo más calor entre el 2000 y 2005, aproximadamente. Y mientras que se ha trabajado con la papa, haciendo que el agricultor siembre semillas mejoradas, para el maíz no ha sido el caso, quedando 13 variedades de las 18 que se solían sembrar.

c) ANÁLISIS DECADAL PARA LA PRECIPITACIÓN

La estación Curahuasi, en el único período en el que no presenta una tendencia negativa es en el de 1965 a 1975 (Figura 15(a)), al igual que Paruro (Figura 15(f)), pero para la estación Acomayo, es evidente los cambios decadales en cada pendiente obtenida, terminando el último período (Figura 15 (o)), con una tendencia de disminución de la precipitación.

Por otro, lado, hay que considerar también que las estaciones están colocadas en una zona con topografía muy accidentada, lo que explicaría la diferencia en los valores acumulados de cada serie, y también que muchas de lo que reportan los pobladores, también son efectos de El Niño y La Niña (SENAMHI, 2012), sobre todo cuando mencionan la ocurrencia de sequías y el aumento de lluvias.

**Tendencia lineal del promedio de la temperatura máxima anual para las estaciones
Curahuasi, Paruro y Acomayo
Período: 1965-2016**

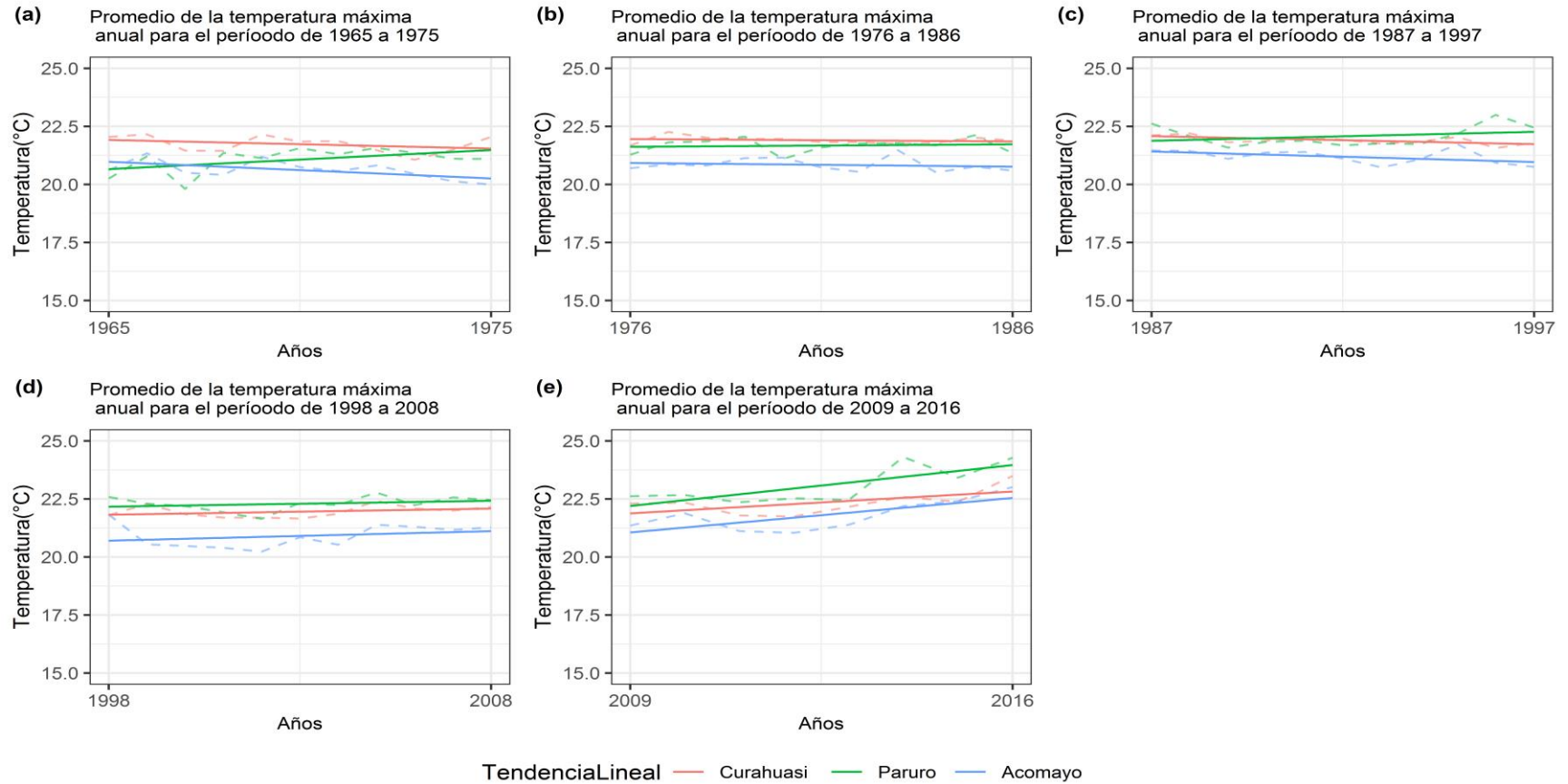


Figura 14: Gráfico de tendencias del promedio de la temperatura máxima anual para las estaciones Curahuasi, Acomayo y Paruro: a) período de 1965-1975, b) período de 1976 a 1986, c) período de 1987 a 1997, d) período de 1998 a 2008 y e) período de 2009 al 2016.

FUENTE: Elaboración propia.

**Tendencia lineal del acumulado anual de la precipitación para
las estaciones Curahuasi, Paruro y Acomayo
Periodo: 1965-2016**

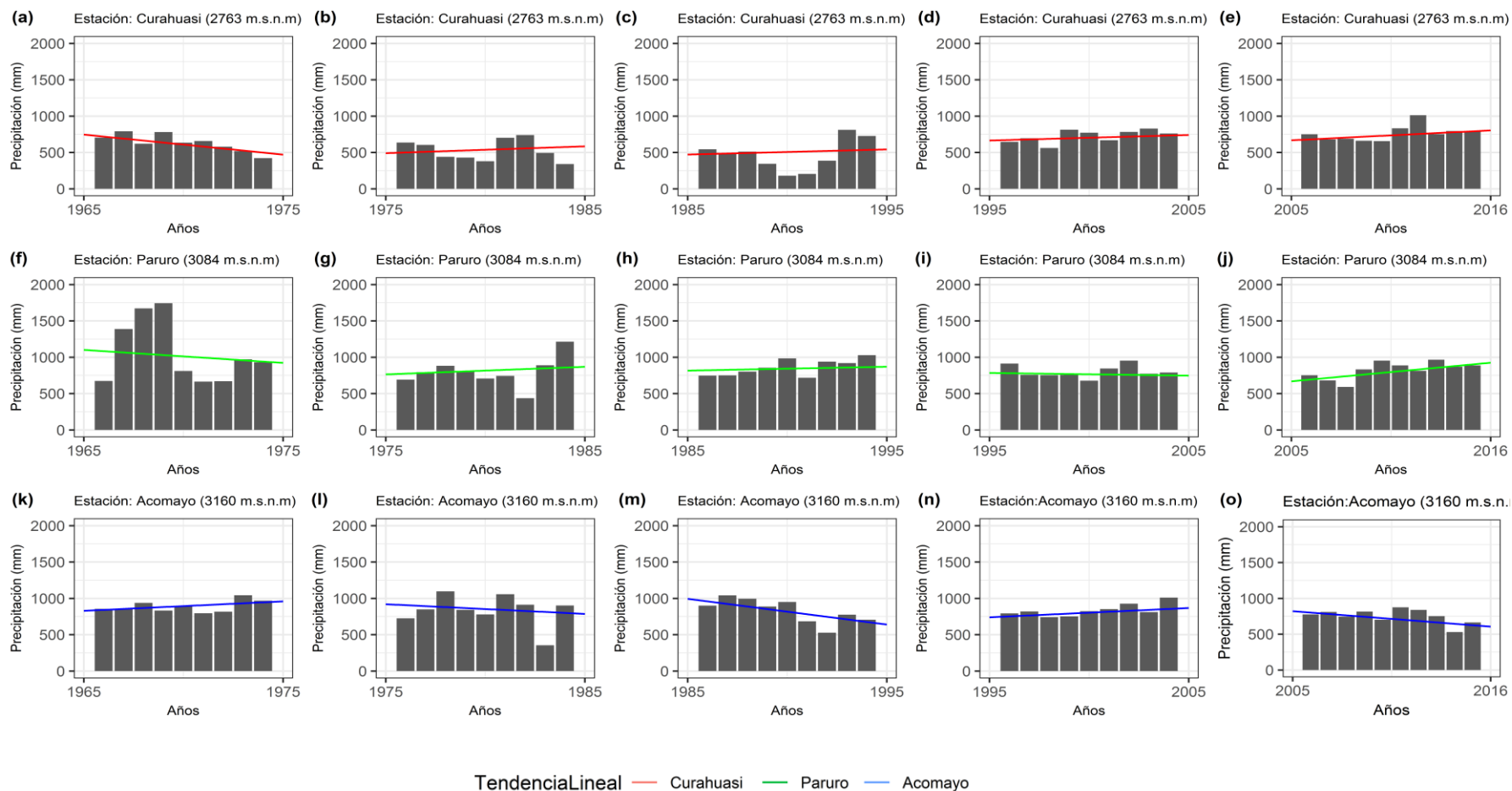


Figura 15: Gráfico de tendencias del acumulado anual de la precipitación para las estaciones Curahuasi, Acomayo y Paruro: a) período de 1965-1975, b) período de 1976 a 1986, c) período de 1987 a 1997, d) período de 1998 a 2008 y e) período de 2009 al 2016.

FUENTE: Elaboración propia.

4.1.4 ANÁLISIS DE DATOS PISCO

Se usa la data PISCO, proporcionada por SENAMHI, esta es una base de datos generados para todo el Perú, por interpolación entre datos reales y datos de satélite. Por lo que esta información puede que brinde una idea del comportamiento de las variables mencionadas anteriormente, pero esta vez, dentro del área de estudio. Dichos datos son datos mensuales del periodo de 1981 al 2016. Dado a su formato es posible visualizarlos usando el programa R versión 3.5.2.

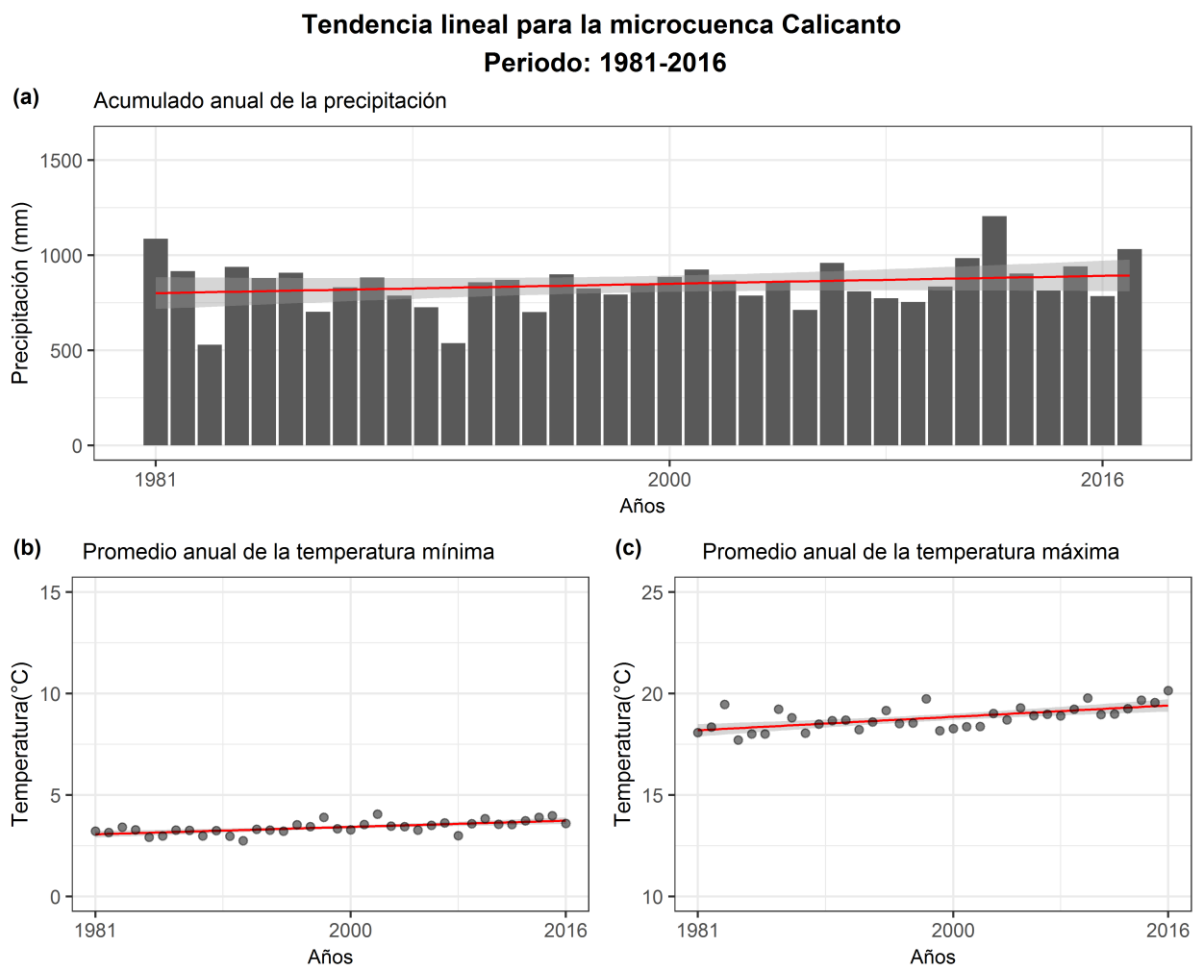


Figura 16: Gráfico de tendencias para a) Precipitación, b) Temperatura mínima y c) Temperatura máxima en el área de estudio.

FUENTE: Elaboración propia.

Tal como se puede notar en la Figura 16 (a), (b) y (c), existe una tendencia general al aumento para la temperatura y precipitación dentro de la microcuenca de Calicanto. Respecto a esto, se pueden mencionar los estudios de cambio climático realizados para la región de Apurímac, presentes en el informe del Programa de Adaptación al Cambio Climático -PACC (SENAMHI, 2012), dicho estudio se realizó en base a data de estaciones de los departamentos Apurímac y Cusco, y entre sus observaciones se menciona que parece existir una clara influencia interanual, que sería producto de los periodos El Niño y La Niña, lo cual se indica en la Figura 11, de manera indirecta, en la historia del cultivo del maíz por los años de 1998 y 1999 aproximadamente, donde reportan un aumento del calor y como también se han podido observar en las fluctuaciones de las series de datos para temperatura mínima y máxima.

Respecto a la precipitación, el informe, dice que existe una tendencia positiva de la precipitación, ya que en los últimos 44 años para la región Cusco- Apurímac, ya que se ha incrementado, tendencia que puede ser apreciada en la Figura 16(a). Así como el incremento los periodos lluviosos muy intensos, pero de corta duración, tal y como lo reportaron los pobladores de Haquira durante el taller realizado en este trabajo. Además, el número de heladas meteorológicas que se observa al sur de Cusco-Apurímac, se ha incrementado, así como su frecuencia. Lo que permite corroborar la información brindada por los pobladores de Haquira, quienes reportan que, en efecto, los eventos de heladas se vienen dando con más frecuencia que en años pasados e incluso en meses que no corresponde, como fue el caso de marzo del 2017, durante la primera visita a la zona de estudio.

En nuestro caso, la microcuenca de Calicanto se encuentra en la región sureste del departamento de Apurímac, y tanto para la data de estación como lo representado en las gráficas del producto PISCO, la temperatura máxima si muestra un claro aumento y una tendencia a aumentar en el futuro. En cambio, para la variable temperatura mínima, los datos de estación no son del todo concluyentes, sin embargo, se muestra una ligera tendencia de aumento en el período de 1998 al 2016 aproximadamente, y dentro de la microcuenca los resultados también indicarían un aumento, así como para la variable precipitación.

4.2 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE EL MODELAMIENTO DE ESCENARIOS DEL CLIMA ACTUAL Y FUTURO

Tal como se mencionó anteriormente, los pobladores de Haquira consumen 2 cultivos principales, estos son el maíz y la papa, cada uno con su respectiva variedad. Por lo que se deseaba simular 2 variedades de cada uno, escogidas según el grado de importancia para el agricultor. En el caso del maíz, se consideraron las variedades Amarillo amiláceo y maíz Blanco o paraqay, el primero por ser un cultivo usado en ceremonias, tales como el pago a la tierra previo a la siembra, empleado para la chicha de jora y el segundo, porque el mercado cuzqueño desde hace aproximadamente 5 años viene solicitando esa variedad. En el caso de la papa, se trabajó con las variedades Linli y Ccompis, ambas son nativas y tienen muy buen sabor.

Lo que se deseaba averiguar era cuál sería el comportamiento de cada variedad mencionada por efectos del cambio climático al 2050. Para ello se trabajó con el programa Maxent, que permite modelar la posible distribución o nicho de una especie dadas ciertas condiciones climáticas y topográficas.

Las condiciones del clima fueron obtenidas de la página web Worldclim, donde están de manera libre los datos de temperatura máxima, mínima y precipitación para cada GCM y para cada RCP.

El RCP seleccionado fue el 4.5 y los modelos utilizados fueron el ACCESS 1-0, el HADGEM A0 y el HADGEM –ES.

4.2.1 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DEL MAÍZ VARIEDAD BLANCO

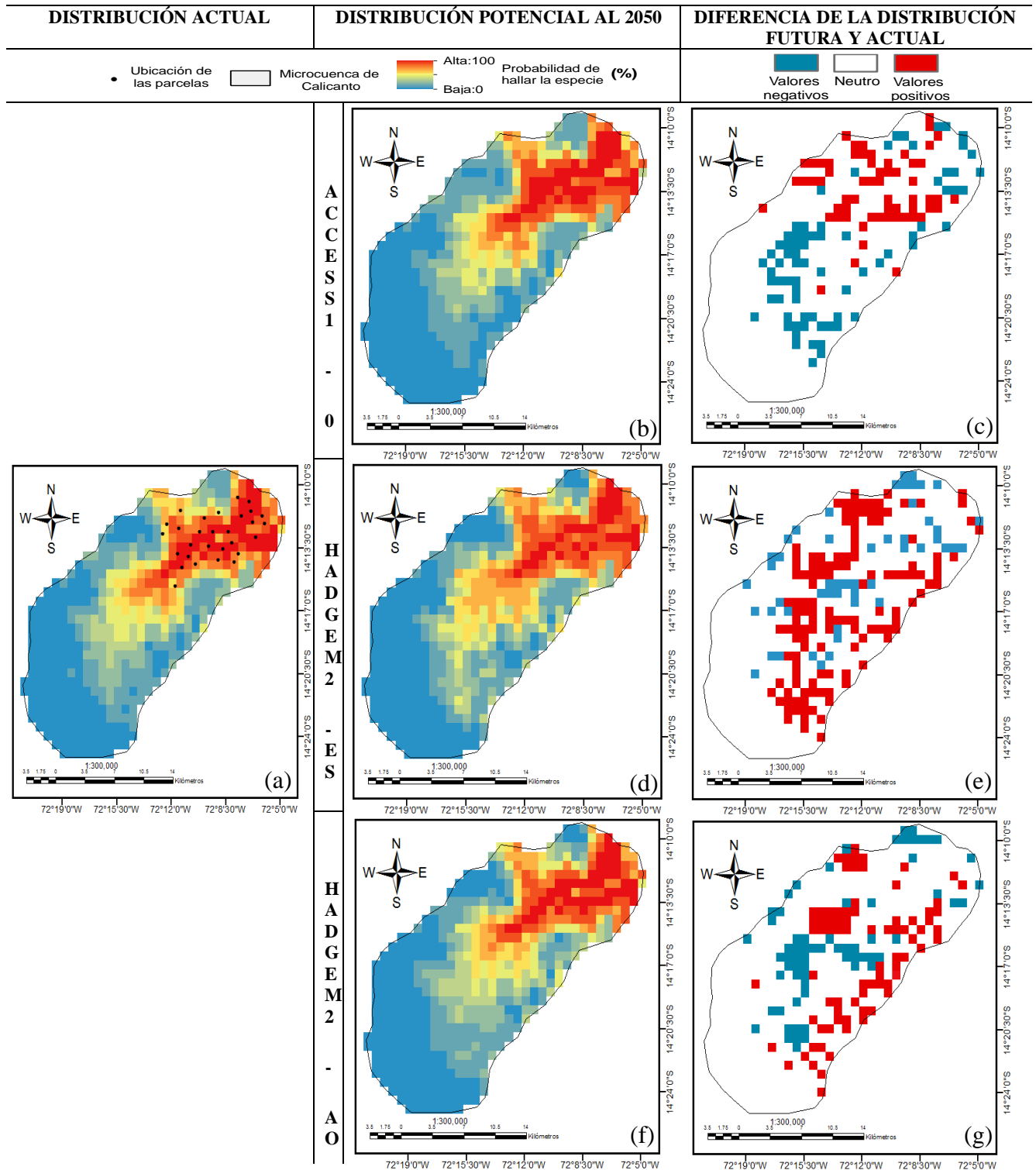


Figura 17: Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de maíz blanco.

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.2 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DEL MAÍZ VARIEDAD AMARILLO AMILÁCEO

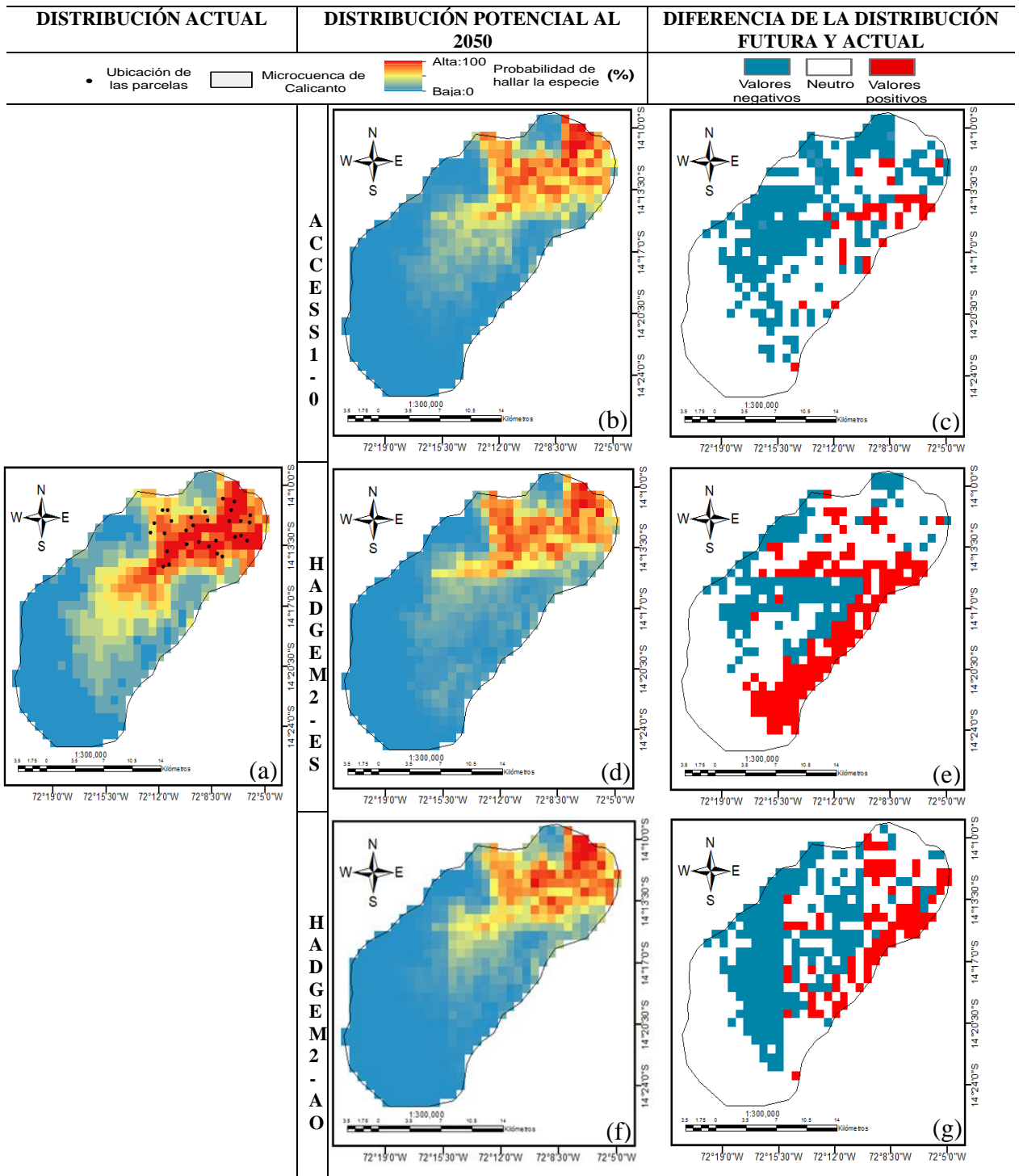


Figura 18 : Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de maíz amarillo.

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 17(a) y 18(a), los puntos negros son la ubicación del 2017 de las parcelas de maíz, al igual que la Figuras 19(a) y 20(a) pero para el cultivo de papa.

En primer lugar, para ambas variedades de maíz, se puede notar que se encuentran en la zona cercana a la cabecera de la microcuenca Calicanto, aproximadamente en las alturas de 3500 a 4050 m.s.n.m. (Ver Anexo 1 y 2). Por eso no es extraño que la distribución actual y futura con MaxEnt para cada modelo haya hecho énfasis en esa área.

Las Figuras 17(b), (c) y (d), son el resultado obtenido luego del procesamiento con el software MaxEnt y Arcgis. Pero se realiza una resta entre dicho archivo y la distribución actual para que sea mucho más fácil identificar las zonas donde hay posibilidad de encontrar los cultivos al 2050.

Para el maíz blanco, la diferencia del modelo ACCESS1-0 con su distribución actual (Figura 17 (c)), nos indica que hay una gran probabilidad de encontrar a la especie en la cabecera de cuenca, pero siendo más preciso, sería en las laderas cercanas al cauce principal. Sin embargo, para la diferencia con los modelos HadGem2-ES (Figura 17 (e)) y HadGem2-AO (Figura 17 (g)), nos muestra que es posible encontrarla en la zona suroeste de la microcuenca, aproximadamente entre los 4000 a 4300 m.s.n.m. que no dista mucho de los niveles actuales a los que se encuentra hoy en día, sin embargo, se aleja mucho del cauce principal del río Calicanto.

Para el maíz amarillo, las diferencias para cada modelo indican que hay probabilidad de encontrar a dicha variedad en la zona suroeste, tal como en el caso anterior. Sin embargo, sería el modelo ACCESS1-0 quien muestra un rango mucho más restringido, es decir, que la probabilidad de encontrar maíz amarillo en el 2050, sería más factible en la zona sureste, más cerca de la cabecera de cuenca y unas cuantas parcelas podrían encontrarse en dirección suroeste.

4.2.3 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DE LA PAPA VARIEDAD CCOMPIS

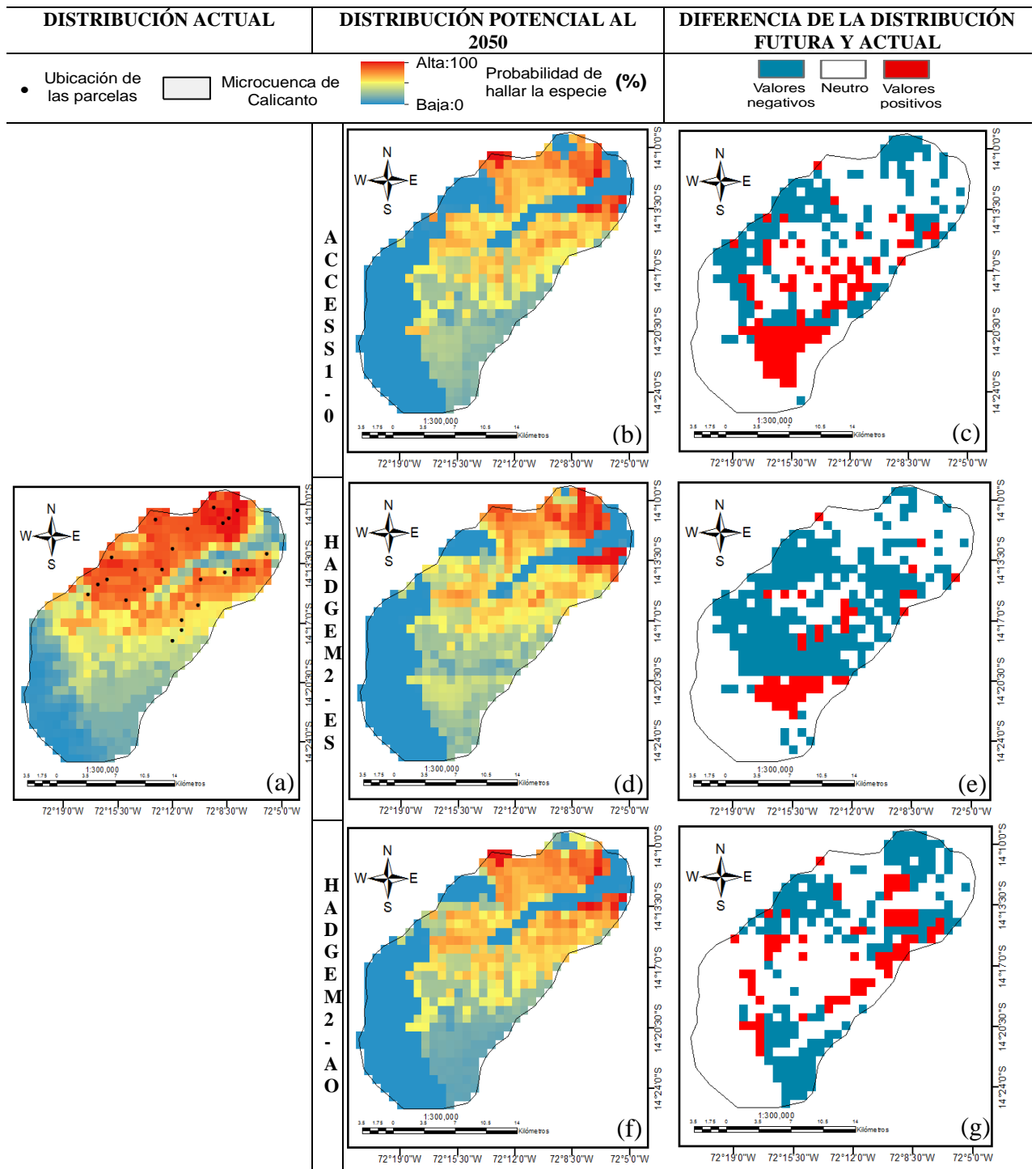


Figura 19: Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de papa Ccompis.

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.4 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO DE PAPA VARIEDAD LINLI

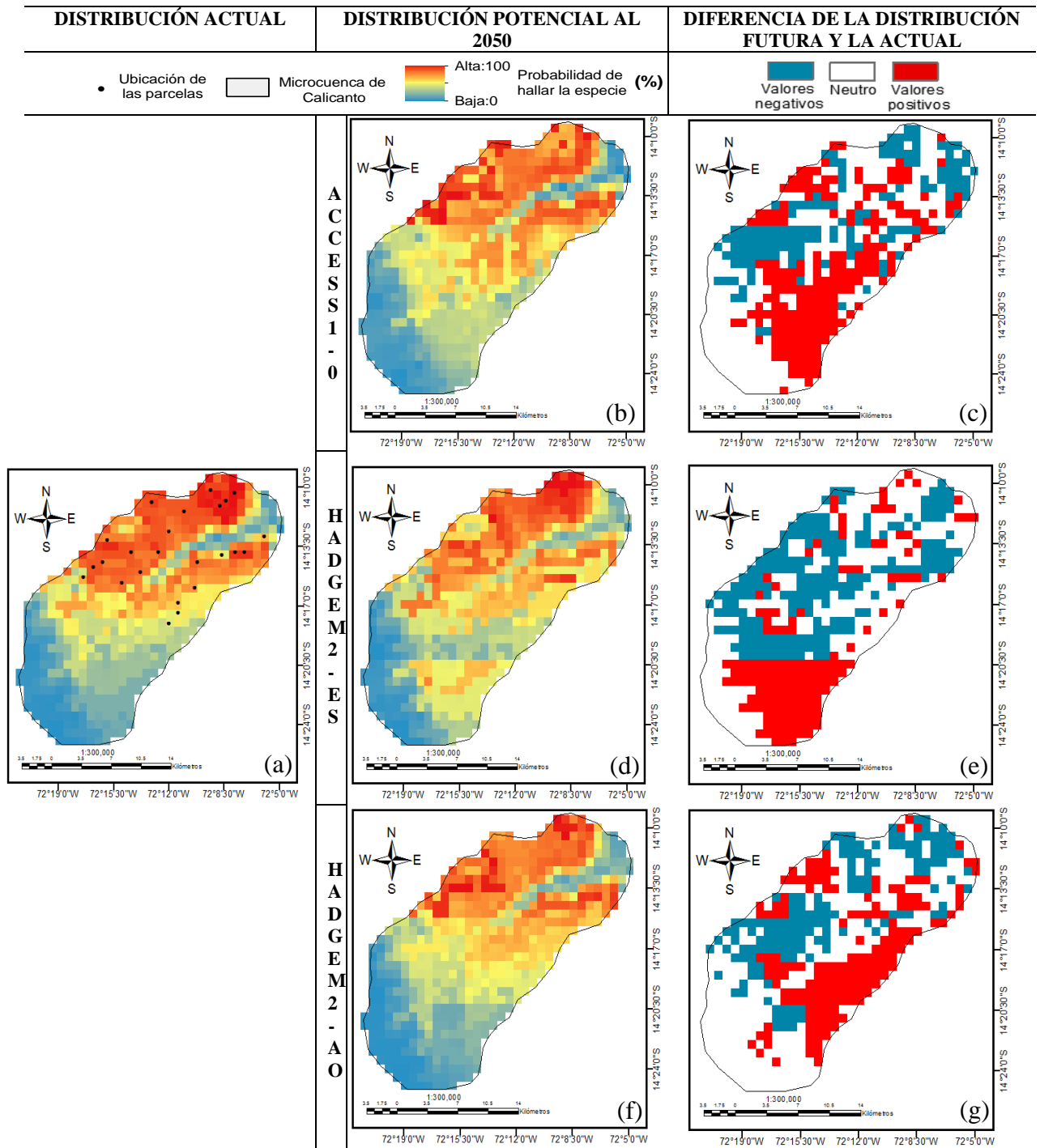


Figura 20: Salidas del programa MaxEnt para los modelos ACCESS1-0, HadGEM2-ES y HadGEM2-AO para la variedad de papa Linli.

FUENTE: Elaboración propia.

El mapa de distribución actual para ambas variedades de papa tiene las parcelas en alturas que oscilan en los 4095 a los 4500m.s.n.m (Figura 19 (a) y 20 (a)), además, ese mapa y el de futuro para las variedades de papa de este estudio tienen la zona cercana al río Calicanto sin resaltar(en celeste), pues lógicamente no existen parcelas ahí ya que no posee las condiciones para su desarrollo, muy contrario al maíz, donde casi todas las laderas cercanas al río son usadas para este cultivo. También se puede apreciar en términos generales, en cuanto al mapa de diferencias entre lo futuro y lo actual, que la zona suroeste de la microcuenca para el 2050 tiene las condiciones climáticas para que se puedan desarrollar dichos cultivos.

En el caso de la variedad Ccompis, el resultado del modelamiento muestra casi la misma distribución a la actual para los 3 modelos(Figuras (b), (d) y (f), sin embargo, es el modelo ACCESS1-0 (Figura 19(c)), que muestra un cambio al sur donde se incrementa en un 25por ciento la probabilidad de encontrarla, esto también se distingue en la diferencia con el modelo HadGem2-ES(Figura 19 (g)), pero el incremento se da al borde sureste de la microcuenca, y aparecen algunas zonas al sur este y al sur con el HadGem2-ES (Figura 19(e)).

Para la variedad Linli, observamos que existe una mayor probabilidad de encontrarla al borde sureste de la microcuenca en los modelos ACCESS1-0 (Figura 20 (c)) y HadGem-AO (Figura 20 (g)), respectivamente entre las alturas de 4100 y 4300 m.s.n.m. (Ver Anexo 3 y 4) Sin embargo, también es posible encontrarla en la zona sur, para el modelo HadGem-ES (Figura 20 (e)), precisamente en zonas que cuentan con una elevación de 4300 m.s.n.m.

Es interesante notar también que los resultados muestran que en zonas donde se siembra papa actual y exclusivamente, poseerán las condiciones al 2050 para la siembra de maíz, cuando son cultivos con distinto requerimiento térmico de acuerdo con su fase fenológica, el óptimo para el maíz oscila entre 15 a 20°C (Ochoa, 2009) y para la papa es de 5 a 28°C (Egúsquiza, 2000). Además, las zonas donde se siembra papa y maíz actualmente distan aproximadamente 360 metros. Por lo tanto, se infiere que se elevaría el cultivo de maíz, y por lo tanto el cultivo de papa también al 2050.

Estos resultados comprueban lo sensible que es exponer al cultivo a un medio con condiciones alteradas tales como temperatura y precipitación, pero en la vida real, también dependen de la mano del hombre para poder desarrollarse.

4.3 GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE FUTURO USANDO LA PERCEPCIÓN LOCAL

4.3.1 ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN LOS CULTIVOS DE PAPA Y MAÍZ

La primera dinámica consistió en la discusión entre los pobladores de los centros poblados de San Juan de Llachua y Patahuasi, pertenecientes al distrito de Haquira acerca de la relación entre los factores de cambio del maíz y papa (CGTA, 2014). Se les dividió en 2 grupos, uno para maíz y otro para papa. Ambos grupos contaron con pobladores de ambos centros poblados.

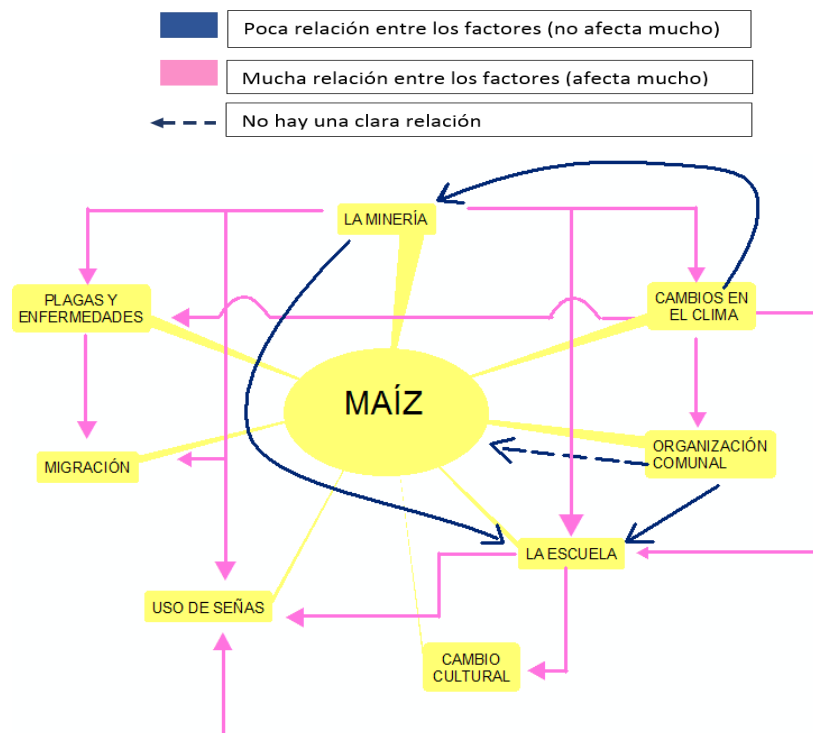


Figura 21: Relaciones establecidas por los pobladores de los centros poblados San Juan de Llachua y Patahuasi (distrito de Haquira) entre los factores que favorecen el cambio en la producción del maíz.

FUENTE: Elaboración propia.

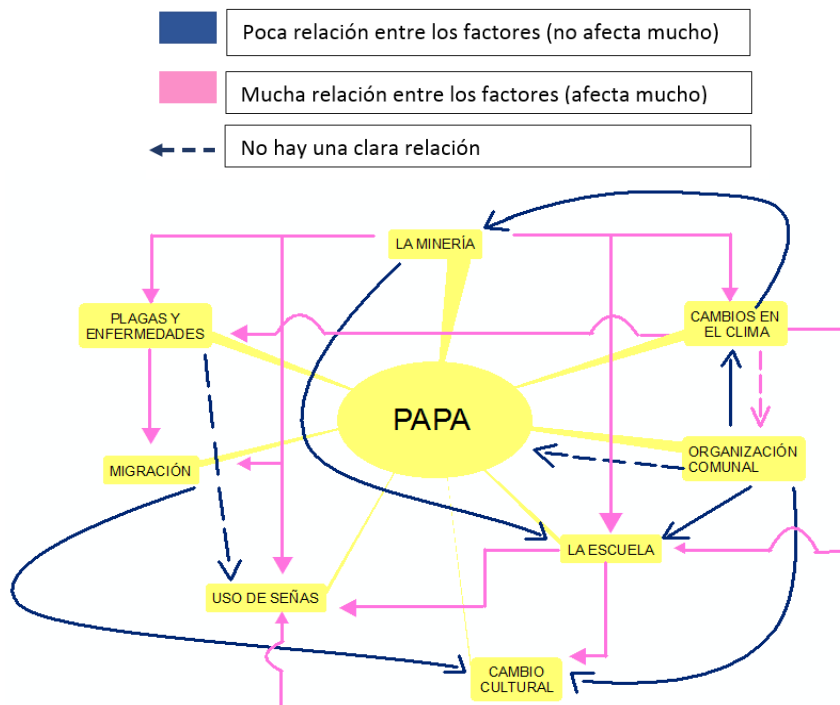


Figura 22: Relaciones establecidas por los pobladores de los centros poblados San Juan de Llachua y Patahuasi (distrito de Haqira) entre los factores que favorecen el cambio en la producción de la papa.

FUENTE: Elaboración propia.

Como resultado, en general, de ambos grupos, se obtuvo que el agricultor piensa que el factor de cambio que más influye en que la variedad de cultivos de papa y maíz disminuya, en primer lugar, es el de la minería. Es posible darse cuenta de que, en ambos cuadros, este viene a ser un factor muy influyente respecto a los demás.

Empezando por el factor escuela, ambos grupos destacaron que se ve afectada por la minería y a la vez no (flecha rosada y azul), es decir que tiene una relación ambivalente, y explican que esto se debe a que la minería se encarga de llevarles infraestructura, construye carreteras y las mantiene en buen estado, construye colegios y permite que la tecnología llegue a la comunidad, prácticamente se encarga de que la modernidad llegue a los sitios en los que el estado no se hace presente, sin embargo, a su paso, contamina las aguas y por ende a la población, y si hablamos estrictamente de cómo afecta a la agricultura, pues notamos que existe una cadena de eventos muy significativa, que parte

desde la escuela. Según lo pobladores, los niños son educados bajo la idea de que “deben ser mejor que sus padres”, en otras palabras, a no ser agricultores, por lo que la opción de dejar su pueblo y buscar ser minero o migrar a la ciudad pues así ganaran más dinero (migración), se hace presente desde la infancia, es decir se predispone al niño a que rechace los conocimientos ancestrales referentes a la chacra (cambio cultural) y por lo tanto al no ser compartidos, queden en el olvido.

Mencionan también que a veces, cuando hay recorte de personal en la mina, muchas veces regresan a su centro poblado para intentar producir en su tierra, pero no solo han perdido la capacidad de leer las señas del clima, sino que también han perdido información que puede servirles para combatir las plagas y enfermedades que se les presenten, lo cual conlleva al agricultor a buscar otros sitios donde la “tierra no esté enferma” (migrar).

El segundo factor de importancia, bajo el criterio de los pobladores, fue el del cambio climático, indican que, de no ser por la minería, este sería el factor que más les preocuparía. Ellos consideran que es un proceso natural debido a que la “la Pachamama se encuentra cansada” y que esta se ve afectada a su vez porque los jóvenes ya no realizan el pago respectivo a la tierra. Lo que perciben también respecto al clima es que existe un aumento en la temperatura del ambiente, como consecuencia, reportan que hay cultivos que ahora se pueden sembrar en niveles medios y que antes, estos mismos solo se podían sembrar en baja altura, también mencionan que ha habido un incremento en la frecuencia de heladas y que la llegada de la lluvia está demorando cada vez más, si bien, antes empezaba la siembra a mediados de setiembre, ahora, lo hace en diciembre, indican que no es fácil saber con certeza cuándo llegará la temporada de lluvias, que muchas veces creen que llegó pero solo fue “un veranillo”, período de corta duración, días o semanas de abundante lluvia, este error hace que siembren antes de tiempo, perdiendo la cosecha. Así mismo, algunas señales que les indican cuando es época de lluvias también han estado desapareciendo, como el caso del sapo en Llachua.

Por último, podemos notar que para el grupo maíz, el cambio climático tiene una fuerte relación con la organización comunal, mientras que, para el grupo papa, no habría mucha. Esta diferencia se debe a que el primero considera que en vista a los cambios presentes en el clima hay más ONG’S trabajando constantemente en cada centro poblado, capacitándolos, junto con otros programas del estado que velan por la seguridad

alimentaria, que favorecen a que se mantenga una buena organización comunal, teniendo un efecto directo en el cultivo de maíz, ya que una de las principales tareas de esta, es la programación de la siembra y la elección de la chacra donde se sembrará, debido a que ellos dejan tierras de cultivo en descanso (laymes). Pero coincide con el segundo grupo en que, de no contar con intervención externa, no se afectaría el cultivo, pues ellos mantendrían la organización, y es justamente lo que cree el segundo grupo, que además de que se está recuperando el “ayni”, es decir la cooperación entre ellos mismo, y el pago a la tierra.

4.3.2 LÍNEAS DE TIEMPO E HISTORIAS DE FUTURO

A continuación, se detalla cada escenario obtenido con la ayuda de los agricultores en el taller de Haqira, 2017. Ambos relatan lo que esperan de cada cultivo en el futuro, así como lo que esperan de cada factor discutido en la primera dinámica del taller.

a) ESCENARIO PARA EL MAÍZ AL 2050

Para el año 2050, los pobladores indican que se tendrá una gran disminución de las variedades del maíz, y que el producto que obtengan será de menor tamaño al del actual. Existirá una mayor variación en las estaciones, por lo tanto, el pronóstico de las lluvias será más difícil ya que también las señas que ven en su ambiente se verán afectadas. El no contar con lluvias, inducirá a fuertes sequías, generándose conflictos por el agua, aparecerán más plagas producto del aumento de la temperatura. Otros fenómenos que se producirán en aumento serán los ventarrones, las nevadas y las granizadas. La minería seguirá vigente en el departamento de Apurímac, por ende, en Haqira y con ello existirá mayor contaminación, el aumento de las enfermedades, y la migración de los jóvenes, pues el estado les brindará mayor apoyo a las empresas mineras, generándose mayores conflictos sociales. La contaminación generada afectará la esperanza de vida, reduciéndola entre 40 a 50 años. En la escuela no se reforzará el uso de las señas climáticas ni las prácticas culturales lo suficiente como para no ser olvidadas, la migración a las ciudades se incrementa por lo que la organización comunal se deja a los mayores.

b) ESCENARIO PARA LA PAPA AL 2050

Los pobladores perciben que, en el 2050, la minería seguirá siendo el principal factor de contaminación en la zona, ya no existirán cultivos sanos para consumo, los animales también sufrirán, los peces de los ríos morirán y producirá cambios en el paisaje, se tendrán “cerros pelados”, es decir, sin pasto, producto de las explosiones mineras. También favorecerá que los jóvenes dejen de trabajar en la chacra por buscar trabajos mejor pagados. El cambio climático producirá una disminución de la lluvia, lo que dará poca producción. Se incrementan las granizadas, heladas y las sequías, las plagas como el gusano de la papa y las langostas aparecerán con más frecuencia. Las costumbres y tradiciones disminuirán producto del ingreso de nuevas sectas religiosas.

Los derechos de los comuneros no serán respetados por el estado, ya que este favorecerá a los grandes inversionistas. La organización comunal será más necesaria para poder vivir mejor. Habrá mayores conflictos sociales ya que en vista de que no se dará una adecuada ayuda por parte del estado, presentarán una iniciativa a su representante en el parlamento por un proyecto de ley que favorezca al hombre andino.

**c) COMPARACIÓN ENTRE AMBOS ESCENARIOS
CUALITATIVOS PARA EL 2050**

Tabla 4. Resultados de los escenarios del futuro en el 2050 para el maíz y para la papa.

Escenario para el maíz al 2050	Escenario para la papa al 2050
Cultivo de menor tamaño	Retraso de las lluvias
Temperatura elevada	Poca producción
Más plagas	Cultivos contaminados
Más temporadas de sequía y conflictos por el agua.	Contaminación de agua, animal y humana.
Aumento de ventarrones, nevadas y granizadas	Cambios en el paisaje, producto de la minería.
Menos jóvenes en los centros poblados.	La minería es todavía el factor número uno de contaminación.
La minería, es aún el factor número uno de contaminación.	El estado estará del lado de los grandes inversionistas mineros.
El estado apoya más a las empresas mineras que a los pobladores.	La organización comunal será muy importante.
Menor esperanza de vida.	Aumentarán los conflictos sociales.
La escuela no adapta su currículo lo suficientemente rápido como para que los niños valoren su cultura y los conocimientos tradicionales.	Los jóvenes se van de la chacra.

FUENTE: Elaboración propia.

En la Tabla 4, para ambos escenarios construidos, los factores minería y cambio climático siguen teniendo gran influencia en la vida de los pobladores de Haqira en el 2050, por un lado, la contaminación que trae consigo la minería, sumándole la falta de lluvias, conlleva a que en el futuro existan muchos conflictos por el agua y también de que la calidad de sus cultivos disminuya producto del aumento de la temperatura, que favorecería al desarrollo de distintas plagas. Además, ambos grupos consideran que habrá

menos jóvenes que atiendan la chacra, por ende, existirá una mayor cantidad de personas que habrán perdido el conocimiento tradicional de su comunidad. Y, por último, remarcan que el estado seguirá sin prestarle atención a sus necesidades, pero si apoyará a los inversionistas mineros.

A modo de resumen, podemos realizar una comparación de los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 5. Comparación de los resultados obtenidos del análisis de tendencia para las variables de temperatura mínima, máxima y precipitación y los resultados del programa MaxEnt con los resultados obtenidos en el taller de percepción local.

Resultados del análisis de las variables meteorológicas y modelamiento	Resultados del taller
Tendencia positiva de la temperatura máxima y mínima; Figura 14 (b y c).	Existirá mayor temperatura en el futuro. Por eso, se pierden variedades y los cultivos serán de menor tamaño, aparecen más plagas. (Taller en Haqira, 12 de agosto del 2017)
Incremento de los periodos lluviosos muy intensos, pero de corta duración. (SENAMHI, 2012)	Ocurrencia de veranillos con más frecuencia. (Taller en Haqira, 12 de agosto del 2017)
Tendencia positiva de la precipitación. (SENAMHI,2012); Figura 14 (a).	Ocurrencia de sequías con más frecuencia y habrá conflictos por el agua.
Al 2050, los modelos indican un desplazamiento hacia zonas de mayor altura para ambas variedades de papa y maíz	Los cultivos están subiendo de nivel altitudinal. (Taller en Haqira, 12 de agosto del 2017)

FUENTE: Elaboración propia.

Respecto a la comparación entre la información cuantitativa y la cualitativa (Tabla 5), podemos encontrar ciertas similitudes, por ejemplo, que existe un aumento de temperatura mínima y máxima, por un lado, tenemos la evidencia de los datos de estación y por el otro los datos de la misma microcuenca, obtenidos con PISCO (ver Figura 14 (b) y (c)). Por otro lado, lo obtenido para la variable precipitación (Figura 14 (a)), indica que en la zona hay una tendencia positiva, y a nivel regional también (SENAMHI, 2012).

Sin embargo, los agricultores mencionan que en el futuro existirá más sequía y por ello habrá conflictos por el agua. Y aunque esto parezca contradictorio, tiene que ser visto desde su contexto, ya que, al existir un aumento de temperatura, es evidente que habrá una mayor evapotranspiración, por lo que los pastos quedarán secos, eso sería considerado como “sequía”, para esta situación.

Los pobladores de Haqira coinciden en que hay cultivos que tienen que ser sembrados en niveles más altos, así como también esperan un cultivo de menor calidad, dado que se encontrará bajo condiciones no tan buenas para su desarrollo. Sin embargo, el hecho de contar con días más cálidos podría dar a pensar que las heladas dejarían de ocurrir, pero la percepción local, y el escenario de futuro, indican que los pobladores de la microcuenca de Calicanto esperan que este fenómeno siga apareciendo y con mayor frecuencia.

V. CONCLUSIONES

- Luego del análisis de la data de las estaciones meteorológicas y PISCO, se obtuvo una tendencia positiva para la precipitación, temperatura máxima y mínima en la zona, en los últimos años en la microcuenca de Calicanto.
- Respecto al modelamiento de la distribución potencial de ambas variedades de maíz y papa se obtiene que el cambio climático en la zona ejerce un efecto de cambio en las zonas de distribución de dichos cultivos, sobretodo en la zona sureste de la microcuenca, donde sería posible encontrar las condiciones para que ambas variedades de papa se desarrollen al 2050, así como de maíz, pero está en menor probabilidad, pues dicho cultivo prefiere el área cercana a la cabecera de la microcuenca y sus alrededores.
- En cuanto a los escenarios de futuro generados por los agricultores, se obtuvo que perciben que al 2050, el cambio climático traerá consigo el aumento de temperatura y la demora de las lluvias, afectando el desarrollo de sus cultivos. Así mismo, existe una fuerte percepción de que los eventos meteorológicos como los veranillos y granizadas aumentarán en ocurrencia y que ocurrirán en meses fuera de lo común.
- Por último, se concluye que el cambio climático influye sobre la adaptación de los cultivos haciendo que para su desarrollo se eleven altitudinalmente, tal como se indica en los resultados del modelamiento, las zonas donde se siembra papa actualmente serán zonas donde se podrá encontrar maíz al 2050, y la papa también hace lo mismo y se desplaza hacia los bordes de la microcuenca. Sin embargo, dado los limitantes de este estudio, esta conclusión aún debe de ser corroborada con una base de datos mucho más fina y correspondiente al área de estudio, además de incluir otros factores ambientales como el tipo de suelo, la altitud y aspectos del mismo cultivo.

VI. RECOMENDACIONES

- Los datos de los modelos usados en esta investigación cuentan con una resolución alta por lo que tienen que ser usados en futuros estudios con una mayor resolución, es decir, tienen que ser modelos locales de preferencia, obtenidos en base al downscaling estadístico o dinámico, con el fin de obtener resultados mucho más precisos.
- Se recomienda considerar el número de estaciones meteorológicas posibles al momento de decidir donde realizar el estudio, pero el uso de los datos PISCO también puede ser una solución, de no encontrar información.
- Para futuras investigaciones en la zona, se recomienda obtener más de 30 puntos de presencia de las parcelas a estudiar, sobre todo en la zona suroeste.
- Haqira, tiene una amplia diversidad, por lo que sería recomendable contar con datos reales de temperatura máxima, mínima y precipitación in situ para estudios posteriores.

VII. OBSERVACIONES

- Los agricultores de Haqira, en su gran mayoría, siembran en “shanqro”, que significa mezclado en quechua, como indica las diversas fuentes consultadas, sin embargo, una vez en campo, es posible comprobar que existen agricultores que están sembrando una variedad por parcela, esto se debe a que el mercado se está volviendo poco a poco más rentable. Por eso se han considerado solo 2 variedades por cultivo de papa y de maíz para esta investigación.
- Algunas parcelas consideradas en esta investigación fueron obtenidas gracias a la ayuda satelital de Google Maps, en vista de que su acceso era muy complicado.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguila, Y; Moya, N; Becerra, F. (2009). Aplicación del enfoque prospectivo para impulsar el Desarrollo Local en la comunidad 14 de Julio (Estudio de caso), Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/libros/2009c/586/.
- Aybar, C.; Lavado-Casimiro, W.; Huerta, A.; Fernández, C.; Vega, F.; Sabino, E. & Felipe-Obando, O. (2017). Uso del Producto Grillado “PISCO” de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017, Lima-Perú.
- Barreto, C. 2016. Comportamiento de la Alta de Bolivia hacia finales del siglo XXI bajo el escenario de emisión RCP8.5. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Barreto, C. 2017. Evaluación de predictores para el pronóstico climático [archivo pdf] Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-54.pdf>
- Celis-Garcia, J. 1996. Incidencia de la Sequia en Perú: Estrategias para Superar esta Limitante. 1996: 169.
- Egúsqüiza, R. 2000. La Papa Producción, Transformación y Comercialización. Lima, CIMAGRAF S.R.L., 210.
- Flores, G. 2017. Biogeografía de un bosque alto andino: Historia e impacto del cambio climático en los queñuales peruanos. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Guirado, SG; Bermúdez, FL. 2011. Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular Semiárido. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles no.56: 349-372.

- Guzmán, F. 2013. Evaluación del impacto del cambio climático en el cultivo de café en la cuenca alta del río Sisa - provincias de Lamas (distrito Alonso de Alvarado) y El Dorado (distrito San Martín de Alao) - Región San Martín. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Goebbert, K., H.C. Jenkins-Smith, K. Klockow, M.C. Nowlin, and C.L. Silva, 2012: Weather, Climate, and Worldviews: The Sources and Consequences of Public Perceptions of Changes in Local Weather Patterns. *Wea. Climate Soc.*, 4, 132–144, <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-11-00044.1>
- Ibáñez, A. 2013. Construcción de escenarios de futuro a través de métodos prospectivos participativos en un Área Natural Protegida. s.l., Universidad Internacional de Andalucía. 1-135 p.
- Ibáñez, A. 2019 . Parte 3: Cambio climático. Los cultivos nativos y el cambio climático en los Andes del Perú-Huánuco y Apurímac. Torres. ,J; Parra, F; Casas, A; Cruz, A. De los cultivos nativos y el cambio climático. Hallazgos(Huánuco y Apurímac), 1era edición, Lima, editorial, 205- 211 p.
- INEI. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario. Lima, Ministerio de Agricultura y Riego, 62.
- INEI. 2016. Evolución de la Pobreza Monetaria 2007-2016. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1425/
- IPCC. 2007. Cambio Climático 2007: Informe de síntesis del Cuarto Informe de Evaluación. Ed. GY Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert M. Ginebra, s.e., 114.

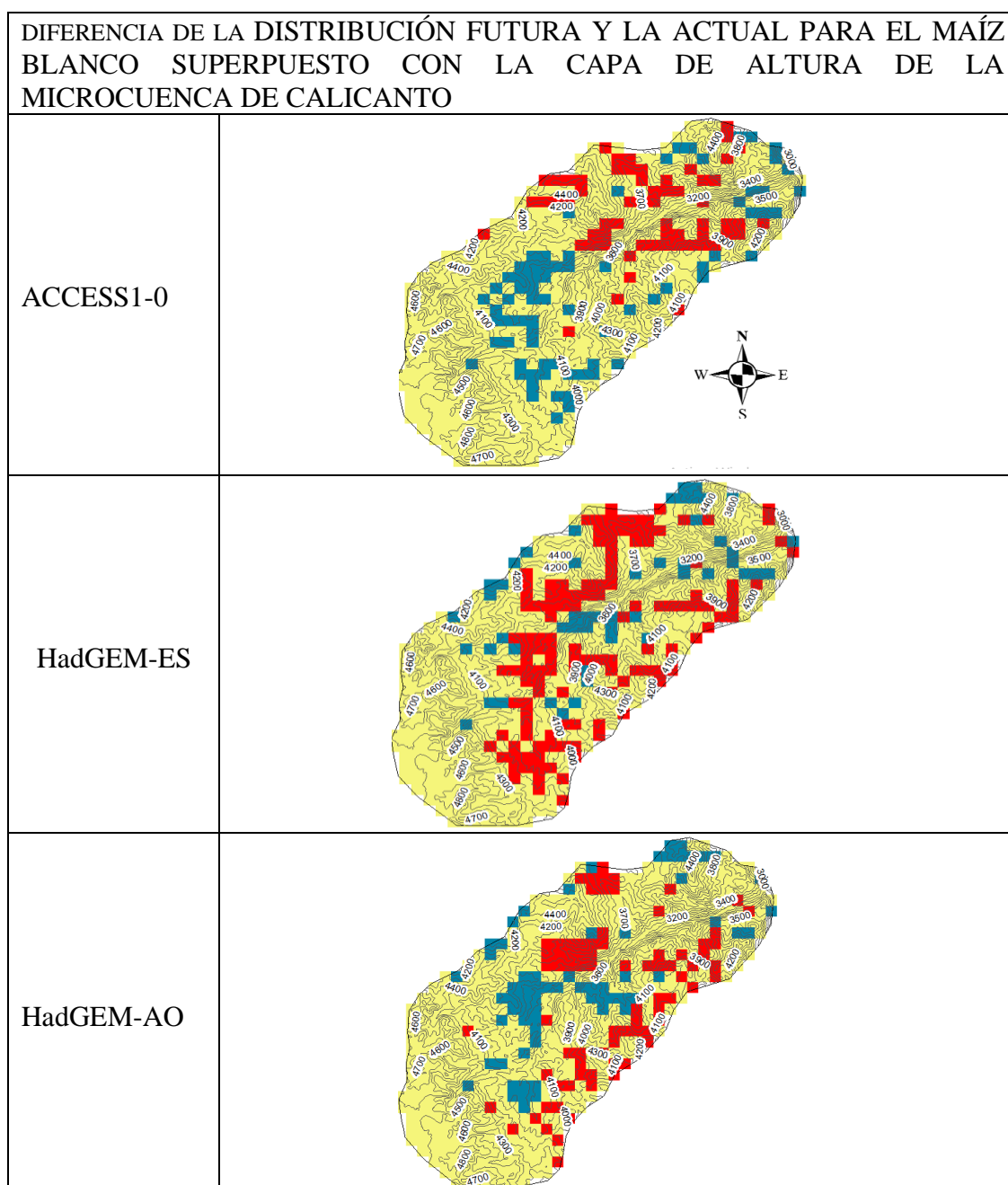
- IPCC. 2013. Climate Change 2013 The Physical Science Basis Foreword Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. TF Stocker; G-K D. Qin; M Plattner; SK Tignor; J Allen; A Boschung; Y Nauels; VB Xia; PM Midgley. First Cambridge, Cambridge University Press, 33-115.
- Kessel, J Van; Enriquez, P. 2002. Señas y señaleros de la Madre Tierra; agronomía andina. Ed. A Yala-IECTA. Santiago de Chile, s.e., 1-309.
- Libélula, 2011. Diagnóstico de la Agricultura del Perú(Informe final). Recuperado de: www.sudamericarural.org/images/en_papel/archivos/Diagno_stico_de_la_Agri cultura_en_el_Peru___-_-web.pdf
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and Human Wellbeing: Scenarios. Washington, D.C., Island Press.
- MINAGRI. 2012. Maíz Amarillo Duro. 2012.
- MINAM. 2010. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2010. Ed. Ministerio del Ambiente del Perú. Lima, Fondo Editorial del MINAM, 204._____. 2015. Estrategia Nacional Ante El Cambio Climático 2015. s.l., s.e., 88.
- Nicho.conabio.gob.mx. (2017). Maxent - Nichos y Áreas de Distribución. [online] Disponible en: <http://nicho.conabio.gob.mx/la-calibracion-del-modelo/maxent>.
- Ochoa, A. 2009. Influencia de la Temperatura y Precipitación en el cultivo Maíz Amiláceo (*Zea mays* L.) en las variedades San Gerónimo y Blanco Urubamba en el Valle del Mantaro. s.l., Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ortiz, R. 2012. Climate Change and Agricultural Production, Paper ESG-TN-383. Inter-American Development Bank: Washington, DC. <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36736182>

- Osman-Elasha B, Nagmeldin G, Spanger-Siegfried E, Dougherty B, Hanafi A, Zakieldean S, Sanjak A, Atti HA, Elhassa HM (2006) Adaptation strategies to increase human resilience against climate variability and change: lessons from arid regions of Sudan. AIACC Working paper No. 42
- Phillips, SB; Aneja, VP; Kang, D; Arya, SP. 2006. Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues* 6(2-3): 231-252.
- Parra,F; Cruz,A. 2014. Erosión genética (Papa, maíz y cultivos asociados, granos y/o raíces) diagnóstico Apurímac y Huánuco -informe final.
- Sanabria, J; Lhomme, JP. 2013. Climate change and potato cropping in the Peruvian Altiplano. *Theoretical and Applied Climatology* 112(3-4): 683-695.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). 2009. Caracterización y aptitud agroclimática de papa y maíz en la subcuenca del río shullcas, Junín. s.l., SENAMHI, 1-108.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). 2012. Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco. Serie de investigación regional # 1. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú.
- Skarbø, K. 2005. Roots returning? Andean agrobiodiversity: change and continuity in the case of Cotacachi, Norwegian University of Life Sciences.
- Skarbø K.; VanderMolen K. 2016. Maize migration: key crop expands to higher altitudes under climate change in the Andes. *Clim. Dev.* 245–255. <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1034234>.
- Soberón, J. (2012). Las probabilidades de Maxent [archivo pdf]. Disponible en: <http://nicho.conabio.gob.mx/la-calibracion-del-modelo/maxent>.

- Tito, R.; Vasconcelos H.L.; Feeley K.J. 2018. Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Glob. Chang. Biol.* 24 (2), e592–e602. <https://doi.org/10.1111/gcb.13959>.
- Valdivia, M. 2014. Percepción local de la diversidad infraespecífica de papas nativas (*Solanum* spp) en tres comunidades andinas de Haqira (Apurímac) y su aporte en la adaptación al cambio climático. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Van Kessel, J y Enriquez, P. 2002. Señas y señaleros de la Santa Tierra Agronomía Andina. Quito, Ecuador, Quito: Abya Yala, Iquique, Chile: IECTA.
- Vavilov, NI. 1951. The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. *Chronica Botanica* 13: 1-387.
- Yzarra, W; López, F. 2011. Manual de Observaciones Fenológicas. Lima, SENAMHI, 62.

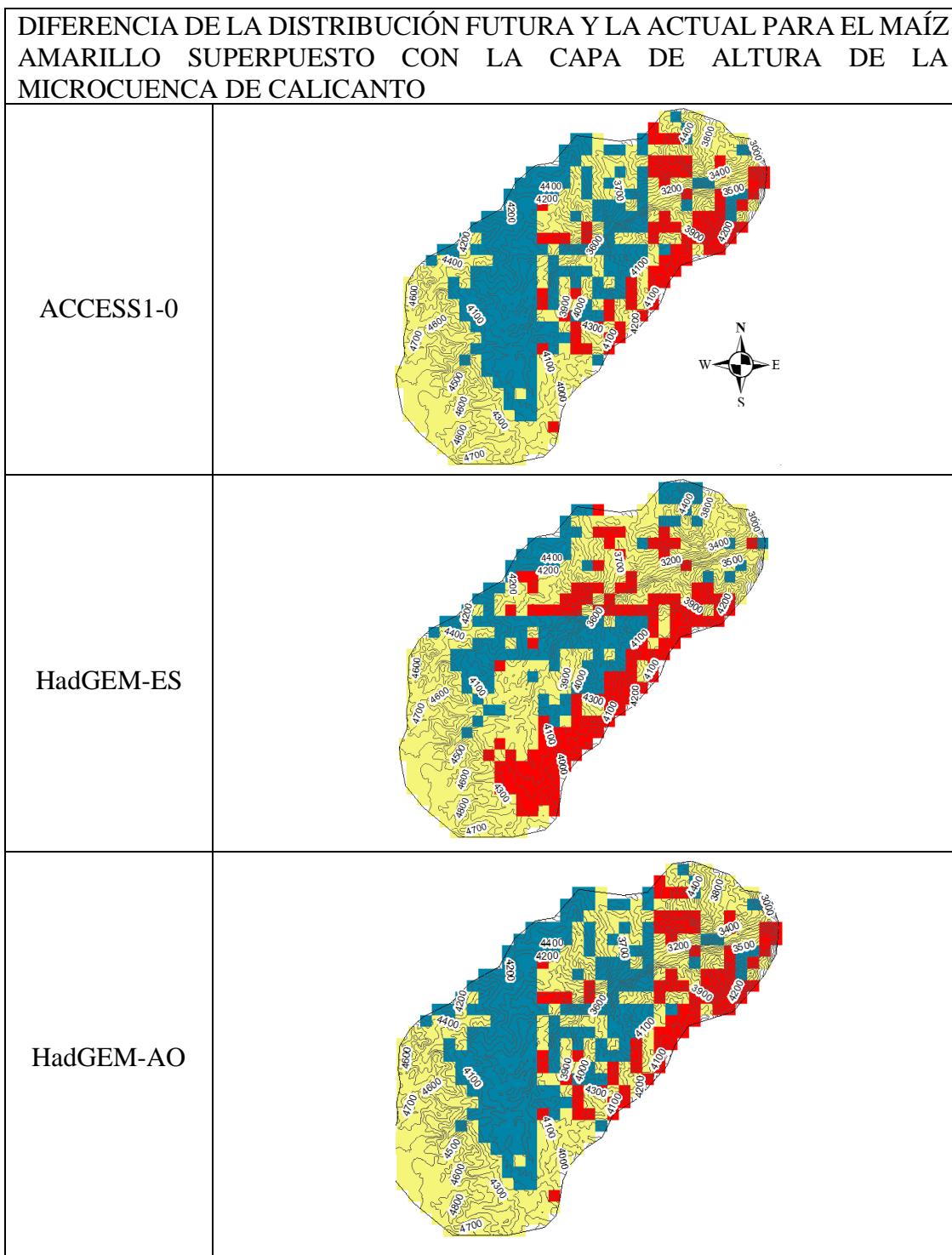
IX. ANEXOS

ANEXO 1: Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es y HadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de maíz blanco y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto



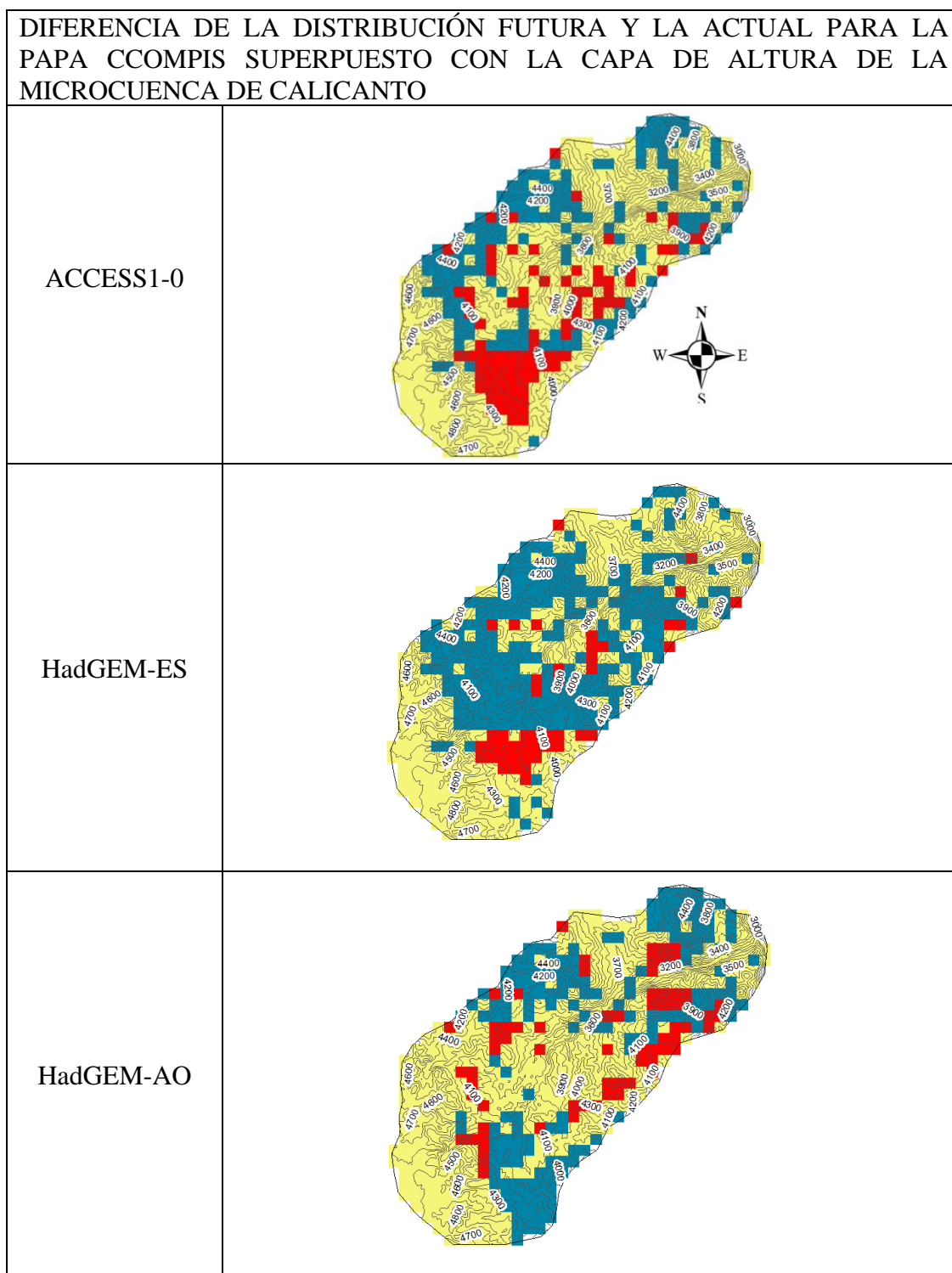
FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 2: Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es y HadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de maíz amarillo y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto



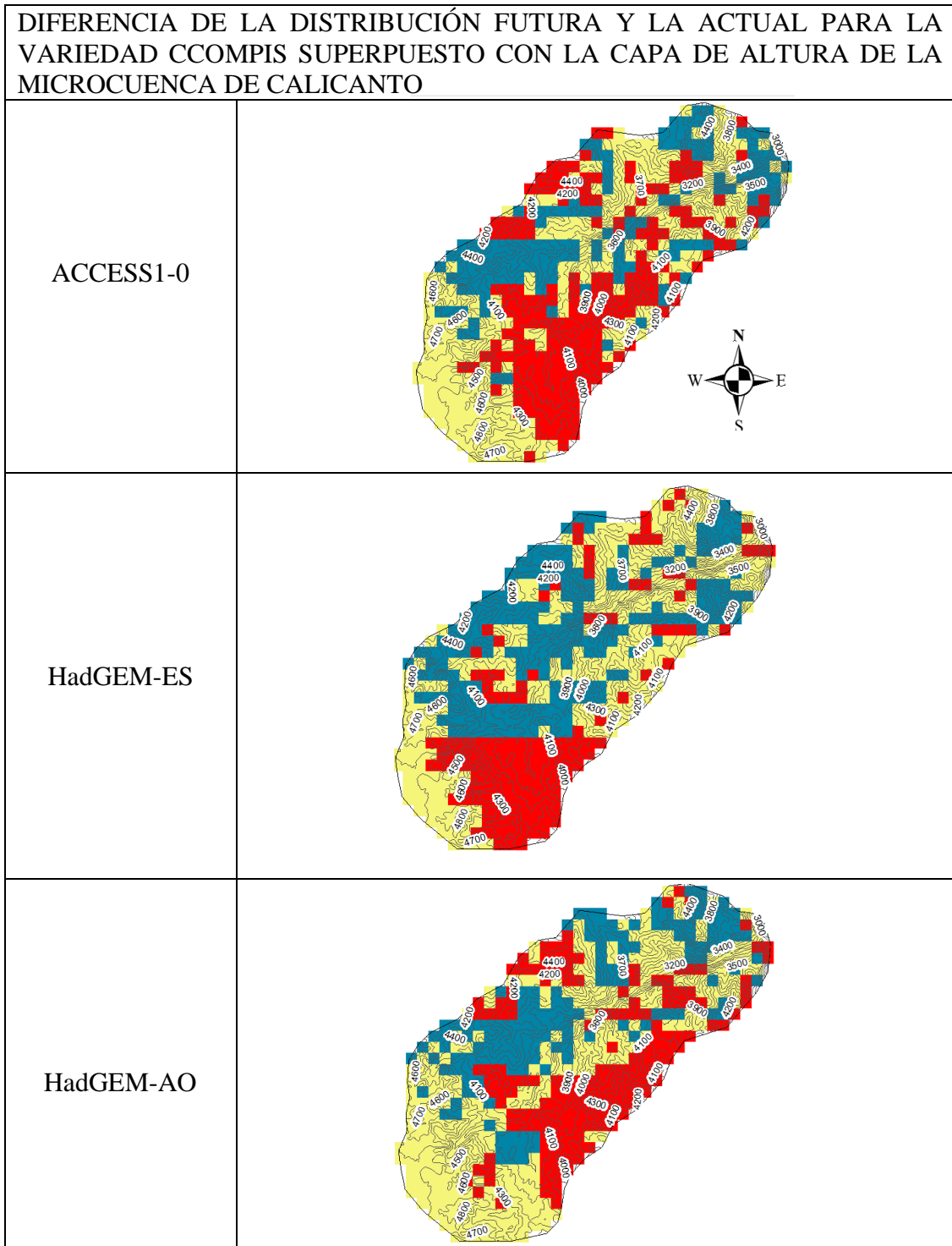
FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 3: Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es y HadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de papa Ccompis y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto



FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 4: Diferencia de la distribución futura obtenida con el modelo ACCESS1-0, HadGem2-Es y HadGem2-AO, con la distribución actual de la variedad de papa Linli y superponiendo las alturas de la microcuenca de Calicanto



FUENTE: Elaboración propia.