

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
AGROPECUARIA



TESIS DE GRADO

CÁLCULO DE LA CONSTANTE TÉRMICA EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) PARA ESTIMAR SU RENTABILIDAD ECONÓMICA, EN EL MUNICIPIO DE UMALA DE DEPARTAMENTO DE LA PAZ.

PRESENTADO POR:

CARMEN ELVIRA QUISPE MALDONADO

LA PAZ – BOLIVIA

2019

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN

AGROPECUARIA

Tesis de Grado presentado como requisito

Parcial para optar el título de

Ingeniero en Producción y

Comercialización

Agropecuaria

CARMEN ELVIRA QUISPE MALDONADO

CÁLCULO DE LA CONSTANTE TÉRMICA EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) PARA ESTIMAR SU RENTABILIDAD ECONÓMICA. EN EL MUNICIPIO DE UMALA DE DEPARTAMENTO DE LA PAZ.

Asesores:

Ing. M. Sc. Gloria Cristal Taboada Belmonte

Ing. M. Sc. Edwin Eusebio Yucra Sea

Tribunal Revisor

Ing. Ramiro Augusto Mendoza Nogales

Ing. Miguel Ángel Cussi Cabrera

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA

Primeramente, agradecer a Dios por cuidarme y protegerme siempre, a mis padres, mi querida mamá Elvira a mi papa Víctor por el apoyo incondicional durante toda mi formación académica.

A mis hermanas Vanessa, Amanda por apoyarme siempre durante toda la etapa de elaboración de mi trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación:

- A Dios nuestro creador, que siempre nos acompaña a cada uno de nosotros con su bendición y por haber guiado mis pasos.
- A mi querida familia, mis padres Víctor y Elvira, y mis hermanas Vanessa y Amanda, quienes me brindaron su apoyo incondicional sin importar el momento ni la circunstancia, para mi superación en la vida académica.
- A la Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, que me acogió en sus aulas para el proceso de mi formación profesional.
- A la Fundación McKNIGHT, CIDES-UMSA y a la Universidad de Missouri por haberme dado la oportunidad de realizar la tesis de grado y por el apoyo brindado.
- A mis asesores: Ing. M.Sc. Edwin Yucra Sea e Ing. M.Sc. Cristal Taboada Belmonte, por sus recomendaciones, por la paciencia, comprensión y por todo el apoyo recibido, para que el trabajo de investigación pueda ser un documento que contribuya al conocimiento.
- A los miembros del tribunal revisor Ing. Ramiro Augusto Mendoza Nogales, Ing. Miguel Ángel Cussi Cabrera por sus recomendaciones, por la paciencia, comprensión y por todo el apoyo recibido para que el trabajo de investigación pueda ser un documento que contribuya al conocimiento.
- A los amigos Ing. M.Sc. Janneth Mannina Quispe Yanahuaya, Pamela Márquez, Virginia Chura por el apoyo incondicional en la elaboración de mis tesis.
- A los productores de las comunidades de Ñacamaya, Sabilani e Incamaya, quienes me acogieron en las comunidades, por su confianza y participación, para que la investigación tenga resultados verídicos su aporte con sus conocimientos ancestrales.

ÍNDICE GENERAL

<i>Dedicatoria</i>	<i>i</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>ii</i>
<i>Índice general</i>	<i>iii</i>
<i>Índice de anexos</i>	<i>vi</i>
<i>Índice de cuadros</i>	<i>vii</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de fotografías</i>	<i>xi</i>
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General.....	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Origen e importancia de la papa	3
3.2 Fenología	3
3.2.1 Fase	3
3.2.2 Fases fenológicas del cultivo de papa	4
3.3 Fenología y Fisiología de la papa.....	4
3.4 Principales factores que afectan al cultivo de papa.....	5
3.4.1 Factores abióticos	5
3.5 Requerimiento del cultivo	6
3.5.1 Influencia de la temperatura.....	7
3.5.2 Temperaturas cardinales.....	7
3.6 Constante térmica	9
3.6.1 Métodos para cálculo de unidades calor	9
3.7 AquaCrop	11
3.7.1 Respuesta de modelo AquaCrop	12
3.7.2 Datos de entrada para modelo AquaCrop.....	15
3.7.3 Datos de Clima.....	15
3.8 Análisis de costo de producción	18
3.8.1 Costo total de producción.....	18

3.8.2	Coste unitario de producción.....	18
3.8.3	Precio unitario de producción de venta	19
3.8.4	Ingreso total de la producción	19
3.8.5	Beneficio Neto de la producción.....	19
3.8.6	Punto de equilibrio	20
3.8.7	Rentabilidad económica	20
3.9	Factores que influyen en el rendimiento del cultivo de papa.....	21
3.10	Economías campesinas	21
4	LOCALIZACION	22
4.1	Ubicación del área de estudio	22
4.1.1	Descripción fisiográfica	23
4.1.2	Características climáticas.....	23
5	MATERIALES Y METODOLOGIA.....	25
5.1	Materiales.....	25
5.1.1	Material biológico	25
5.1.2	Material de gabinete.....	25
5.1.3	Equipos	25
5.2	Metodología.....	25
5.2.1	Acuerdos con las comunidades de estudio.....	25
5.2.2	Variables agronómicas.....	27
5.2.3	Diseño experimental	30
5.2.4	Cálculo de la constante térmica	31
5.2.5	Análisis económico	35
a)	Costos fijos.....	36
b)	Costos variables.....	36
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES	37
6.1	Comportamiento climático en la región	37
6.1.1	Precipitación.....	37
6.1.2	Temperatura.....	38
6.1.3	Humedad de suelo	39

6.2	Comportamiento de las fases fenológicas del cultivo de papa en base a los grados días	41
6.2.1	Grados día a la emergencia	44
6.2.2	Grados día al inicio de tuberización	45
6.2.3	Grados día a la floración	46
6.2.4	Grados día a la madurez fisiológica	47
6.3	Cantidad de temperatura grados día, requerida cultivo de papa	49
6.4	Ajuste del modelo AquaCrop para el cultivo de papa	52
6.4.1	Altura de planta	52
6.4.2	Calibración	54
6.4.3	Datos y parámetros de simulación del cultivo de papa calibrada y validada con AquaCrop	63
6.5	Costos de producción y rentabilidad económica	64
6.5.1	Rendimiento	64
6.5.2	Calculo de los costos de producción y la rentabilidad económica.....	66
7	CONCLUSIONES.....	77
8	RECOMENDACIONES	78
9	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	79

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Peso 1 De Muestra de Planta Vegetal Húmedo Y Seco	83
Anexo 2. Peso 2 de Muestra de Planta Vegetal Húmedo y Seco.....	83
Anexo 3. Peso 3 De Muestra de Planta Vegetal Húmedo y Seco	84
Anexo 4. Peso Seco De Muestras De Tubérculos 2 Y 3	85
Anexo 5. Planilla de cosecha de papa	87

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales fases fenológicas del cultivo de papa (días).....	4
Cuadro 2. Ubicación geográfica de las comunidades en estudio (PDM, 2017).....	23
Cuadro3. Codificación de parcelas de investigación	30
Cuadro4. Parámetros requeridos para el modelo AquaCrop	33
Cuadro5. Parámetros requeridos del cultivo para AquaCrop	33
Cuadro 6. Parámetros de manejo requerido en AquaCrop	35
Cuadro7. Seguimiento fenológico de las parcelas y manifestación a los días de siembra.....	42
Cuadro 8. análisis de varianza época de siembra.....	44
Cuadro 9. Comparación de medias Tukey fase de emergencia por época de siembra.....	44
Cuadro 10. Análisis de varianza para inicio de tuberización por época de siembra..	45
Cuadro 11. Comparación de medias tukey para la fase de inicio de tuberización por épocas de siembra.....	46
Cuadro 12. análisis de varianza por época de siembra a la floración	46
Cuadro 13. Comparación de medias tukey para la fase de floración época de siembra.....	47
Cuadro 14. Análisis de varianza por época de siembra madurez fisiológica.....	48
Cuadro 15. Comparación de medias Tukey para madurez fisiológica entre Comunidades	48
Cuadro 16. Constante térmica para la primera época de siembra cultivo de papa ...	51
Cuadro 17. Constante térmica para la segunda época de siembra cultivo de papa..	51
Cuadro 18. Unidades calor para la 3 época de siembra cultivo de papa	52
Cuadro 19. Análisis de varianza para altura de planta.....	52
Cuadro 20. Comparación de medias tukey altura de planta.....	53
Cuadro 21. Desarrollo 1ra época de siembra.....	54
Cuadro 22. Desarrollo 2da época de siembra	55
Cuadro 23 Desarrollo 3ra época de Siembra	56
Cuadro 24. Emergencia épocas de siembra	57
Cuadro 25. Desarrollo de cobertura vegetal.....	58

Cuadro 26. Rendimiento Observado y Simulado	62
Cuadro 27. Parametrización del cultivo de la papa en el municipio de Umala para AquaCrop	63
Cuadro 28. Análisis de varianza para rendimiento entre Comunidades	64
Cuadro 29. Prueba de medias para rendimiento	65
Cuadro 30. Análisis de varianza para rendimiento entre épocas de siembra.....	66
Cuadro 31. Estructura de los costos fijos de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Ñacamaya.....	67
Cuadro 32. Estructura de los costos variables de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Ñacamaya.....	68
Cuadro 33. Ingreso total cultivo de papa para la comunidad de Ñacamaya	69
Cuadro 34. Rentabilidad económica y el benéfico costo de la comunidad Ñacamaya.....	69
Cuadro 35. Estructura de los costos fijos de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Sabilani.	70
Cuadro 36. Estructura de los costos variables de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Sabilani.	71
Cuadro 37. Ingreso total para la producción de una hectárea de papa expresada en bs para la comunidad de Sabilani.	72
Cuadro 38. Beneficio costo y rentabilidad económica de la comunidad de Sabilani.	72
Cuadro 39. Estructura de Costos fijos para la Producción de una Hectárea de papa (Expresado en Bs) para la comunidad de Incamaya	73
Cuadro 40. Estructura de Costos fijos para la Producción de una Hectárea de papa (Expresado en Bs) para la comunidad de Incamaya	74
Cuadro 41. Ingreso Total de la Producción de una Hectárea de papa (Expresado en Bs) para la comunidad de Incamaya.	75
Cuadro 42. Calculo beneficio costo y rentabilidad económica.	75
Cuadro 43. Relación B/C y rendimiento expresado en tn/ha.....	76
Cuadro 44. Relación B/C y precio de venta expresado en bolivianos.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas del cultivo de papa.....	5
Figura 2. Temperaturas cardinales (temperatura vital mínima, temperatura óptima. temperatura vital máxima).....	8
Figura 3. Relación entre la biomasa (B) e índice de cosecha (HI) para la cosecha (Y), Como también la transpiración (Tr) y la evaporación (E) para la evapotranspiración (ET)	14
Figura 4. Principales componentes de AquaCrop. Sobre el continuum suelo- planta-atmósfera y los parámetros que maneja de la fenología, cobertura vegetal, transpiración, producción de biomasa y rendimiento final	15
Figura 5. Balance hídrico en la zona de la raíz representado como un depósito con indicación de la profundidad equivalente de agua (Wr) y el déficit de manejo permitido (Dr).....	17
Figura 6. Ubicación del área de trabajo Ñacamaya, Sabilani, Incamaya.....	22
Figura 7. Croquis experimental del trabajo de campo	31
Figura 8. Precipitación diaria de septiembre 2017 a abril 2018 de la estación de Ñacamaya.....	37
Figura 9. Comportamiento del clima temperatura máxima y mínima	38
Figura 10. Porcentaje de humedad de suelo de las parcelas en seguimiento	39
Figura 11. Porcentaje de humedad en el suelo de las parcelas de los productores entre noviembre y marzo.....	40
Figura 12. Comparación de medias de °UC a la emergencia por época de siembra	45
Figura 13. Comparación de medias de °UC al Inicio de tuberización según época de siembra.....	46
Figura 14. Comparación de medias de °UC a la floración por época de siembra	47
Figura 15. Comparación de medias de °UC a la madurez fisiológica por época de siembra.....	49
Figura 16. Seguimiento desarrollo fenológico de acuerdo a la suma de grados día .	50
Figura 17. Altura de planta parcelas en seguimiento	53
Figura 18. Parcelas de seguimiento 1ra siembra comunidad Sabilani e Incamaya...	55
Figura 19. Parcelas en seguimiento 2da Siembra comunidades Ñacamaya. Incamaya y Sabilani	56

Figura 20. Parcelas en evaluación de las 3ra época de siembra de las comunidades de Ñacabaya e Incabaya	57
Figura 21. °UC a la emergencia de datos simulados y observados en las 3 épocas de siembra.....	58
Figura 22. Máxima Cobertura vegetal	59
Figura 23. °UC Senescencia Observado y simulado.....	59
Figura 24. °UC Maduración del cultivo de papa	60
Figura 25. Salidas AquaCrop. fecha de maduración. rendimiento y comportamiento de la cobertura vegetal.	61
Figura 26. Rendimiento MTS.....	62
Figura 27. Comparación de medias Tukey para rendimiento entre Comunidades....	65
Figura 28. Comparación de medias tukey entre épocas de siembra.....	66

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Taller de coordinación con los productores de la comunidad de Iñacamaya.....	26
Fotografía 2. Muestra de Cobertura Vegetal	86
Fotografía 3. Muestra de Cobertura Vegetal	86
Fotografía 4. Clasificación del Cultivo De Papa Según Categorías.....	88
Fotografía 5. Cosecha de Papa Parcela de Don Javier Condori.....	88
Fotografía 6. Cosecha de La Parcela de Don Gualberto.....	89
Fotografía 7. Cosecha de Papa Parcela de Don Turiano Huaynoca.....	89
Fotografía 8. Muestra Vegetal Seco.....	90
Fotografía 9. Muestra vegetal Materia Seca.....	90

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue la acumulación de unidades calor en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) empleando el método unidades calor con un total de evaluación de 12 parcelas en el municipio de Umala de las comunidades (Iñacamaya, Incamaya y Sabilani) en estudio.

El método de la investigación fue la evaluación de tres diferentes épocas de siembra en 3, según el criterio de los productores se realizó el seguimiento a un total de 12 parcelas en evaluación registrando el estado fenológico de cada una de ellas desde la siembra hasta la cosecha, durante el periodo de siembra de la campaña agrícola 2017-2018.

AquaCrop es un modelo útil para la toma de decisiones en el sector económico y agrícola, en el cual se pueden establecer fechas optimas de siembra, además se puede implementar como un predictor de posibles impactos causados por fenómenos de variabilidad y cambio climático. Se realizó una primera etapa de adaptación de la herramienta de simulación de producción de cultivos AquaCrop, desarrollado por FAO, con el fin de estimar valores de biomasa y rendimiento expresados en materia seca para la zona de estudio y se compararon los resultados simulados de rendimiento con los estimados en campo, encontrándose buenas relaciones entre las salidas del modelo y los registros experimentales.

Los resultados indicaron que la comunidad que acumulo menor tiempo las unidades calor es Iñacamaya y el desarrollo se debe también al último periodo de siembra, en cambio la comunidad de Sabilani tuvo un comportamiento diferente debido a que existieron parcelas que se sembraron durante la primera época de siembra esto hizo que se alargara la acumulación de unidades calor a la madurez fisiológica. Con el modelo AquaCrop se ajustaron y validaron los datos para la región. La evaluación beneficio costo realizada demuestra que la comunidad de Incamaya y Sabilani son más rentables con un 28 %, en tanto la comunidad de Iñacamaya tan solo con el 17 % de ganancias esto debido a que en la comunidad son dedicados más al rubro ganadero.

SUMMARY

The objective of the present investigation was the accumulation of heat units in the potato crop (*Solanum tuberosum* L.) using the heat units method with a total evaluation of 12 plots in the municipality of Umala of the communities (Iñacamaya, Incamaya and Sabilani) in study.

The research method was the evaluation of three different planting seasons in 3, according to the criteria of the producers, a total of 12 plots under evaluation were monitored, recording the phenological status of each of them from planting to harvest, during the planting period of the 2017-2018 agricultural campaign.

AquaCrop is a useful model for decision-making in the economic and agricultural sector, in which optimal planting dates can be established, it can also be implemented as a predictor of possible impacts caused by phenomena of climate variability and change. A first stage of adaptation of the AquaCrop crop production simulation tool, developed by FAO, was carried out to estimate biomass and yield values expressed in dry matter for the study area and the simulated performance results were compared with the estimates in the field, finding good relations between the outputs of the model and the experimental records.

The results indicated that the community that accumulated less time the heat units is Iñacamaya and the development is also due to the last planting period, however the Sabilani community had a different behavior because there were plots that were sown during the first time of sowing this caused the accumulation of heat units to physiological maturity to be lengthened. With the AquaCrop model, the data for the region was adjusted and validated. The cost benefit evaluation shows that the community of Incamaya and Sabilani are more profitable with 28%, while the community of Iñacamaya only with 17% of profits this because in the community they are dedicated more to the livestock sector.

1 INTRODUCCIÓN

Las temperaturas en el altiplano boliviano se reducen con el incremento de la altitud, lo que significa que a mayor altitud menor temperatura. Estas características son adecuadas para el desarrollo de cultivos andinos como papa, quinua y otros. La temperatura es uno de los factores principales que controla el desarrollo del cultivo de papa.

El estudio de la constante térmica es un valor útil y necesaria en la investigación agrícola en la medida que cuantifica y evalúa la contribución tiempo-clima en los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos siendo más fácil de proyectar los resultados de la investigación y experimentación a otros ámbitos con condiciones agroecológicas similares de esa manera ahorrar tiempo y costos de experimentación.

El presente trabajo de investigación pretende acercarse en la determinación de los grados días basados en las temperaturas requeridas por fases fenológicas del cultivo de papa, con la evaluación del cultivo en diferentes épocas de siembra y en diferentes lugares de la comunidad. Se trabajó en tres comunidades del municipio de Umala (Iñacamaya, Incamaya y Sabilani), en donde se pudo establecer el desarrollo fenológico del cultivo de papa.

Gracias a los grados días identificados, se puede realizar el cálculo de posibles fechas de cosecha o estimar fechas de siembra fuera de las que son de costumbre dentro de las comunidades de estudio

Con los datos obtenidos se realizó la modelación de rendimiento en AquaCrop para estimar desarrollo, con los cambios presentados durante el tiempo de evaluación.

El comportamiento de precios durante el año y principalmente la cosecha y la oferta en el mercado, permitió estimar las fechas de mayor precio para poner el producto en el mercado. Por otra parte, se determinó los costos de producción y se relacionó con los precios para obtener los mejores ingresos económicos, previo cálculo del beneficio costo de la producción del cultivo de papa para cada una de las comunidades de estudio.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Calcular la constante térmica en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) para estimar su rentabilidad económica en el municipio de Umala de Departamento de La Paz.

2.2 Objetivos Específicos

- Establecer el comportamiento de las fases fenológicas del cultivo de papa en base a los grados días en tres comunidades del municipio de Umala.
- Determinar la cantidad de temperatura grados día. que requiere el cultivo de papa empleando el método de unidades calor.
- Ajustar el modelo AquaCrop para establecer comportamiento del cultivo de papa en tres comunidades del municipio de Umala.
- Determinar el costo de producción del cultivo de papa y su rentabilidad económica.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origen e importancia de la papa

La papa cultivada es originaria de la Región Andina de América del Sur entre los países de Perú y Bolivia, esto debido a la existencia de una gran diversidad genética de especies cultivadas y silvestres (Cahuana y Arcos, 1993 citado por Zabala Marquez, 2012).

Para Bukasov (1986) citado por González & Estévez (2007), la papa es uno de los cultivos más importantes dentro la agricultura boliviana al constituirse base de la alimentación para todos los sectores sociales. Se cultiva desde los 1000 hasta los 4000 m.s.n.m., desde las planicies hasta pendientes mayores a 45%. Por esta razón se la considera como subterráneo, justificado por el alto consumo de este tubérculo en sus diversas formas y tipos, respondiendo a los diferentes requerimientos de los habitantes.

3.2 Fenología

Es el estudio de los fenómenos periódicos que presentan los organismos vivos y su relación con los procesos meteorológicos, Algunos términos de los fenómenos periódicos que cambian de un estado fenológico a otro (Martínez, 2017).

3.2.1 Fase

Según lo mencionado por Gastiazoro (2007), la fase es la aparición, transformación o desaparición de los órganos de un vegetal. Las fases pueden ser vegetativas o reproductivas. (visibles o invisibles). Una fase está compuesta por momentos: cuantifican en porcentaje de ocurrencia

- **Inicio.** cuando el fenómeno alcanza al 20% de los órganos en observación se considera inicio de fase.
- **Plenitud.** mayor ocurrencia y se contabiliza a partir del 51% de lo observado.
- **fin de fase.** es la aparición. desaparición o transformación de los últimos órganos de la fase. el mismo ha alcanzado el 80%.
- **Subperíodo:** es el tiempo transcurrido entre fase y fase. donde las condiciones meteorológicas se mantienen estables.

3.2.2 Fases fenológicas del cultivo de papa

Quiroga Aguilar (2008), indica que el cultivo de papa tiene 8 fases fenológicas desde la fecha de siembra hasta la cosecha de todo el ciclo agrícola.

Cuadro 1. Principales fases fenológicas del cultivo de papa (días)

N°	Fases Fenológicas	Duración
0	Siembra	0
2	Emergencia	0-25
3	Desarrollo	26-34
4	Formación de estolones	35-45
5	Inicio de tuberización	46-55
6	Tuberización	56-66
7	Floración	67-81
8	Maduración	82-117

Fuente: Flores-Magdaleno, Flores-Gallardo, & Ojeda-Bustamante, (2014)

3.3 Fenología y Fisiología de la papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) pertenece a la amplia familia de las solanáceas. es una planta de ciclo corto (aproximadamente 4-5 meses), lo cual varía a lo largo del año entre diferentes etapas. Según Eda, Theodoracopoulos, Arias, & Avila (2008), las fases fenológicas de la papa son las siguientes:

- a) **Desarrollo de los brotes:** a partir del tubérculo semilla. base de estos comienzan a emerger las raíces y se desarrolla a los 25 días después de la siembra.
- b) **Crecimiento vegetativo:** comienza la fotosíntesis. desarrollo de tallos. ramas y hojas en la parte aérea y desarrollo de raíces y estolones en la parte subterránea. esta fase de desarrollo empieza de los 25-49 días.

- c) **Inicio de la tuberización:** los tubérculos se forman en la punta de los estolones en la parte subterránea. en la mayoría de los cultivares. se van formando después de los 40 días. el fin de esta etapa coincide con el inicio de la floración.
- d) **Llenado de tubérculos:** las células de los tubérculos se expanden con la acumulación de agua. nutrientes y carbohidratos. los tubérculos se convierten en la parte dominante de la deposición de carbohidratos y nutrientes inorgánicos. las formaciones de los tubérculos empiezan después de los 55 días después de la siembra.
- e) **Maduración:** la fotosíntesis disminuye. el crecimiento del tubérculo también disminuye. la planta toma un color amarillento y eventualmente muere. en este punto el tubérculo alcanza su máximo contenido de materia seca y tiene la piel bien formada el cultivo llega a esta fase después de los 117 días.

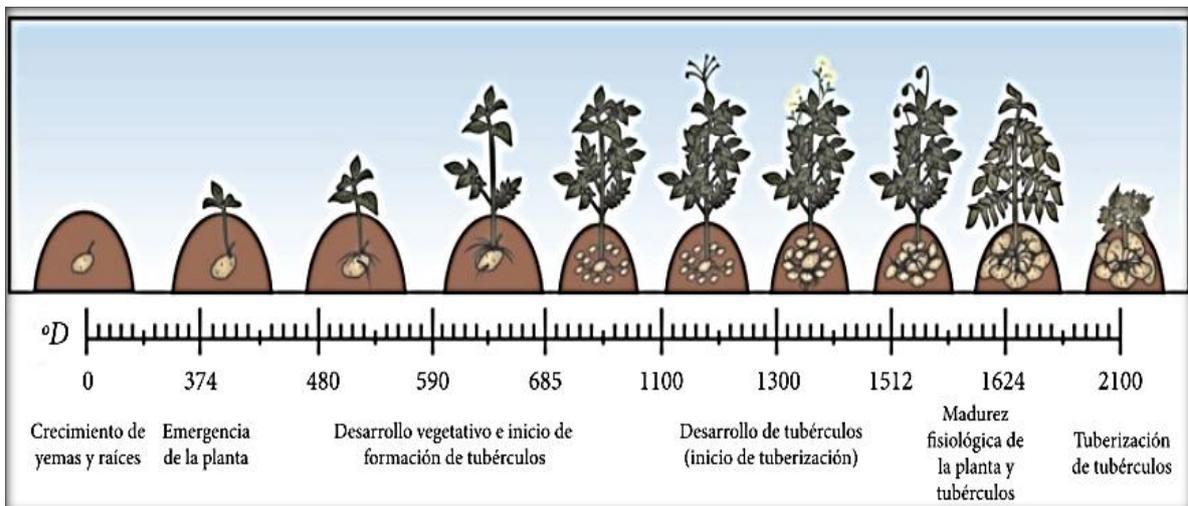


Figura 1. Fases fenológicas del cultivo de papa

Fuente: Eda, Theodoracopoulos, Arias & Avila (2008)

3.4 Principales factores que afectan al cultivo de papa

El programa de mejoramiento genético de papa PROINPA realizó investigación en 23 variedades de papa, factores abióticos y bióticos (Gabriel, Perreira, & Gandarillas, 2011)

3.4.1 Factores abióticos

Las variaciones de clima y el cambio climático tienen efectos directos e indirectos sobre los cultivos. En los últimos años, estas variaciones y cambios, se han expresado en la

ocurrencia de fenómenos meteorológicos como sequía, heladas. Granizo, alta temperatura, mayor velocidad de viento y alta radiación solar, generalmente adversos para el cultivo de papa (Gabriel *et al.*, 2011).

- **Helada**

Se estima que las pérdidas de rendimiento ocasionadas por heladas se encuentran entre 40 y 100%, dependiendo del estado de desarrollo del cultivo, frecuencia de intensidad y severidad. Este es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la temperatura del aire cercano a la superficie de la parcela disminuye por debajo de 0°C o menos durante un tiempo de dos a cuatro horas (generalmente se presenta en la madrugada cuando el sol está saliendo del horizonte) (Gabriel *et al.*, 2011).

- **Sequia**

Es uno de los factores más importantes que afectan a la producción de papa de los andes debido a la insuficiente, inadecuada distribución de la precipitación pluvial. El cultivo de papa es conocido por su sensibilidad a la sequía y su efecto a la productividad depende de la intensidad, duración y etapa fenológica en la que se encuentra (Gabriel *et al.*, 2011).

- **Granizo**

En los últimos años. este fenómeno se da con más frecuencia en épocas críticas para los cultivos como es la floración y la formación de tubérculos, provocando pérdidas severas, pueden ser parciales o totales según la intensidad de granizo que depende del tamaño del hielo o partícula que caiga (Gabriel *et al.*, 2011).

3.5 Requerimiento del cultivo

El cultivo de la papa tiene como requerimientos principales tres factores que son: clima, suelo y precipitación.

Clima: La papa es un cultivo adaptado a climas fríos y templados con temperaturas que van entre 12 a 24°C. Normalmente esto se logra a altitudes superiores a los 1400 msnm (Theodoracopoulos *et al.*, 2008).

Presenta resistencia a temperaturas bajas de 5 a 6° C bajo cero, el descenso de la temperatura es lento; en cambio, si este descenso es rápido provoca la muerte de las

plantas a los 2° C bajo cero. Específicamente, se ha observado cierta tolerancia a un descenso gradual de la temperatura en papa de la variedad Waych'a Paceña (PROSUKO 2000 citado por Canqui, 2009).

Precipitación: La papa no tolera excesos de agua por más de 3 días. Las zonas ideales para su producción tienen una precipitación anual que va entre los 500 y 800 mm/año (Theodoracopoulos *et al.*, 2008).

3.5.1 Influencia de la temperatura

La acción de la temperatura se manifiesta por la existencia de umbrales de sensibilidad, tanto al frío como al calor, por sus efectos sobre la acumulación de grados-día o suma de temperaturas, por el termo periodismo y por las incidencias sobre los cambios hídricos (Hernandez, 1993).

3.5.2 Temperaturas cardinales

Las temperaturas cardinales, son rangos de temperatura hasta los cuales puede llegar un cultivo sin sufrir daño fisiológico alguno. Cuando un cultivo tiene un crecimiento normal a una temperatura dada, se dice que ésta es la óptima de ese cultivo, a dicha temperatura se logra que los procesos metabólicos sean óptimos, asumiendo que la disponibilidad de radiación, agua y CO₂ son adecuados. La temperatura óptima, desde el punto de vista agroclimático, sirve para zonificar cultivos, Heuvellop *et al.* (1986) citado por Goyal & Ramirez (2005) hacen las siguientes distinciones con respecto a la temperatura:

- **Temperatura vital mínima** (umbral térmico inferior), Temperatura más baja a la cual un organismo puede vivir en estado latente, -2 en el cultivo de papa
Temperatura a la cual la planta comienza a crecer.
- **Temperatura óptima.** Temperatura en la que se produce la mayor velocidad de crecimiento, Es diferente para los distintos procesos que tienen lugar dentro de un mismo organismo: germinación, fructificación, floración de 10-15°C
- **Temperatura vital máxima** (umbral térmico superior), Temperatura de mayor intensidad calórica a la cual la especie puede seguir viviendo indefinidamente en estado de latencia de los 15 a 22°C.

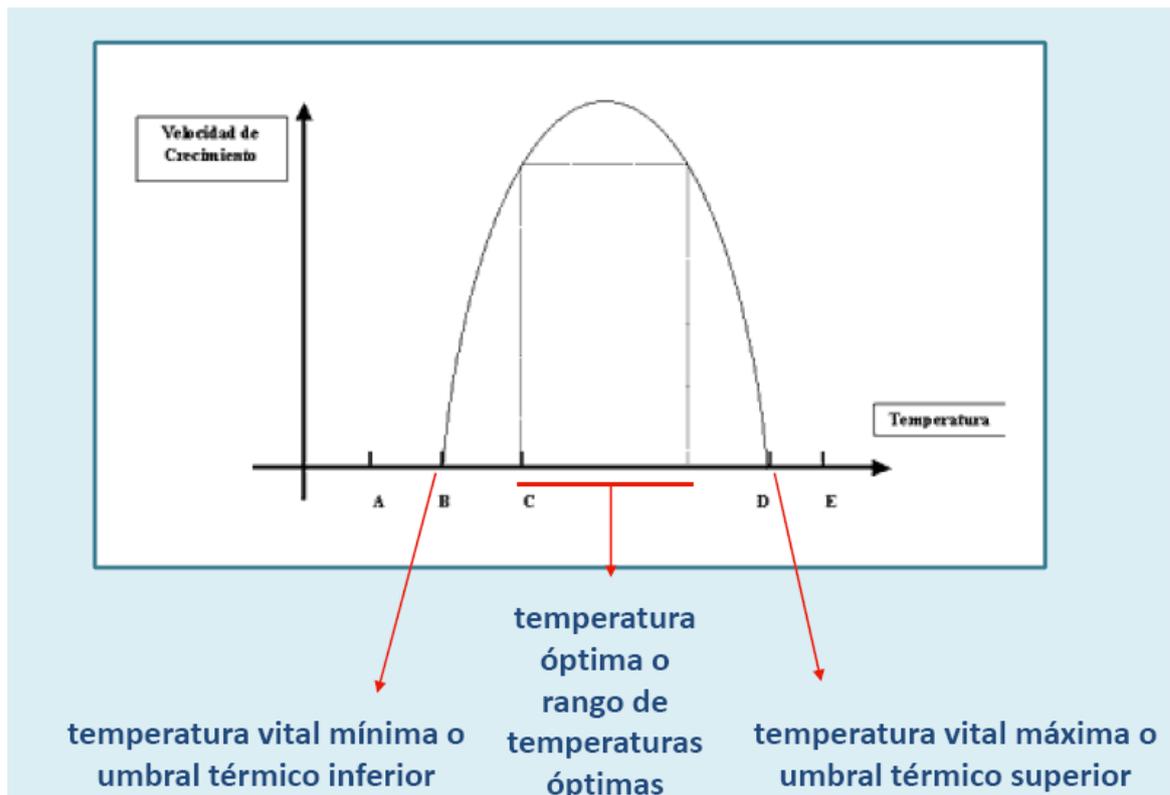


Figura 2. Temperaturas cardinales (temperatura vital mínima, temperatura óptima, temperatura vital máxima)

- **Temperatura letal mínima.**

Temperatura por debajo de la mínima vital, a partir de la cual, y para valores aún inferiores el vegetal no solo detiene sus procesos, sino que manifiesta daños permanentes y probablemente con la muerte de sus tejidos.

- **Temperatura letal máxima.**

Temperaturas por encima de la vital máxima, y la muerte se produce por las altas temperaturas.

La temperatura del aire influye sobre los procesos de desarrollo de tres maneras: Por la acción de acumulación de calor (constante térmica), por la acción de acumulación de frío (horas frío), por la acción de las amplitudes térmicas (termoperiodismo) (Pascalo y Damario, 2004)

3.6 Constante térmica

Para un determinado cultivo es la cantidad acumulada de unidades calor desde la emergencia hasta la madurez fisiológica. Constante térmica, es la suma de unidades de crecimiento, sumatoria de temperaturas, sumatoria de unidades calóricas, grados-día, etc. La constante térmica también puede calcularse para cada fase fenológica o sub período de la planta, Acarapi Sanchez,(2013).

3.6.1 Métodos para cálculo de unidades calor

Existen 3 métodos para el cálculo de unidades calor, método de temperatura media o unidades calor, método de grados día y el método potato days (P-days o días fenológicos de la papa) (Flores-Magdaleno, Flores-gallardo, & Ojeda-bustamante, 2014) a continuación se describen los siguientes métodos:

3.6.1.1 Método de temperatura media o Unidades Calor

Todo cultivo necesita una cantidad constante de energía para su desarrollo y crecimiento y una de las maneras para medir esta energía es indirectamente mediante la suma de temperaturas dentro del rango de tolerancia del cultivo. A esta suma de se le denomina comúnmente **unidades térmicas**. Para cada fase de crecimiento, habrá un requerimiento de unidades calor [UC], de acuerdo a sus necesidades. Para el ciclo completo tendrá la acumulación total de las unidades calor.

$$^{\circ}\text{D} = \frac{T_{\text{max}}+T_{\text{min}}}{2} - T_b \quad \text{Ec 1.}$$

Donde:

T min = Temperaturas mínima diarias

T max = Temperaturas máxima diarias

Tb = Temperatura base o umbral inferior para el inicio del desarrollo del cultivo.

3.6.1.2 Método de grados día

Para estimar diariamente los °D con este método, se requiere de la temperatura media ambiental (Ta) y aplicar la Ecuación 2 (Ojeda-Bustamante et al., 2004) citado por (Flores-Magdaleno, Flores-gallardo, et al., 2014).

$$\begin{aligned} \text{°D} &= T_a - T_{c_{min}} \quad T_a < T_{c_{max}} \\ \text{°D} &= T_{c_{max}} - T_{c_{min}} \quad T_a \geq T_{c_{max}} \quad \text{Ec 2.} \\ \text{°D} &= 0. \quad T_a \leq T_{c_{min}} \end{aligned}$$

Donde:

Tc-min= Temperaturas mínimas diarias del aire

Tc-max= Temperaturas máximas diarias del aire

Ta = Temperatura media ambiental

Dentro las cuales se desarrolla la planta en un intervalo de 2 a 29 °C por Flores-Gallardo *et al.*, 2014.

3.6.1.3 Método potato days (P-days o días fenológicos de la papa)

De acuerdo con Sands *et al.*, (1979) mencionado por (Flores-Magdaleno, Flores-Gallardo, et al., 2014), el cultivo de papa tiene requerimientos térmicos específicos que han sido estudiados con precisión y han conducido al desarrollo de los P-days. Este método (Ecuación 3) considera una temperatura mínima de 7 °C para el desarrollo, una óptima (Top t) de 21 °C, y que el desarrollo se detiene a temperaturas mayores o extremas (Tex t) de 30 °C. Con la información indicada, el método estima los P-days de la siguiente manera.

$$P - \text{days} = \frac{1}{24} 5P(T_{min}) + 8P\left(\frac{2T_{min}+T_{max}}{3}\right) + 8P\left(\frac{T_{min}+2T_{max}}{3}\right) + 3P(T_{max}) \quad \text{Ec 3.}$$

Donde:

T max y T min = temperaturas diarias.

La función P (T) se calcula con las Ecuaciones 4. 5 y 6. Todas con base en el valor de T:

$$P = 0. \text{ si } T < 7 \text{ o } T \geq 30 \quad \text{Ec 4.}$$

$$P = k \left[1 - \frac{(T-21)^2}{(21-7)^2} \right]. \text{ si } 7 \leq T < 21 \quad \text{Ec 5.}$$

$$P = k \left[1 - \frac{(T-21)^2}{(30-21)^2} \right]. \text{ si } 21 \leq T < 30 \quad \text{Ec 6.}$$

El método asume las siguientes temperaturas para el cultivo de papa:

$T_b = 7 \text{ }^\circ\text{C}$. $T_{opt} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. $T_{ext} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. y k es un factor de escala con un valor de 10.

3.7 AquaCrop

AquaCrop es un modelo de desarrollo de follaje enfocado principalmente a la simulación del desarrollo de la biomasa potencial del cultivo y la producción cosechable en respuesta al agua disponible. El modelo simula los rendimientos posibles de cultivos herbáceos en función del consumo de agua. El modelo se centra en el agua, al ser éste uno de los principales determinantes de la producción agrícola y debido a que el crecimiento de la población y la creciente industrialización alrededor del mundo están demandando una cantidad cada vez mayor de agua. Convirtiendo a este recurso finito cada vez más en un factor limitante de la producción agrícola Cortés Bello, (2013).

La simulación. AquaCrop se realiza en los siguientes procesos: separa evapotranspiración (ET) en transpiración del cultivo y evaporación del suelo. desarrolla un modelo de crecimiento y senescencia de la cubierta como base para la estimación de la (tr) y su separación de la (E), trata el rendimiento final (Y) como una función de la materia seca final (B) y el HI y por último segrega los efectos de estrés hídrico en cuatro componentes crecimiento de la cubierta vegetal, senescencia vegetal, senescencia de la cubierta vegetal, Tr e HI (Steduto et al., 2009).

La separación de ET en Tr y E evita los efectos de confusión en el uso consuntivo de agua no productivo E el cual es importante especialmente, cuando la cobertura del suelo por el cultivo es incompleta, permitiendo aplicar la ecuación principal en la que se basa el crecimiento de los cultivos en AquaCrop (Steduto et al., 2009).

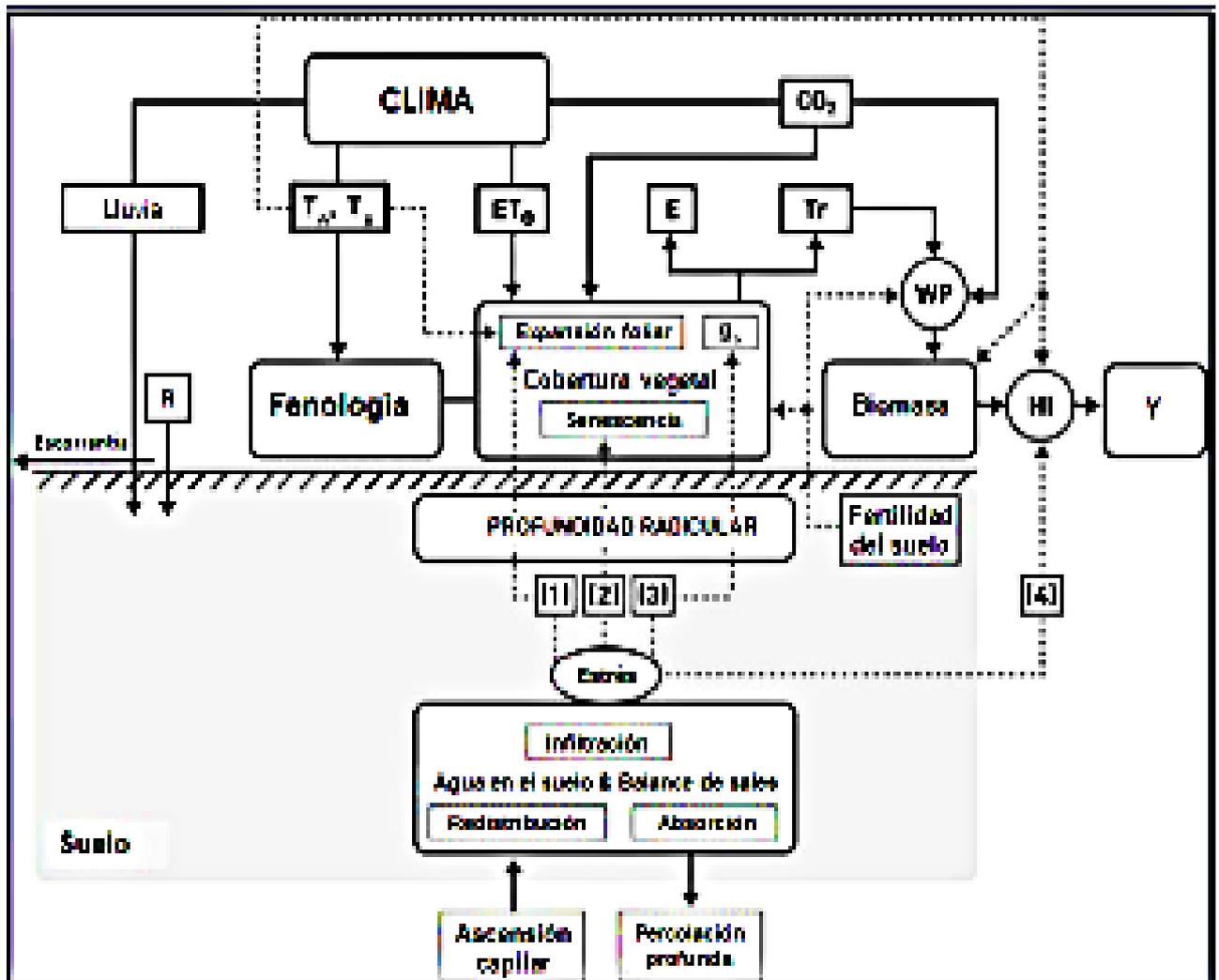


Figura 3. Diagrama de AquaCrop con los aspectos principales del continuo suelo-planta-atmósfera y los parámetros que conducen a fenología, la cobertura del cultivo, transpiración, la producción de biomasa y el rendimiento final, Montoya, (2013)

R: riego; T_n : temperatura mínima de aire; T_x : Temperatura máxima del aire; ET_0 : evapotranspiración de referencia; E : evapotranspiración del suelo; Tr : transpiración de la cubierta vegetal; g_s : conductancia estomática; VVP : productividad del agua; HI : índice de cosecha; CO_2 : concentración atmosférica de dióxido de carbono; (1), (2), (3), (4): diferentes funciones de respuesta al estrés hídrico, Líneas continuas: enlace directo entre variable y procesos. Líneas discontinuas: señalan las vías de retroalimentación, por Steduto et al. (2009).

3.7.1 Respuesta de modelo AquaCrop

Existe una relación directa entre, la producción de biomasa y el agua que se consume a través de la transpiración. El estrés hídrico y la reducción de la transpiración resultan en una reducción de la producción de biomasa, que normalmente también reduce los rendimientos Fajardo, (2015)

Según Raes, (2017) la función empírica de producción para mostrar la respuesta de la cosecha al efecto del agua es la siguiente:

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde

Y_x y Y = máxima y actual cosecha (Kg).

ET_x y ET = máxima y actual evapotranspiración (mm/día)

K_y = factor de proporcionalidad entre la relativa baja de la cosecha y la reducción de la evapotranspiración.

AquaCrop para sus bases considera el coeficiente K_y y lo separa de la siguiente manera:

- La evapotranspiración real es la suma de la evaporación del suelo (E) y la transpiración del cultivo (Tr):

$$ET = E + Tr \quad \text{Ec. 8}$$

Evitando así. el uso no-productivo del agua (evaporación del suelo).

- La cosecha (Y) en biomasa (B) e índice de cosecha (HI)

$$Y = HI * B \quad \text{Ec. 9}$$

Mostrando el efecto del estrés hídrico sobre la biomasa e índice de cosecha. Es aquí donde también se integra la influencia de la fertilidad del suelo, pues esta determina el desarrollo foliar del cultivo.

Estos cambios llevan a la siguiente ecuación como el núcleo del motor de crecimiento de AquaCrop:

$$B = WP * \sum Tr \quad \text{Ec. 10}$$

Donde

Tr = transpiración del cultivo (mm)

WP = parámetro de productividad de agua (kg de biomasa por m², por mm de agua transpirada en el periodo donde se produjo la biomasa).

La productividad del agua (WP) se mantiene virtualmente constante bajo un gran rango de condiciones. Esto tiene una fundamental implicancia en la robustez del modelo Fajardo, (2015).

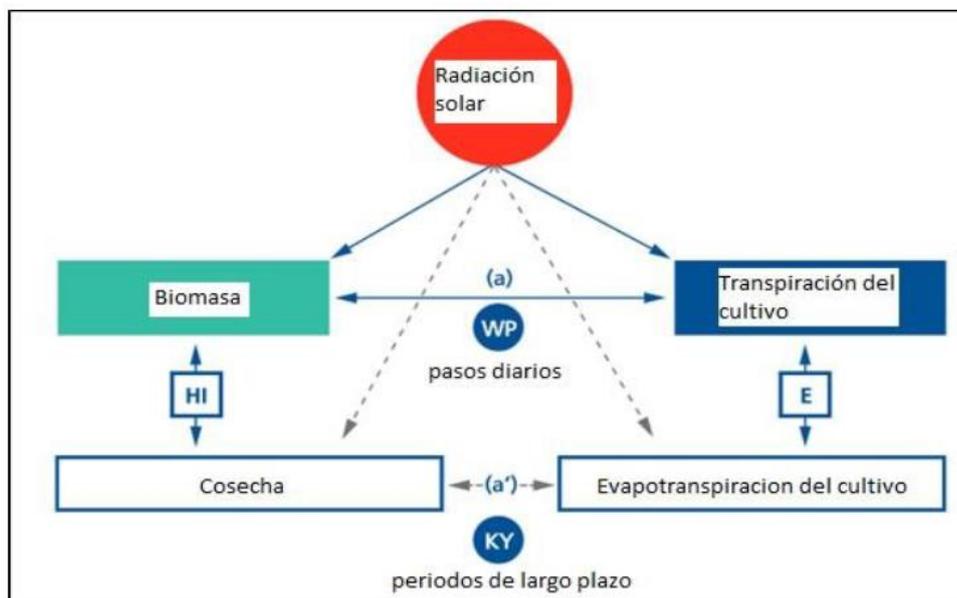


Figura 3. Relación entre la biomasa (B) e índice de cosecha (HI) para la cosecha (Y), Como también la transpiración (Tr) y la evaporación (E) para la evapotranspiración (ET)

Fuente: Fajardo, (2015)

Las ecuaciones 9 y 10, como núcleo del modelo. fueron insertadas en un conjunto completo de componentes adicionales del modelo, incluyendo: El suelo, con su balance hídrico; el cultivo, con su desarrollo, crecimiento y el proceso de la cosecha; y la atmósfera, con su régimen térmico, precipitación, demanda evaporativa y concentración de dióxido de carbono, Adicionalmente, unos rangos de prácticas de manejo son consideradas explícitamente (riego, fertilización, etc.).

AquaCrop permite simular la respuesta de la cosecha al agua bajo varios tipos de manejo y condiciones de crecimiento, incluyendo la producción de cultivos bajo escenarios de cambio climático (calentamiento global y elevadas concentraciones de dióxido de carbono) y condiciones de salinidad y fertilidad. Aspectos relacionados a plagas, enfermedades y malezas no son consideradas en el modelo.

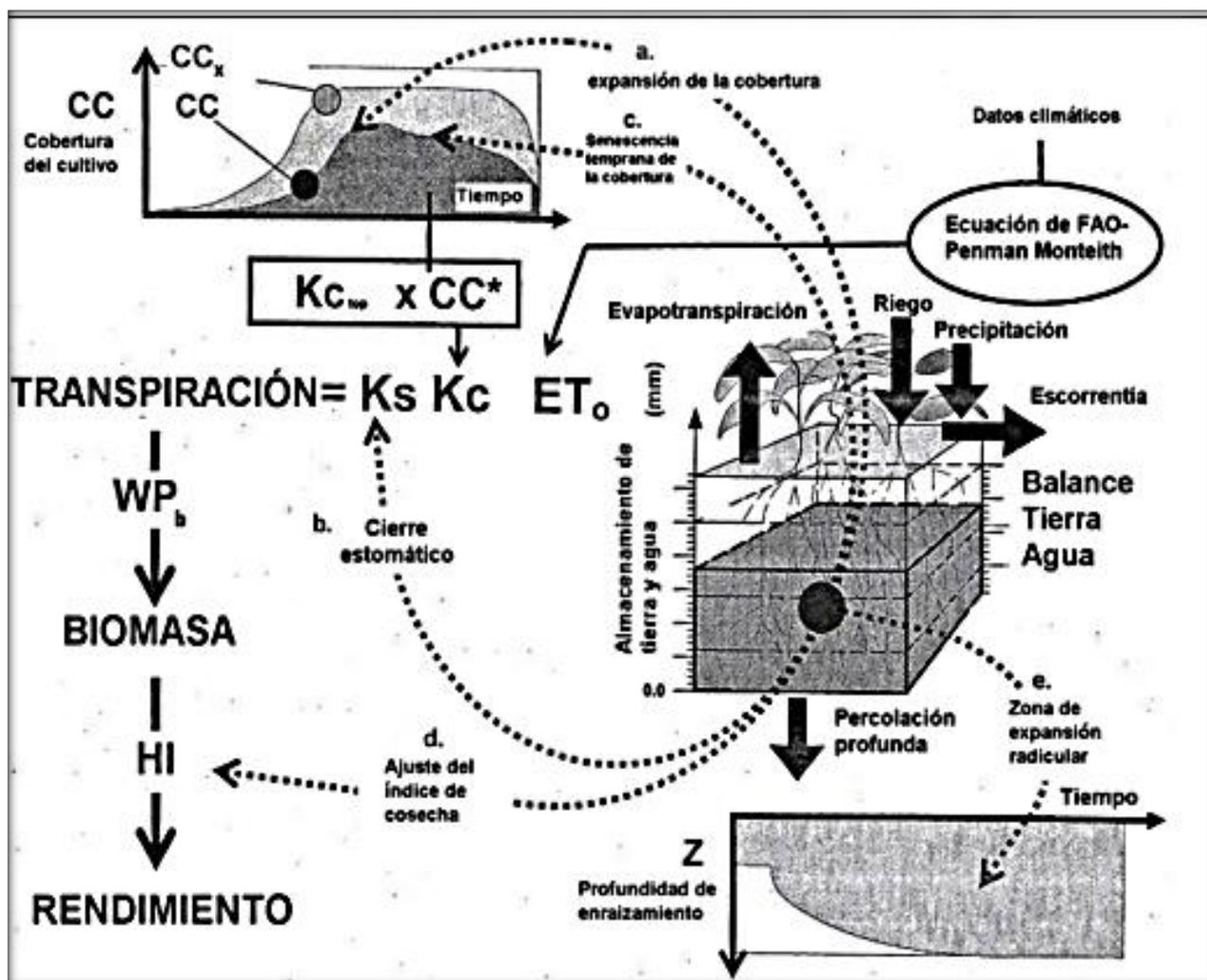


Figura 4. Principales componentes de AquaCrop. Sobre el continuum suelo- planta-atmósfera y los parámetros que maneja de la fenología, cobertura vegetal, transpiración, producción de biomasa y rendimiento final

(Fajardo, 2015)

3.7.2 Datos de entrada para modelo AquaCrop

AquaCrop utiliza un número relativamente pequeño de parámetros explícitos y en gran parte variables de entradas intuitivas, ya sean ampliamente utilizados o que requieren métodos sencillos para su determinación. Las entradas consisten en datos climáticos, características del cultivo y del suelo, y las prácticas de manejo que definen el entorno en el que el cultivo se desarrollará (Raes. 2017)

3.7.3 Datos de Clima

El ambiente atmosférico es identificado por cuatro variables climáticas: temperaturas máximas y mínimas del aire, precipitaciones y la demanda evaporativa de la atmósfera

expresados como evapotranspiración. Todas estas variables pueden ser extraídas de las bases de datos de las estaciones agras meteorológicas. Adicionalmente se debe conocer la concentración de CO₂ atmosférico (Steduto, et al., 2012 citado por Fajardo Duran. 2015).

La temperatura influye en el desarrollo del cultivo (fenología). La precipitación y la evapotranspiración son determinantes para el balance hídrico de la zona de la raíz y la concentración de CO₂ atmosférico afecta la productividad de agua del cultivo (Raes. 2017).

En la ausencia de datos diarios, el programa recurre a procedimientos de aproximación para generar temperaturas, evapotranspiración y precipitaciones diarias a partir de información mensual o de cada diez días (Raes, 2017).

El modelo cuenta con una serie temporal histórica de medias anuales de concentración de CO₂ atmosférico medidas en Manual Loa Observatory en Hawaii, así también las concentraciones esperadas para el futuro cercano (Raes, 2017).

3.7.3.1 Datos del Cultivo

Esta sección está conformada por los siguientes componentes: fenología, cobertura vegetal, profundidad de raíz, transpiración del cultivo, evaporación de agua del suelo. producción de biomasa y rendimiento cosechable (Fajardo, 2015)

Entre estas entradas podemos observar la fecha de siembra del cultivo, cobertura vegetal máxima, días a la cobertura máxima vegetal, duración del ciclo de desarrollo del cultivo y el índice de cosecha (Relación entre la cosecha y la producción de biomasa) (Cortés Bello. 2013).

3.7.3.2 Datos del Suelo

El suelo es descrito por su perfil y las características del nivel freático (si hubiera). El suelo puede ser subdividido verticalmente hasta en cinco estratos de variable profundidad, cada estrato (horizonte) cuenta con diferentes características físicas: la clase textural del suelo, límite superior de contenido de agua bajo la gravedad o capacidad de campo (FC), el límite inferior del cual una planta puede extraer agua o punto de marchitez permanente

(PWP), y la conductividad hidráulica en condiciones de saturación (K_{sat}), Por medio de estas características el modelo deriva otros parámetros como la evaporación de agua del suelo, drenaje interno y percolación profunda, escurrimiento superficial y ascenso capilar. Las consideraciones del nivel freático son su profundidad con relación a la superficie del suelo y su salinidad (Fajardo, 2015).

Haciendo un seguimiento de las entradas (precipitación, riego y ascenso capilar) y las salidas (escurrimiento, evapotranspiración y percolación profunda) los flujos de agua y sales en los límites de la zona de la raíz, la cantidad de agua y de sales en la zona de la raíz puede ser calculada en cualquier momento de la temporada de cultivo (Steduto, et al., 2012).

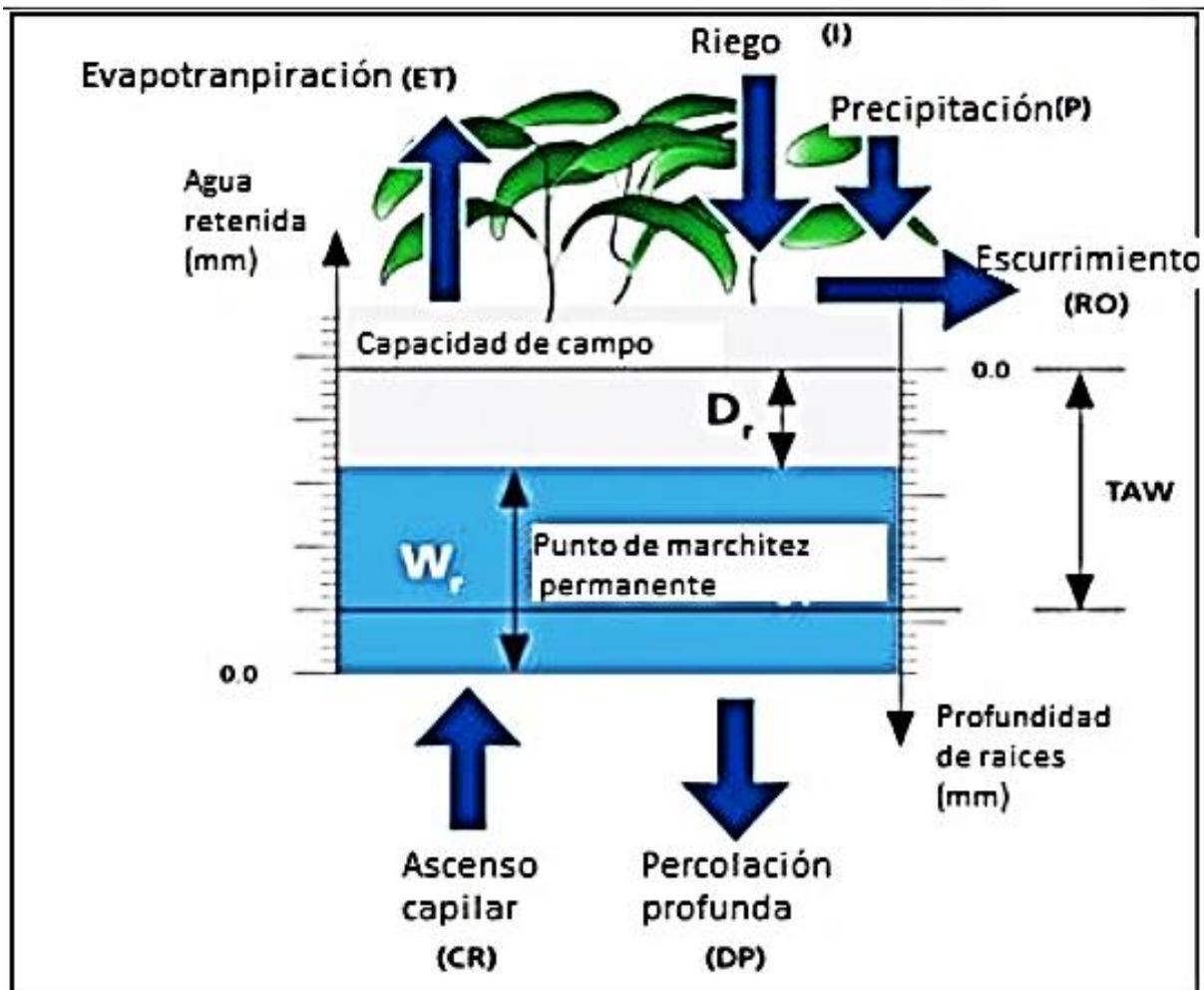


Figura 5. Balance hídrico en la zona de la raíz representado como un depósito con indicación de la profundidad equivalente de agua (W_r) y el déficit de manejo permitido (D_r)

Fajardo, (2015)

Cuando se calcula el balance de hídrico en el suelo, la cantidad de agua almacenada en la zona de la raíz puede expresarse en profundidad de agua (W_r), El agua disponible total (TAW) es la cantidad de agua contenida en la zona de la raíz entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Steduto, 2011).

3.8 Análisis de costo de producción

3.8.1 Costo total de producción

Méndez (2002) citado por Choque (2013) menciona el coste total (CT) de producción se define como la suma de los costes fijos (CF) y los costes variables (CV), correspondientes a un proceso productivo representando con la siguiente ecuación.

$$CT = CF + CV \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

CT = Coste total

CF = Coste fijo

CV = Coste variable

3.8.2 Coste unitario de producción

Calderón (2008) dice que aplicando las definiciones de costes se puede decir que los costes unitarios se derivan de los costos totales, permitiendo fácil de interpretación del comportamiento de la producción y de los precios. Para el análisis económico, los costes de producción deben estar clasificados en costos fijos y variables, para así poder determinar el coste total, el coste medio y el coste marginal.

$$CUP = \frac{CT}{QT} \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

CUP = Coste unitario de producción

CT = Coste total

QT = cantidad total de producción

3.8.3 Precio unitario de producción de venta

En la contabilidad de costes, el precio unitario de la producción se determina a través del porcentaje margen de ganancia, esto es uno de los objetivos más esperados en el mercado. Para ello se aplica la siguiente ecuación:

$$PUP = CUP(1 + \%GANANCIA) \quad \text{Ecuación 14}$$

Dónde:

PUP= Precio unitario de la producción

CUP = Coste unitario de producción

El precio unitario de producción, es la valoración de un bien o servicio en unidades monetarias o en otro instrumento de cambio. El precio puede ser fijado libremente por el mercado en función de la oferta y demanda, o por el contrario ser fijado por las autoridades, en cuyo caso se trataría de un precio controlado Medina (2012).

3.8.4 Ingreso total de la producción

Siendo uno de los objetivos de la actividad agropecuaria llevar adelante sus ingresos y reducción de sus costes, la maximización del ingreso implica una comparación entre ingresos y costes varios posibles y niveles de producción. En tal sentido el ingreso es la cantidad de dinero que genera la unidad productiva, como resultado de la venta de sus productos (Terranova Editorial 1994. citado por Choque 2013).

$$IT = PUP * CP \quad \text{Ecuación 15}$$

Dónde:

IT = Ingreso total

PUP = Precio unitario del producto

CP = Cantidad producida

3.8.5 Beneficio Neto de la producción

Ten Brinke (1996) citado por Choque J.(2013) dice que el beneficio neto de una unidad productiva es, valor de dinero en ganancia obtenido en un periodo determinado. En los

beneficios netos están incluidos también los productos consumidos por las familias, aunque no sean vendidos.

$$BN = IT - CT$$

Ecuación 16

Donde:

BN = Beneficio Neto

IT = Ingreso total

CT = Costo total

3.8.6 Punto de equilibrio

Según Martha, E. (1999) en la contabilidad de costes la diferencia entre el precio de venta por unidad y el coste variable por unidad se denomina margen de contribución por unidad o contribución unitaria. En consecuencia, para obtener la cantidad de unidades necesaria para lograr el punto de equilibrio, se divide el coste fijo total por el margen de contribución por unidad.

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{\text{costos fijos totales}}{\text{precio de venta por unidad} - \text{costos variables por unidad}}$$

3.8.7 Rentabilidad económica

La rentabilidad es uno de los indicadores generales más importantes de la efectividad del trabajo en las empresas. Su existencia muestra que los ingresos de la empresa, obtenido por la venta de su producto, superan todo el gasto empleado en la producción y venta (Gonzales, 1992 citado por Choque, 2013).

En la comunidad de Ñacamaya del Municipio de Umala, detalla la evidencia que los costos incurridos en insumos, tales como la semilla y el abono natural y la mano de obra durante la cosecha son los más significativos para esta producción. Debido a la incorporación de maquinaria en las principales labores de preparación de suelo y siembra. considerando que el alquiler del tractor es más bajo, y la mano de obra (Bejarano, 2012)

La rentabilidad económica mide la capacidad de generar beneficios que tienen los activos totales de una empresa sin tener en cuenta la manera en que se han financiado y el coste que han supuesto para la empresa Ortega, (2008).

La rentabilidad económica es la relación entre el beneficio antes de intereses e impuesto la ganancia y el activo total no se toman en cuenta los gastos financieros Cussi. (2017)

$$RE = \frac{\text{Ingreso}}{\text{costo total}} * 100 \quad \text{Ec. 17}$$

3.9 Factores que influyen en el rendimiento del cultivo de papa

Muchos factores afectan al desarrollo del cultivo y el productor tiene control sobre la mayoría de ellos, estos incluyen variedad, edad fisiológica de la semilla humedad del suelo, nutrición, control de plagas. Entre los factores no controlables se encuentran la temperatura y precipitación pluvial Torralba Medina.(2014).

3.10 Economías campesinas

La economía campesina es como una célula de producción y de consumo constituida por la unidad orgánica de fuerza de trabajo y medios de producción, planteamiento que ha sido defendido por Chayanov, (1985) quien ha expuesto que los sistemas de producción campesina constituyen un sistema económico propio, con un funcionamiento y racionalidad diferente al de los sistemas Capitalistas, esto es, que si bien el campesino trabaja combinando los factores de producción propios de la empresa clásica: tierra, capital y trabajo, opera con una lógica diferente, cuyo propósito no es la búsqueda de ganancia sino el mantenimiento de un equilibrio entre producción y consumo para la subsistencia de la unidad familiar (Santacoloma-varón. 2015).

En Bolivia, la economía campesina sigue siendo una parte importante de la población económicamente activa por su rol en la provisión de alimentos para el mercado interno y, desde hace algunos años, con una creciente incorporación en la generación de divisas.

Los cambios derivados de la implementación del nuevo modelo económico en el país, entre otros elementos, están orientados a la inclusión de los que hasta hace poco eran ciudadanos invisibles en la sociedad y en la economía; busca situarlos como actores (Verónica & Morales, 2012).

4 LOCALIZACION

El municipio se encuentra localizado a partir de la línea del Ecuador y el meridiano de Greenwich, se ubica entre los 17° 04´ de latitud sur y 68° 06´ de longitud Oeste, situación por la cual se encuentra en pleno Altiplano Central de Bolivia, (PDM. 2017).

4.1 Ubicación del área de estudio

El municipio de Umala pertenece a la Segunda Sección de la provincia Aroma del departamento de La Paz, el cual se encuentra localizado aproximadamente a 130 Km de distancia respecto de la ciudad de La Paz (PDM. 2017).

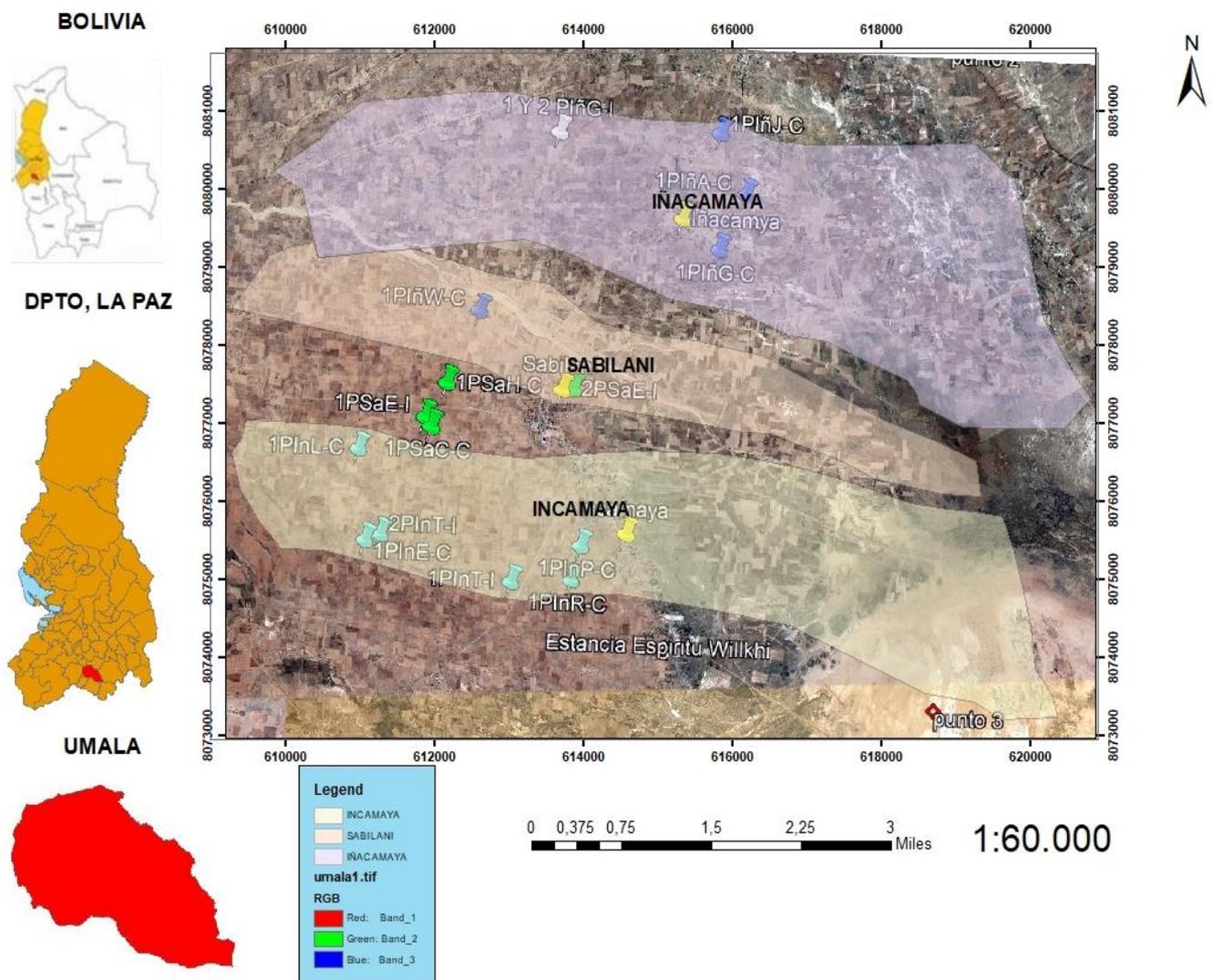


Figura 6. Ubicación del área de trabajo Iñacamaya, Sabilani, Incamaya

Las comunidades de estudio donde se realizó la evaluación, se encuentran ubicados en las siguientes coordenadas y altitudes.

Cuadro 2. Ubicación geográfica de las comunidades en estudio (PDM, 2017)

Comunidades en Estudio	Latitud Sur (y)	Longitud Oeste (x)	Altitud (msnm)
Iñacamaya	17° 21.610	67° 54.790'	3758
Sabilani	17° 23.369	67° 55.941'	3761
Incamaya	17° 24.263'	67° 55.360	3756

La Comunidad de Iñacamaya corresponde al cantón Llanga Belén y las Comunidades de Sabilani e Incamaya pertenecen al cantón San José Llanca, se trabajó en dos Cantones en Municipio de Umala.

4.1.1 Descripción fisiográfica

El Municipio de Umala, se encuentra en la región fisiográfica del altiplano Central, Situado en medio de las cordilleras Occidental y Oriental, se considera altiplano por la presencia de una serie de planicies con varias serranías y cerros aislados con características de cuenca cerrada con formación por sedimentos cuaternario medio a superior Butron,(2013).

4.1.2 Características climáticas

La mayor parte de las regiones del altiplano presenta un clima frígido. En el Municipio de Umala existen leves variaciones climáticas según su ubicación geográfica, características topográficas, ecosistemas diferenciados y particularidades ambientales Butron,(2013).

4.1.2.1 Temperatura

El Municipio de Umala presenta una temperatura máxima promedio de 18.13°C, Presentándose en meses de diciembre a febrero y una mínima de 0.2 °C con mayor frecuencia de heladas en el mes de junio, la temperatura general promedio del municipio de 9.17 °C (PDM, 2017).

4.1.2.2 Precipitación

La precipitación promedio anual es de 405.3 mm, y las mayores precipitaciones se registran en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo (236.007 mm). Existen meses en los cuales se registran precipitaciones escasas (junio y julio). Donde la presencia de lluvias es reducida en estos meses son junio a agosto. Sin embargo, la actividad agrícola, en estos meses entra en receso a nivel general del Altiplano por las condiciones adversas por los factores climáticos, principalmente heladas y sequía que imposibilita la actividad agrícola en el municipio (PDM, 2017).

4.1.2.3 Humedad

La Humedad Relativa promedio registra el 57.83%; siendo la mayor HR registrados en los meses de enero, febrero y marzo es del 62.8% respectivamente; en cambio la HR más baja registra en el mes de junio (PDM, 2017).

4.1.2.4 Vientos

La presencia de fuertes vientos está definida de acuerdo a las estaciones de los cuales pueden provocar diferentes daños. En la parte de infraestructura. puede dañar techos de unidades educativas, iglesias, casas, heniles (depósitos de forraje) establos y otros. El sector agrícola es susceptible a quedar completamente aplanado (acame en cereales, granos, habilla y otros), lo que permite que para periodos de cosecha se haya maltratado o expuesto la producción al ataque de plagas y enfermedades que provocan pérdidas en los rendimientos.

A nivel municipal este factor climático es casi continuo de manera generalizada, sin embargo, se presenta con mayor intensidad en meses secos (julio, agosto) en el cual la formación de corrientes de aire se presenta con frecuencia a diario.

5 MATERIALES Y METODOLOGIA

5.1 Materiales

5.1.1 Material biológico

- Papa variedad Waycha (categoría registrada II)

5.1.2 Material de gabinete

- Flexómetro
- Cuaderno de notas
- Tableros
- Bastidor para el cálculo de la cobertura vegetal

5.1.3 Equipos

- Estación meteorológica DAVIS, vantage pro 2 plus
- GPS

5.2 Metodología

En presente trabajo de investigación se utilizó la metodología mixta cualitativa y cuantitativa sugerida por Hernandez S., R, Fernadez C., C, Baptista L. (2010), a continuación se describe el levantamiento de información de acuerdo a las actividades realizadas.

5.2.1 Acuerdos con las comunidades de estudio

5.2.1.1 Reunión de coordinación con la comunidad

Se contactó con los Secretarios Generales de Ñacamaya, Sabilani e Incamaya, donde se pidió un espacio dentro la asamblea general para explicar el trabajo de investigación y el apoyo de algunos productores interesados. En la asamblea de cada comunidad (Fotografía 1), se estableció llevar a cabo talleres de capacitación como también para explicar a mayor detalle la investigación que se realizaría.



Fotografía 1. Taller de coordinación con los productores de la comunidad de Iñacamaya.

Las autoridades y la comunidad estuvieron de acuerdo en que se realice el estudio y designaron personas interesadas para acompañar el trabajo de investigación, por otra parte, se comprometieron a participar de los talleres de capacitación.

5.2.1.2 Selección de productores con los que se trabajo

Se seleccionó a 3 productores innovadores uno por comunidad, bajo los siguientes criterios; interés de investigación en sus parcelas, innovaciones de maquinaria en su sistema productivo. Los productores con los que se trabajó fueron: Gualberto Colbert (Iñacamaya), Ernesto Mamani (Sabilani), Turiano Huaynoca (Incamaya).

Después de esta selección se buscó un grupo de 3 productores por comunidad quienes tuvieran el interés de investigar en sus parcelas, disponibilidad de tiempo para poder realizar el seguimiento de las parcelas en evaluación. Basándonos en estos criterios se tuvo un total de 12 parcelas en evaluación en las tres comunidades.

5.2.1.3 Semilla certificada para las parcelas de investigación

A la zona llegaron en total 18 qq de papa, las cuales fueron repartidas a 6 qq por comunidad para ser implementadas en las parcelas de investigación.

- En la comunidad de Ñacamaya llegaron **6 qq** de semilla certificada a los 4 productores Don Gualberto Colbert, Javier Condori, Walter castro y German Castro, entregando a cada uno de los productores a 1,5 qq de semilla, y la sembraron cada uno en parcelas que ellos habían preparado para la siembra de la papa.
- En la comunidad de Sabilani llegaron 6 qq de semilla certificada a los 4 productores Don Ernesto Mamani, Cirilo Marca, Heber Mamani y Juan Marca entregando a cada uno de los productores a 1.5 qq de semilla, y la sembraron cada uno en parcelas que ellos habían preparado para la siembra de la papa.
- En la comunidad de Incamaya llegó un total de 6 qq se semilla a los productores, Don Turiano Huaynoca, Pedro Huaynoca, Eddy Huaynoca y Reynaldo Salsuri, parte del grupo de comité de investigación, entregando a cada uno a 1.5 qq, cada uno de los productores sembró la semilla en diferentes parcelas.

5.2.1.4 Instalación de estación meteorológica

Se instalaron dos estaciones meteorológicas automáticas (DAVIS y la vantage pro 2 plus) en la comunidad de Ñacamaya se instaló una estación meteorológica y otra en la comunidad de Incamaya; estas estaciones se ubicaron en un lugar intermedio. La estación meteorológica fue instalada a una altura de 2 m desde el piso y para una mayor seguridad se resguardo con una malla de alambre tejido alrededor de la estación meteorológica.

La estación meteorológica automática, registra los datos de temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar. Las cuales registran datos en un intervalo de 15 min cuyos datos fueron almacenados en la data logger (consola). La información de la estación fue transferida a un software waterlink y ordenas en una base de datos para su posterior procesamiento.

5.2.2 Variables agronómicas

Las variables agronómicas fueron evaluadas, para la modelación en AquaCrop y para realizar un desarrollo del seguimiento del cultivo, de esta manera responder los objetivos planteados.

5.2.2.1 Fases fenológicas

Se evaluó el comportamiento fenológico del cultivo desde la siembra hasta la madurez fisiológica, con el propósito de obtener la acumulación de unidades calor por fase fenológica. A continuación, se presentan las variables evaluadas:

a) Época de siembra

En el municipio de Umala de acuerdo a prácticas tradicionales cuenta con 3 épocas de siembra; la primera siembra corresponde desde el 15 al 20 de octubre, la segunda del 20 al 1 de noviembre y la última entre el 1 al 15 de noviembre.

Sin embargo, la campaña 2017-2018 se comportó extraordinariamente modificando el periodo de siembra, la 1ra siembra la realizaron desde el 25 de octubre al 5 de noviembre, la 2da desde el 5-15 de noviembre y 3ra del 16-30 de noviembre, durante el periodo de siembra tradicional no hubo lluvias y los suelos estaban muy secos y los productores decidieron esperar hasta que inicien las lluvias lo cual ocurrió a finales de noviembre.

Se registró las épocas de siembra para el modelado en el AquaCrop y el comportamiento en las 3 diferentes épocas de siembra. Cabe recalcar que esta variable fue elegida a criterio de cada productor

b) Emergencia

La siembra se realizó en 3 diferentes épocas, para la fecha de emergencia se consideró que más del 51 por ciento de las plantas de cada parcela en evaluación, hayan emergido, registrando este valor para el análisis.

c) Máxima profundidad radicular

Se sacaron 5 muestras durante el ciclo de producción, evaluando la longitud de raíz con ayuda de una regla milimétrica.

d) Inicio de tuberización

Para observar la fase de inicio de tuberización se realizó la evaluación en el lapso de cada 15 días. Considerando la fecha cuando más del 51 por ciento se encontraba en esta etapa. Bajo el mismo criterio se evaluó el inicio de floración.

e) Floración y tuberización

El registro de la de la fecha de floración y tuberización fue de igual manera cuando más del 51 por ciento de la parcela se encontraba en ese estado fenológico, puesto que la floración y tuberización van de la mano, esta información es importante para el modelado.

f) Fin de crecimiento vegetativo- inicio de senescencia

Esta etapa se determinó mediante observaciones y muestreos realizados en campo. Para el programa AquaCrop se entiende que el inicio de senescencia se produce con el inicio de descenso de la cubierta vegetal.

g) Madurez cosecha

Con esta variable se determina el tiempo necesario para alcanzar la madurez fisiológica cosechable desde la plantación del cultivo.

La fecha de cosecha no siempre va unida a la madurez ya que depende de las condiciones de manejo y en la mayoría de las veces por la situación del mercado. Es por esta razón que se consideró de manera individual los criterios de cada productor para la cosecha.

5.2.2.2 Altura de la planta

Se identificaron 10 muestras al azar por parcela, registrándose los datos de altura de planta cada 15 días en las diferentes parcelas en evaluación, de las cuales se registraban el estado fenológico en cada fecha de evaluación tomando como fecha cuando más del 51% se encontraba en otra fase.

5.2.2.3 Cobertura del área foliar

Se sacaron fotos con un bastidor de 1m² para obtener el porcentaje de cobertura vegetal desde la emergencia hasta la maduración del cultivo en evaluación teniendo un total de 5 fechas la toma de muestra vegetal de cada parcela.

Para el procesamiento de estos datos se utilizó el software la aplicación del CobCal en el cual se fueron añadiendo estos datos para obtener el porcentaje de cobertura a la fecha.

5.2.2.4 Labores culturales

Se registraron fechas de las diferentes actividades agrícolas siembra, aporque, desmalezado, fumigado y cosechas, también se registraron fechas de eventos extremos heladas y granizos.

5.2.3 Diseño experimental

La presente investigación se realizó en un diseño adaptado a las condiciones de los productores fue completamente al azar. El análisis de medias fue realizado utilizando la prueba Tukey a un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$).

5.2.3.1 Modelo lineal aditivo

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + \epsilon_{ijk} \quad \text{Ec. 17}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Observación cualquiera

μ = media general

E_i = Efecto de i-esimo época de siembra

ϵ_{ijk} = Error experimental (del factor variedades)

5.2.3.2 Codificación de las parcelas en investigación

Para la codificación de las parcelas se registró el nombre de cada productor, la comunidad y si era parte del comité de investigación o innovador. En el cuadro 3 se presenta la lista de productores con los que se trabajó.

Cuadro3. Codificación de parcelas de investigación

Código	Comunidad	Nombre del encargado	Cargo (innovador o comité)
1Y2PIÑG-I	Iñacamaya	Don Gualberto Colbert	innovador
1PIÑJ-C	Iñacamaya	Don Javier Condori	comité de investigación
1PIÑG-C	Iñacamaya	Don German Castro	comité de investigación
1PIÑW-C	Iñacamaya	Don Walter Castro	comité de investigación
2PSAE-I	Sabilani	Don Ernesto Mamani	innovador
1PSAE-I	Sabilani	Don Ernesto Mamani	innovador
1PSAH-C	Sabilani	Don Heber Mamani	comité de investigación

1PSAC-C	Sabilani	Don Cirilo Marca	comité de investigación
1PINT-I	Incamaya	Don Turiano Huaynoca	innovador
1PINP-C	Incamaya	Don Pedro Huaynoca	comité de investigación
1PINR-C	Incamaya	Don Reynaldo Salzuri	comité de investigación
1PINE-C	Incamaya	Don Eddy Huaynoca	comité de investigación

5.2.3.1 Características de la parcela

Se realizó el seguimiento en 3 comunidades (Iñacamaya, Incamaya, Sabilani), correspondientes al municipio de Umala teniendo un total de 12 parcelas, por comunidad se hizo el seguimiento de 4 parcelas.



Figura 7. Croquis experimental del trabajo de campo

5.2.4 Cálculo de la constante térmica

Para el cálculo de la constante térmica se procesaron los datos diarios registrados por las estaciones meteorológicas, desde la siembra hasta la cosecha del cultivo de papa. Para este cálculo se utilizó el método de unidades calor para el cual se utilizaron datos de temperaturas máximas y mínimas registradas menos la temperatura base es de 2°C para el cultivo de papa.

$$°D = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_b \quad \text{Ec. 19}$$

Dónde:

T max= temperatura máxima del día

T min= temperatura mínima del día

Tb= temperatura base del cultivo

En base a la incorporación de los datos de campo al modelo AquaCrop, este simula el comportamiento del cultivo y genera parámetros basados en la calibración de los datos del cultivo y la simulación del modelo los cuales servirán a futuro para asegurar el comportamiento del cultivo y requerirá datos de entrada como clima, cultivo, suelo, manejo, con estos parámetros se obtendrá un nivel de aproximación para los valores de productividad del cultivo.

El número de simulaciones para el periodo 2017-2018 fueron 12, una por cada parcela en seguimiento, las variables de diferencia fueron comunidad, fecha de siembra, manejo y el rendimiento.

Los resultados obtenidos en campo del porcentaje de cubierta vegetal (CC). Evolución de materia seca (MTS) y biomasa total de rendimiento en cosecha junto con índice de cosecha (HI) fueron comparados con los resultados de las simulaciones del modelo, estas comparaciones fueron utilizadas como criterio para la calibración y validación del modelo. Se considera que un modelo está calibrado cuando los resultados de las simulaciones son parecidos a los obtenidos durante el periodo de evaluación en campo.

5.2.4.1 Clima

Los valores utilizados fueron diarios proporcionados por la estación agro meteorológica DAVIS para la campaña 2017-2018 excepto el CO₂ cuyos valores no son medidos con la estación, la ETO es un dato obtenido a través de la aplicación de la ecuación de FAO- Penman Monteith (Allen et al 1998).

En el cuadro 4 se presenta los datos que requiere el modelo AquaCrop los cuales están enmarcados con x, el resto de la información es proporcionada por las estaciones meteorológicas, información que no fue utilizada para el modelado, pero si para el cálculo de la ETO.

Cuadro4. Parámetros requeridos para el modelo AquaCrop

	AquaCrop	Fuente
Temperatura máxima (T máx. °C)	X	Campo
Temperatura mínima (T min. °C)	X	Campo
Precipitación (P. mm)	X	Campo
Humedad relativa máxima (HR máx. %)		Campo
Humedad relativa mínima (HR mini. %)		Campo
Humedad relativa media (HR med. %)		Campo
Evapotranspiración de referencia (ETo. mm)	X	Campo
Velocidad del viento (v. m/s)	X	Campo
Dióxido de carbono (CO2. ppm)	X	Bibliografía

5.2.4.2 Cultivo

Este módulo requiere mayor número de parámetros para poder realizar simulaciones (cuadro 5). Para el ajuste del modelo se tomaron datos de desarrollo de cultivo, como los datos de cobertura vegetal en un 90% al inicio, fecha de emergencia, máxima cobertura vegetal, senescencia, madurez, floración, máxima profundidad de raíz. índice de cosecha.

Cuadro5. Parámetros requeridos del cultivo para AquaCrop

	AquaCrop	Fuente
Clasificación tipo de cultivo	x	Bibliografía
Fenología		
Plantación (D plant. fecha)	x	Campo
Emergencia (emerg. GDD o fecha)	X	Campo
Máxima profundidad radicular (Dmax. GDD)	X	Campo

Inicio de tuberización- comienzo del llenado de los tubérculos (Ini tub. GDD)	X	Campo
Fin de crecimiento vegetativo-inicio de senescencia (Ini sen. GDD)	X	Campo
Madurez-cosecha (GDD o fecha)	X	Campo
Máximo grado de cobertura vegetal (Dcc. GDD)	X	Campo
Floración (GDD)	X	Campo
Tuberización (Tub. GDD)	X	Campo
Desarrollo del cultivo		
densidad de plantación (Dens plantas m ²)	X	Campo
Profundidad de plantación (Zplan)	X	Campo
Grado de cobertura inicial (CC % o fracción)	X	Campo
Curva de distribución de densidad y desarrollo de raíces (C raiz)	X	Bibliografía
Máxima profundidad radicular (Zmax. m)	X	Campo
Máximo grado de cobertura vegetal (CCx. % o fracción)	X	Calculado
Temperatura base (Tb °C)	X	Bibliografía
Coeficiente de crecimiento de la cubierta (CGC.% día o °C día)	X	Calculado
Coeficiente de senescencia de la cubierta (CDC.% día o °C día)	X	Calculado
Transpiración		
Máxima extracción hídrica radicular (Trx)	X	Calculado
Extracción por horizonte (T hori %)	X	Bibliografía
Coeficiente de transpiración del cultivo (kcbx)	X	Bibliografía
Sombreamiento de la cubierta en la última estación (Sc. %)	X	Bibliografía
Crecimiento del cultivo formación del rendimiento		
Productividad de agua (WP. g m ²)	x	Calculado

En el cuadro 5 se observan los datos del cultivo que requiere el modelo AquaCrop la mayoría de estos datos fueron tomados en campo.

5.2.4.3 Condiciones iniciales de suelo

Este parámetro permite dar a conocer al modelo cuales son las condiciones de humedad, de salinidad, materia orgánica, nitrógeno en el suelo desde el inicio de la simulación para cada horizonte.

La humedad de suelo fue medida en la fecha en que se procedió a la plantación del cultivo a la profundidad de 0.10 m se tomaron muestras y se procedió a determinar la humedad de suelo.

5.2.4.4 Manejo

El cuadro 6 recoge los parámetros de manejo del modelo que toma en cuenta para las simulaciones.

Cuadro 6. Parámetros de manejo requerido en AquaCrop

	AquaCrop	Fuente
Condiciones iniciales del suelo	X	Campo
Riego	X	Campo
Fertilización	X	Campo
Cubierta protectora de mulches	X	Campo
Prácticas de campo en superficie	X	Campo

5.2.5 Análisis económico

Para el análisis económico se registraron todos los gastos estimados en todo el ciclo de producción del cultivo de papa.

5.2.5.1 Rendimiento del cultivo

La cosecha del cultivo de papa de la campaña agrícola 2017-2018 fue realizada en el mes de abril, para obtener el rendimiento de cada parcela. Se pesó la cantidad total obtenida por parcela juntamente con los productores

5.2.5.2 Relación beneficio costo

Para la relación benéfico costo se registraron total ingresos (que se obtienen por las ventas realizada después de la cosecha, además del total de costos de producción (se registran todos los gastos realizados para la producción desde la preparación del terreno).

a) Costos fijos

Se tomaron en cuenta todos los materiales utilizados desde la siembra hasta la cosecha maquinaria, chuntillos. palas. mochila de fumigación. material de campo.

b) Costos variables

Se tomaron en cuenta los gastos estimados en las labores culturales de la producción. mano de obra costos estimados por cada labor cultural.

5.2.5.3 Rentabilidad económica

Para sacar la rentabilidad económica se registraron el total de ingresos para la producción del cultivo de papa en las tres comunidades en estudio registrando todos los ingresos de las ventas del cultivo en mercados informales. y para el total costos de producción de se registraron gastos desde el preparado del terreno para la siembra hasta la cosecha de la misma

$$RE = \frac{\text{Ingreso neto}}{\text{costo total}} * 100$$

5.2.5.4 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio es aquel que muestra que ingresos totales lo cuales son iguales a los costos totales (de producción y de operación); esto significa que el volumen de ventas o ingresos, igualan a los costos totales de producción.

6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Antes de la presentación de resultados se dará a conocer el comportamiento climático de la región, se considera importante la interpretación de estos resultados para el mejor entendimiento de los resultados alcanzados durante el proceso de investigación.

6.1 Comportamiento climático en la región

6.1.1 Precipitación

Las precipitaciones en el Altiplano Central, se encuentran bajo la influencia de dos sistemas el semi-permanentes de presión alta (baja precipitación) y la presión baja (precipitaciones elevadas).

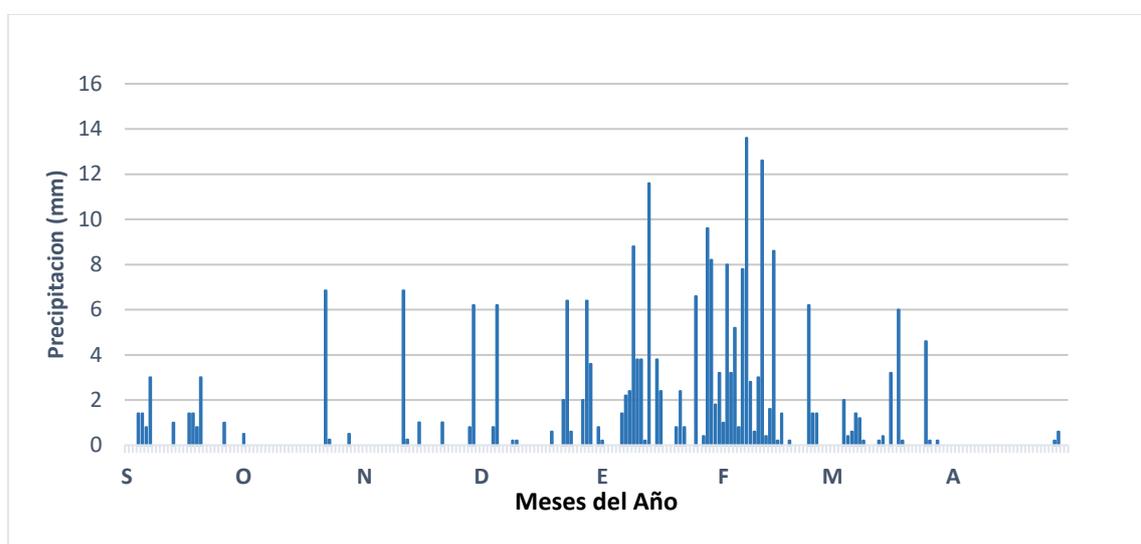


Figura 8. Precipitación diaria de septiembre 2017 a abril 2018 de la estación de Ñacamaya

En la Figura 8 se observa el comportamiento de precipitación diaria de la campaña agrícola 2017-2018 donde se registran precipitaciones desde el mes de noviembre hasta el mes de marzo. acumulando mayor precipitación en los meses de diciembre, enero y febrero 175,2 mm y menor precipitación en marzo y abril 10,04 mm.

Según la descripción propuesta por Garreund et al., 2003 citado por Garcia et al. Explica que la precipitación en el altiplano se produce solo entre octubre y marzo (con cierta variabilidad latitudinal). La lluvia caída entre enero y marzo es importante para la

productividad del cultivo. Coincide con el periodo de máxima necesidad de agua ligado a la floración y fructificación.

De acuerdo a los datos registrados en la estación de Ñacamaya e Incamaya muestra que las mayores precipitaciones se registraron en los meses de diciembre a marzo, y con la precipitación registrada se completó el desarrollo de las diferentes parcelas en evaluación.

6.1.2 Temperatura

Las temperaturas en el Altiplano Boliviano se caracterizan por ser frío, en diferentes estaciones del año. El registro de temperaturas mínimas en el mes de noviembre, diciembre y enero llegando a los -8°C . durante el periodo de lluvias el riesgo de heladas es menor, este comportamiento ayudo a que el cultivo de papa desarrolle sus fases fenológicas de mejor manera.

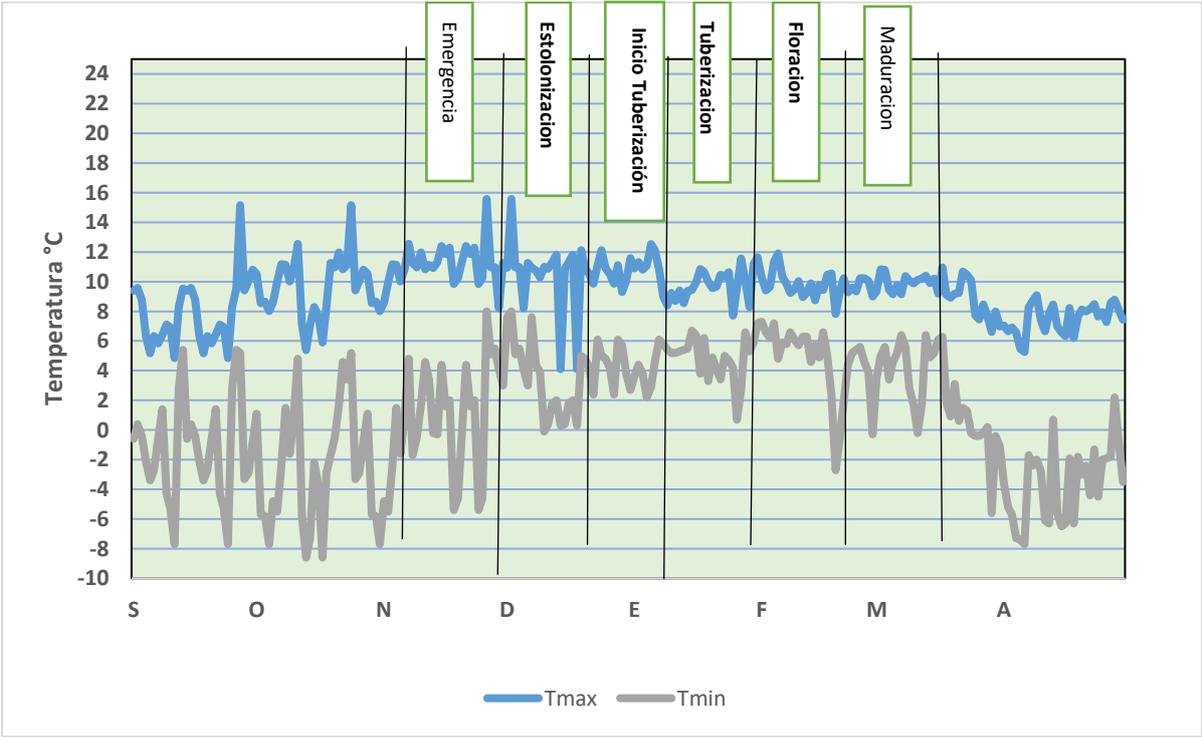


Figura 9. Comportamiento del clima temperatura máxima y mínima

En la Figura 9 se observa el comportamiento de las temperaturas durante los meses de septiembre 2017 a abril del 2018 y las fases fenológicas del cultivo de papa. Las

temperaturas máximas están dentro los 10 a 12 °C, registrando mayor temperatura en los meses de octubre noviembre y diciembre llegando a los 14°C.

Con el registro de helada del 19 de febrero que fue de -2.7°C temperatura que afecto a las parcelas en seguimiento durante su fase de floración en especial las de ultima siembra. como la parcela de Don Gualberto y Don Javier en los cuales daño 20 % de su área foliar.

Datos registrados por la estación meteorológica de Patacamaya, el municipio de Umala presenta una temperatura máxima promedio de 18.13°C, presentándose en meses de diciembre a Febrero y una mínima de 0.2 °C con mayor frecuencia en meses de helada (Junio), siendo la temperatura general promedio del municipio de 9.17 °C (PDM, 2017)

6.1.3 Humedad de suelo

Para el % humedad de suelo se considero la capacidad de campo. el punto de marchites permanente y el % de saturacion.

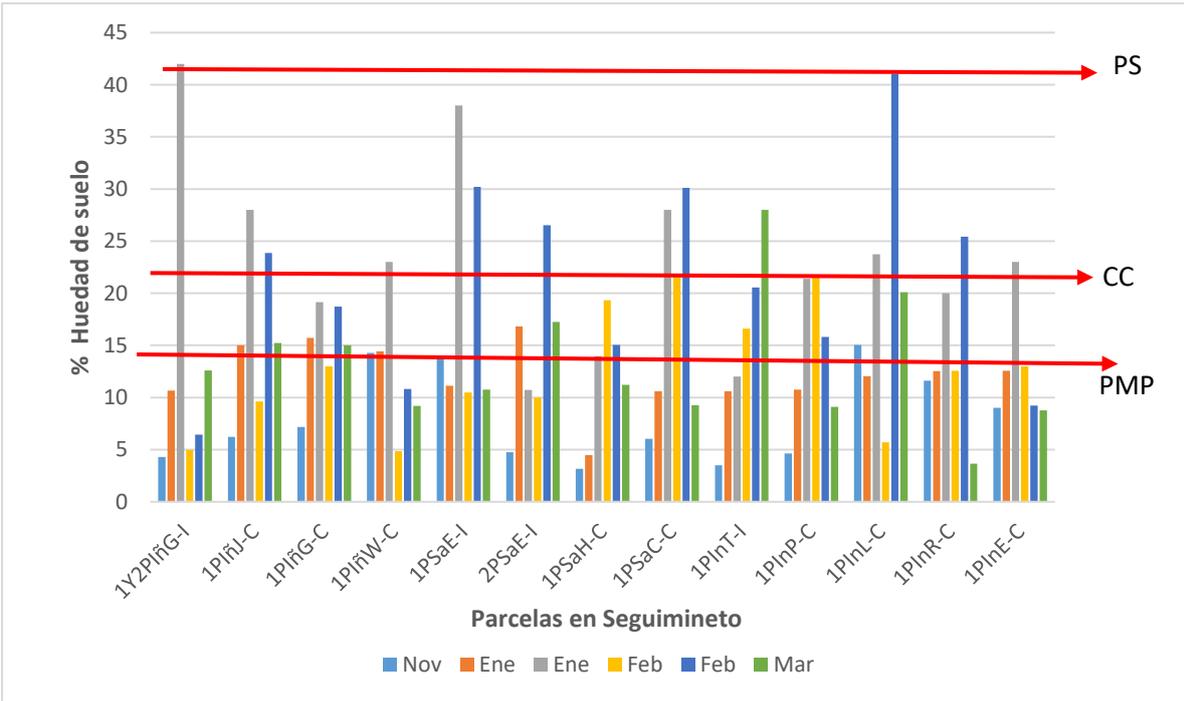


Figura 10. Porcentaje de humedad de suelo de las parcelas en seguimiento

En la figura 10 el % de humedad de suelo de las parcelas en seguimiento se observa que la mayoría, se encuentra a capacidad de campo y punto de marchites permanente durante las fases de inicio de tuberización y floración.

La mayor parte de las parcelas se encontraban entre CC y PMP, el resto se mantuvo en esos puntos a pesar de que eran diferentes suelos esto permitió que el cultivo cuente con humedad adecuada para el desarrollo del cultivo, pero también se vio que la parcela de don Walter durante la fase de floración del cultivo estuvo fuera del PMP y las parcelas de don Gualberto y don Letrán llegaron al punto de saturación

Según (Yanarico Villegas, 2016) La capacidad de campo y el punto de marchitamiento son dos parámetros importantes de la humedad del suelo. Después de que un suelo se ha saturado con agua y su exceso se ha drenado, se dice que está a capacidad de campo. Si las plantas crecen en el suelo, adsorberán toda el agua posible; si el suelo no se rehumedece, se marchitan y mueren.

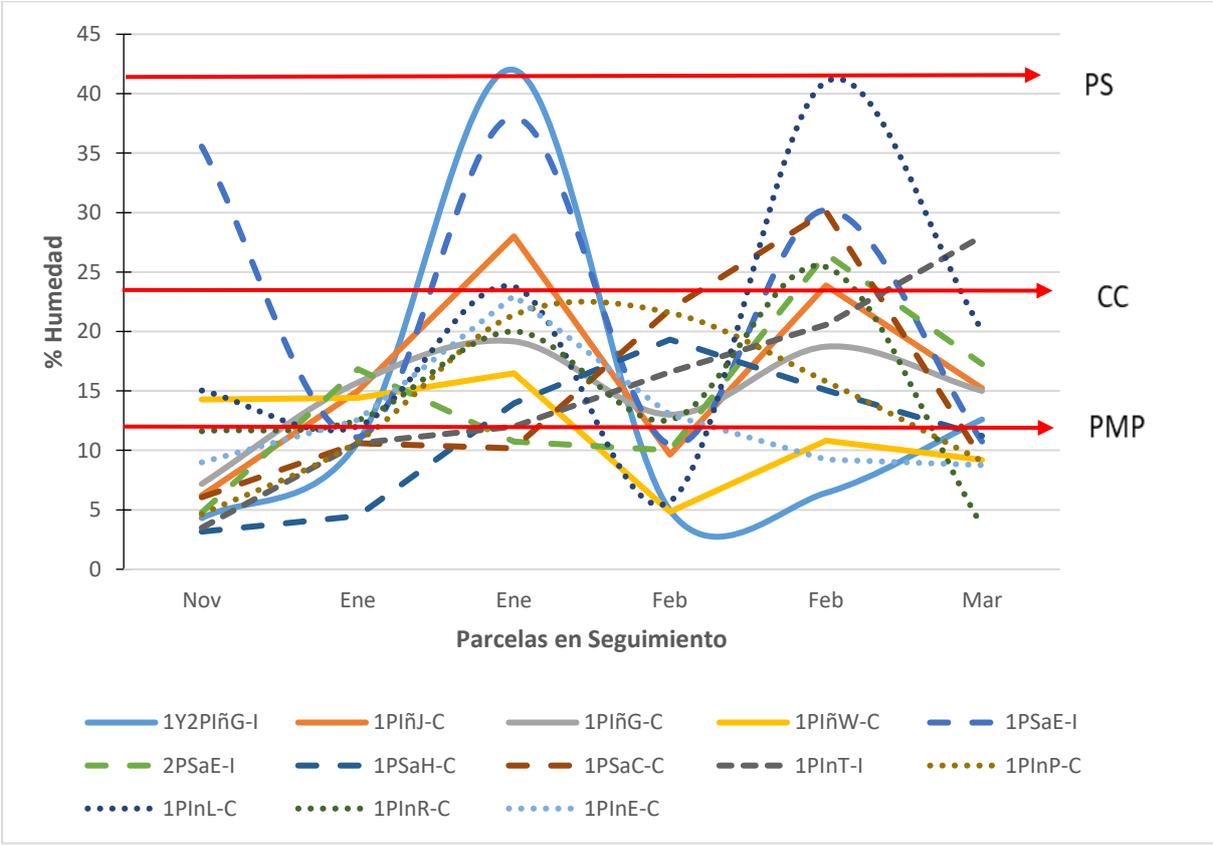


Figura 11. Porcentaje de humedad en el suelo de las parcelas de los productores entre noviembre y marzo

En la figura 11 se observa que las parcelas obtuvieron mayor humedad durante los meses de enero y febrero acumulando mayor precipitación. el cual ayudo a las parcelas para un mejor desarrollo.

6.2 Comportamiento de las fases fenológicas del cultivo de papa en base a los grados días

Se realizaron dos análisis para las diferentes fases fenológicas (emergencia, inicio de tuberización, floración y maduración) una entre comunidades y otra por épocas de siembra.

Al transcurrir el tiempo se observó que algunas parcelas adelantaron su desarrollo cambiando de estado fenológico en número menor de días. Las parcelas mostraron diferencias en las primeras fases fenológicas los cuales se observan en el cuadro 6.

El comportamiento de cada parcela fue diferente en las tres comunidades, los que sembraron ultimo aceleraron el tiempo de emergencia en menor número de días como el de Don Gualberto y Don Javier que emergieron en 19 y 21 días respectivamente en la comunidad de Iñacamaya. esto debido a que durante ese periodo hubo lluvias temperaturas elevadas que favorecieron la emergencia de la semilla.

Cuadro7. Seguimiento fenológico de las parcelas y manifestación a los días de siembra

Comunidad	Parcelas en seguimiento	Fecha de siembra	Fase I Emergencia días a la siembra	Fase II Estolonización días a la emergencia	Fase III Inicio de floración y tuberización	Fase IV Floración y Tuberización	Fase V Maduración
Iñacamaya	1Y2PIñG-I	25/11/2017	19 días	33 días	47 días	73 días	133 días
	1PIñJ-C	27/11/2017	21 días	31 días	62 días	71 días	131 días
	1PIñW-C	11/11/2017	27 días	45 días	55 días	64 días	126 días
	1PIñG-C	12/11/2017	25 días	46 días	52 días	61 días	121 días
Sabilani	2PSaE-I	30/9/2017	39 días	57 días	60 días	84 días	144 días
	1PSaE-I	4/11/2017	36 días	61 días	63 días	87 días	147 días
	1PSaH-C	16/11/2017	29 días	49 días	60 días	80 días	140 días
	1PSaC-C	11/11/2017	31 días	54 días	58 días	81 días	141 días
Incamaya	1PInT-I	5/11/2017	31 días	59 días	64 días	86 días	146 días
	2PInT-I	8/11/2017	31 días	46 días	56 días	73 días	133 días
	1PInR-C	15/11/2017	27 días	49 días	54 días	76 días	136 días
	1PInE-C	27/10/2017	29 días	57 días	60 días	88 días	146 días

En el cuadro 7 se observa que el comportamiento de las parcelas en seguimiento fue de distintas maneras. La emergencia en una de ellas según las fechas de siembra. existiendo parcelas que aceleraron este proceso y otras que requieren mayor número de días caso de la parcela 2PSaE-I de don Ernesto de la comunidad de Sabilani. la parcela sufrió daños causados por las heladas durante los meses de octubre y noviembre afectando el desarrollo del cultivo.

La diferencia entre las fechas de emergencia fue debido a la presencia de heladas. Don Ernesto realizó una prueba sembrando en la época mili a pesar que los pronósticos naturales recomendaban la segunda y tercera siembra. Una de las razones para esta decisión fue la implementación del sistema de riego en su parcela y de esta manera tener producción para el mes de febrero y llevarlo al mercado. Lamentablemente los daños por la helada no permitieron cumplir su objetivo. Llevando al cultivo al mismo desarrollo de las parcelas sembradas en la segunda y tercera época.

El daño por heladas es un importante problema en la producción de papa en latitudes altas y en áreas de latitudes bajas. Las pérdidas por las heladas en los Andes (-3 °C a -4 °C) causan una reducción estimada de la producción anual de 30% en promedio (PROINPA,2007).

Es por esta razón que la parcela de don Ernesto se vio afectada en la fase de emergencia porque el registro de heladas durante el mes de octubre y noviembre fue de (-6°C a-8°C) por lo cual la parcela se vio afectada en la fase de emergencia.

Durante las fases de Estolonización e inicio de tuberización no tuvieron problemas las parcelas en seguimiento puesto que desarrollando de manera normal cada una de estas fases sin ningún problema. Por la helada registrada el 19 de febrero de -2,7°C ver figura 8, la fase de floración se vio afectada dañando más del 20% en las parcelas de seguimiento. Las más afectadas fueron las parcelas de don Gualberto y don Javier, se encontraba en plena floración y con el daño del 20% no terminó su fase.

La fase de madurez fisiológica fue variando en las diferentes parcelas en seguimiento la parcela que llegó más rápido fue la de don German de la comunidad de Ñacamaya a los 121 días la papa se encontraba en madurez fisiológica y la que

tardo fue la de don Ernesto la parcela que fue afectada por la helada en la fase de emergencia.

6.2.1 Grados día a la emergencia

El análisis de la época de siembra nos ha mostrado que existen diferencias debido a que las ultimas siembras han sido más favorecidas por la presencia de lluvias, pero principalmente porque las temperaturas máximas y mínimas han sido de menor amplitud.

Para la fase de emergencia en el análisis de varianza cuadro 8 muestra que es significativo a nivel del 5% entre las diferentes épocas de siembra.

El coeficiente de variación de 10.8 determina la confiabilidad de los datos tomados y el manejo de unidades experimentales.

Cuadro 8. análisis de varianza época de siembra

F.V.	SC	GL	CM	Fc	F tab		Sig
					5%	1%	
Época de siembra	13701.16	2	6851	8	4.26	8.02	*
Error	7699.53	9	856				
Total	21400.69	11					

**= Altamente significativo; *=Significativo; NS= No significativo

En la comparación de medias cuadro 9 el análisis tukey muestra la diferencia de las épocas de siembra la 1ra que acumulo mayor número de unidades calor 310.38°C y la tercera época tan solo acumulo 216.92°C unidades calor

Cuadro 9. Comparación de medias Tukey fase de emergencia por época de siembra

Época de siembra	Medias	N	E.E.	Tukey	
1ra	310.38	3	16.89	A	
2da	277.76	6	11.94	A	B
3ra	216.92	3	16.89		B

En la figura 12 muestra que la diferencia entre ambas épocas es aproximadamente 100°C esto debido a que las ultimas siembras adelantaron el proceso de emergencia por lo cual acumulo menor número de UC.

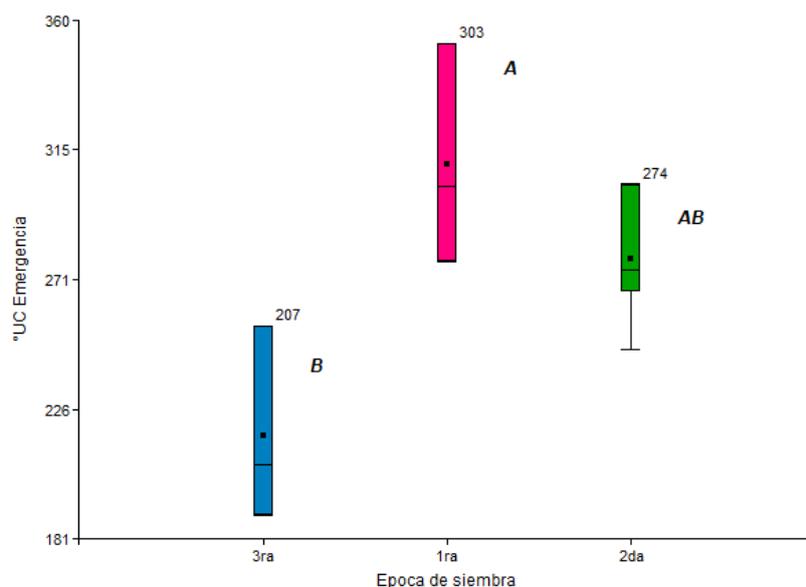


Figura 12. Comparación de medias de °UC a la emergencia por época de siembra. Según estudios realizados en la predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico, con los tres métodos utilizados para predecir la fenología del cultivo de la papa 'Alpha' con base en el tiempo térmico, el método que presentó menor dispersión para todas las etapas fenológicas analizadas, fue el P-days, la acumulación de temperatura para la fase de emergencia 374°UC (Flores-Magdaleno, Flores-gallardo, et al., 2014).

6.2.2 Grados día al inicio de tuberización

En el Cuadro 10 se observa el análisis de varianza para el inicio de tuberización por época de siembra muestra significancia (*) a nivel del 5 % que son diferentes.

El coeficiente de variación 10.8 determina la confiabilidad de los datos.

Cuadro 10. Análisis de varianza para inicio de tuberización por época de siembra

F.V.	SC	GL	CM	Fc	F tab		Sig
					5%	1%	
Época de siembra	24414.80	2	12207	6	4.26	8.02	*
Error	18148.46	9	2016				
Total	42563.26	11					

**= Altamente significativo; *=Significativo; NS= No significativo

En cuadro 11 y figura 13 la comparación de medias se observa el comportamiento por época de siembra la diferencia entre la 1ra y 3ra varía de 644.95°UC a

520.98°UC. los que acumularon menor unidades fueron la tercera siembra parcelas de Don Gualberto. Javier y Don Letrán de las comunidades Incamaya e Ñacamaya.

Cuadro 11. Comparación de medias tukey para la fase de inicio de tuberización por épocas de siembra

Época de siembra	Medias	N	E.E.	Tukey
1ra	644.95	3	25.93	A
2da	561.65	6	18.33	A B
3ra	520.98	3	25.93	B

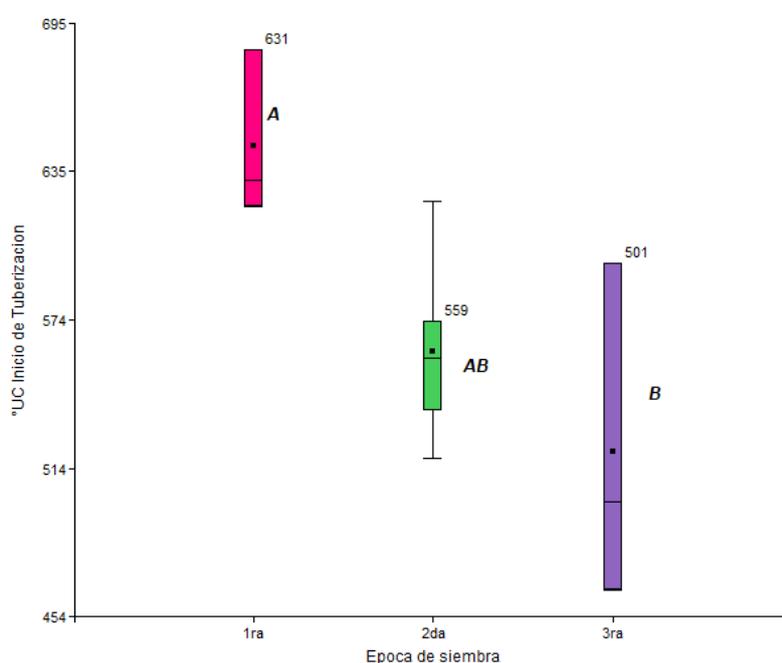


Figura 13. Comparación de medias de °UC al Inicio de tuberización según época de siembra

6.2.3 Grados día a la floración

En el cuadro 12 se observa el análisis de varianza para la fase de floración que nos muestra que una de las épocas de siembra es muy diferente en la acumulación de grados día para la floración al resto de las otras épocas, lo cual es mostrado en el ANVA que es altamente significativa (**), y el coeficiente de variación de 3.75 indica que los datos fueron adecuadamente registrados.

Cuadro 12. análisis de varianza por época de siembra a la floración

F.V.	SC	GL	CM	Fc	F tab		Sig
					5%	1%	
Época de siembra	46422.61	2	23211	29	4.26	8.02	**
Error	7317.16	9	813				
Total	53739.77	11					

**= Altamente significativo; *=Significativo; NS= No significativo

En la comparación de medias se tukey se observa (Cuadro 13 y figura 14) que existen diferencias entre las épocas de siembra notando mayor diferencia entre la 1ra y la 3ra siembra

Cuadro 13. Comparación de medias tukey para la fase de floración época de siembra

Época de siembra	Medias	N	E.E.	Tukey
1ra	856.97	3.00	16.46	A
2da	751.92	6.00	11.64	B
3ra	682.90	3.00	16.46	C

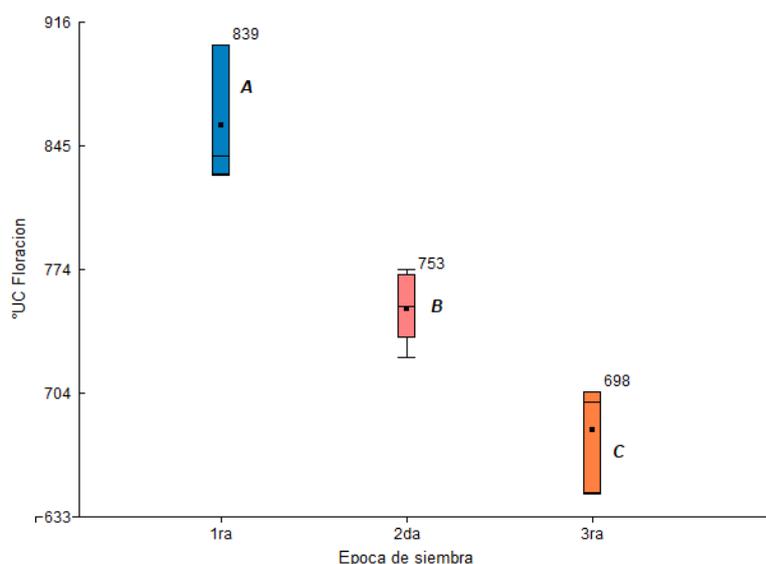


Figura 14. Comparación de medias de °UC a la floración por época de siembra

De acuerdo a la figura 14 la variabilidad de °UC para la floración no es mucha dentro de las épocas, pero existe una alta diferencia entre ellas.

6.2.4 Grados día a la madurez fisiológica

Finalmente, los resultados obtenidos de acumulación de temperatura en la madurez fisiológica nos muestran que existen diferencias entre épocas de siembra.

Para el análisis de la madurez fisiológica de la época de siembra se realizó un ANVA donde los datos son altamente significantes al 1 %. el cual indica que por épocas de siembra las parcelas en seguimiento se comportaron de manera diferente ver Cuadro 14.

El coeficiente de variación 3.05 da la confiabilidad de los datos.

Cuadro 14. Análisis de varianza por época de siembra madurez fisiológica

F.V.	SC	GL	CM	Fc	F tab		Sig
					5%	1%	
Época de siembra	61519.96	2	30760	22	4.26	8.02	**
Error	12785.61	9	1421				
Total	74305.57	11					

**= Altamente significativo; *=Significativo; NS= No significativo

En el (cuadro 15 y figura 15), se observa el análisis de comparación de medias tukey. la primera siembra acumulo mayor unidades calor, esto debido a que en los meses de octubre y noviembre aún se registraban temperaturas bajas por lo cual alargo la acumulación de temperatura requerida para cada fase fenológica.

Cuadro 15. Comparación de medias Tukey para madurez fisiológica entre Comunidades

Comunidad	Medias	N	E.E.	Tukey
1ra	1334.05	4	13.91	A
2da	1258.63	3	16.06	B
3ra	1143.35	4	13.91	c

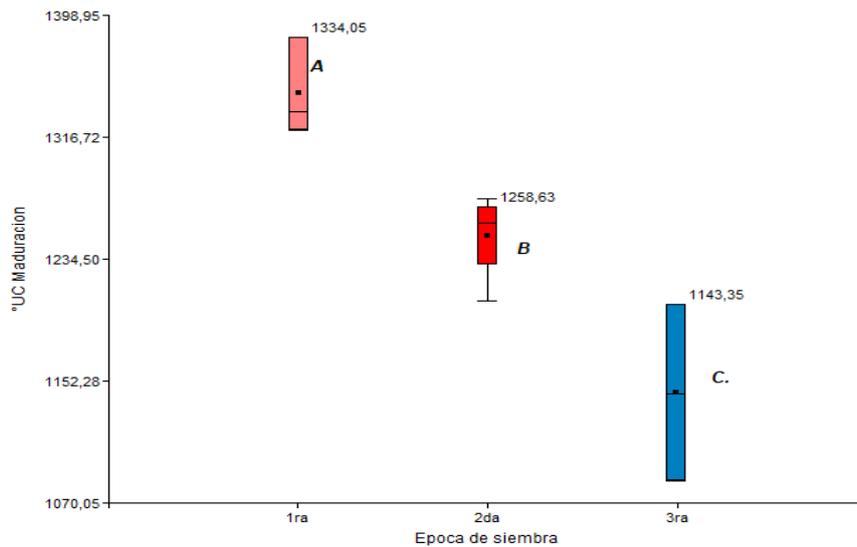


Figura 15. Comparación de medias de °UC a la madurez fisiológica por época de siembra.

Según estudios realizados en determinación preliminar de la constante térmica en dos especies de papa en la localidad de Batallas, Asturizaga Valdivia, (2005) determinó que la madurez fisiológica en la variedad huaycha llega a los 465,51°UC, mientras que en la variedad luki a los 636,11°UC.

En la investigación la acumulación de unidades calor para la madurez fisiológica es de 1225°UC muy diferente a la investigación. La acumulación de °UC está por debajo de la investigación realizada, con el cual se concluye que la investigación de Asturizaga Valdivia, (2005) no es confiable.

6.3 Cantidad de temperatura grados día, requerida cultivo de papa

Para el cálculo de la constante térmica se realizó la suma °GD temperaturas diarias que necesito el cultivo desde la emergencia hasta la madurez fisiológica.

En la figura 16 se observa la acumulación de °GD para las diferentes fases fenológicas de las 3 comunidades en estudio, donde se observa que en cada comunidad se comportó de diferente forma, acumulando mayor temperatura Sabilani, esto debido a que las fechas de siembra fueron en la primera época.

En la comunidad de Ñacamaya acumulo menor unidades calor, y por este comportamiento los estados fenológicos de las parcelas en seguimiento.

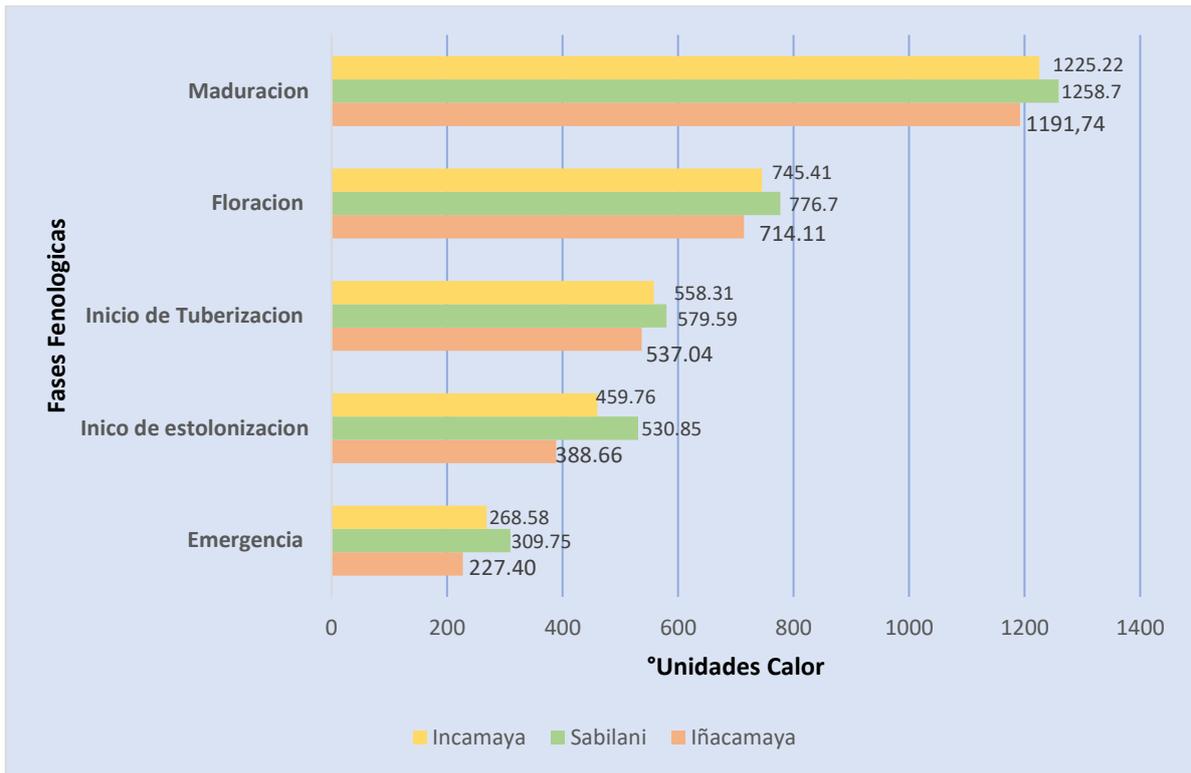


Figura 16. Seguimiento desarrollo fenológico de acuerdo a la suma de grados día Según estudios realizados por (Flores-gallardo, Ojeda-Bustamante, Flores-Magdaleno, & Sifuentes-Ibarra, 2011) la acumulación de temperatura para la madurez fisiológica según 3 métodos de investigación una de ellas fue temperatura media fue 2135.12°UC para el método °D grados días 1924.98°UC y por ultimo P-days 788.48°UC.

De acuerdo a lo resultados obtenidos por el método temperatura media (unidades calor), la acumulación Para la fase de madurez fisiológica fue de 1225,22°UC para la región.

En el cuadro 16 se observa la acumulación de unidades calor para la primera época de siembra donde se muestra que la parcela que acumulo mayor unidades calor es la de 1PInE-C de don Ernesto, mientras que las demás parcelas llegaron a la madures fisiológica acumulando un promedio de 1320 °UC.

Cuadro 16. Constante térmica para la primera época de siembra cultivo de papa

Fases Fenológicas	Unidades Calor (°UC) 1ra Época de siembra			
	2PSaE-I	1PIñE-C	1PIñT-I	1PSaE-I
Emergencia	332.00	276.75	302.80	351.60
Inicio de Estolonización	586.85	645.80	574.00	591.60
Inicio de Tuberización	626.30	683.70	630.90	620.25
Floración y Tuberización	845.60	902.85	828.65	839.40
Madurez Fisiológica	1317.50	1408.25	1334.05	1321.40

En el cuadro 17 se observa el comportamiento de las fases fenológicas para la segunda época de siembra, la parcela que acumulo mayor unidades calor fue la de don Walter, que llego a la madurez a los 1564 °UC, las demás parcelas llegaron a la madurez en u promedio a los 1200 °UC, solo el comportamiento de una parcela fue diferente durante la segunda época de siembras. Las demás parcelas se comportaron de manera similar no variando tanto la acumulación de sus °UC por fase.

Cuadro 17. Constante térmica para la segunda época de siembra cultivo de papa

Fases Fenológicas	Unidades Calor (°UC) 2da Época de siembra				
	1PIñW-C	1PSaH-C	1PSaC-C	1PIñR-C	1PIñG-C
Emergencia	226.70	280.50	303.45	266.10	246.50
Inicio de Estolonización	751.45	479.20	526.30	480.40	452.45
Inicio de Tuberización	856.70	550.20	573.95	537.30	518.25
Floración y Tuberización	1047.90	724.00	771.70	735.05	747.35
Madurez Fisiológica	1564.10	1206.00	1253.70	1230.60	1263.55

Unidades calor totales para la tercera época de siembra, en el cuadro 18 nos muestra las unidades calor de la última época de siembra en comparación a las otras dos épocas esta se comportó de manera diferente pues estas parcelas llegaron a la madurez con menor acumulación de unidades calor.

Cuadro 18. Unidades calor para la 3 época de siembra cultivo de papa

Fases Fenológicas	Unidades Calor (°UC) 3ra Época de siembra		
	1PIñJ-C	1PIñG-I	1PIñL-C
Emergencia	207.00	189.40	390.30
Inicio de Estolonización	311.50	328.30	543.35
Inicio de Tuberización	597.15	465.10	639.90
Floración y Tuberización	645.95	704.30	797.70
Madurez Fisiológica	1085.00	1143.35	1303.10

6.4 Ajuste del modelo AquaCrop para el cultivo de papa

Las formaciones de rendimiento han sido simuladas durante la campaña agrícola 2017- 2018. Las variables indicadas tienen un efecto directo sobre la evolución del grado de cobertura vegetal (CC), materia seca total (MST) y materia seca de tubérculos (MS).

Al obtener la máxima cobertura vegetal también se obtiene la máxima altura de planta, es por eso que antes de la calibración del modelo se presenta el análisis ANVA de esta variable.

6.4.1 Altura de planta

Los resultados muestran que existen diferentes alturas entre las plantas, obteniendo una altura de mayor a los 65 cm y como menor 44 cm. este aspecto varía entre según el manejo de las parcelas y el tipo de suelo de cada una.

Cuadro 19. Análisis de varianza para altura de planta

F.V.	SC	GL	CM	Fc	F tab		Sig
					5%	1%	
Comunidad	303.44	2	152	3	7.56	8.02	NS
Error	458.16	10	46				
Total	761.60	12					

C.V. 12.64%.

En el cuadro 20 se observa el análisis de varianza para altura de planta donde se demuestra que la diferencia entre comunidades no es significativa. El coeficiente de variación del 12,64 se encuentra dentro de los parámetros estadísticos de

aceptación. por lo que se puede inferir que el manejo de las unidades experimentales es aceptable para esta variable.

Cuadro 20. Comparación de medias tukey altura de planta

Localidad	Medias	N	E.E.	Tukey
Iñacamaya	59,78	5	3,01	A
Incamaya	51,93	6	2,75	A B
Sabilani	47,26	4	3,37	B

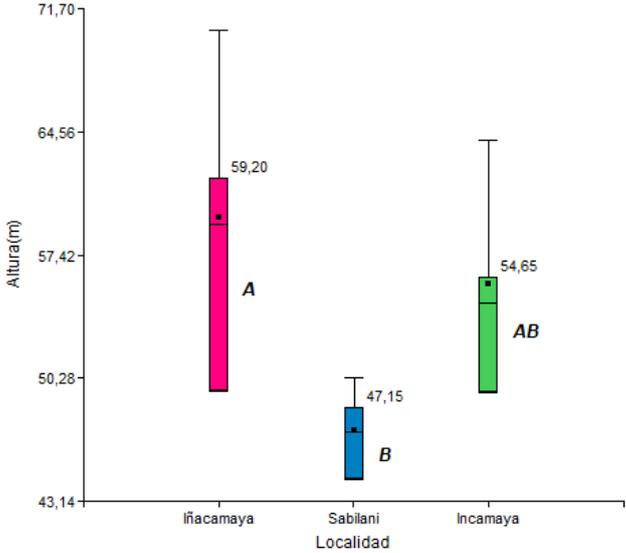


Figura 17. Altura de planta parcelas en seguimiento

Los resultados obtenidos nos muestran que la parcela **1PinE-C** llego a una altura hasta de 43.23 cm con respecto a la parcela **2PSaE-I** solamente gano una altura de 22.04 cm (Figura 17).

Estudios de adaptación al cambio climático probaron variedades de papa y épocas de siembra, obteniendo una altura de planta de 48 cm en la tercera siembra 44 cm para la segunda siembra, para la primera siembra se registró menor desarrollo, el estudio fue realizado en la comunidad de Viluyo en el departamento de La Paz (Quiroga Aguilar, 2008)

A diferencia del estudio mencionado en la presente investigación se obtuvo mayor altura de planta entre comunidades, esto debido a que el comportamiento climático ayudo en el desarrollo, de igual forma la época de siembra influyo en el desarrollo, las parcelas con mayor altura fueron de la 3 época de siembra, ya que en los meses en los cuales se encontraba en desarrollo existieron precipitaciones.

6.4.2 Calibración

Los requerimientos del modelo AquaCrop para calibrar el rendimiento del cultivo de papa los datos a introducir son: (1) emergencia (2) máxima cobertura vegetal; (3) decaimiento de la cobertura y (4) maduración. Una vez introducidos esos datos provenientes de los experimentos llevados por Miranda. et al. (2012). se llevó adelante el proceso de calibración interna del modelo AquaCrop y se obtuvieron los resultados simulados para la campaña 2017- 2018 para el municipio de Umala comunidad Incamaya. Sabilani e Ñacamaya.

6.4.2.1 Agrupación por época de siembra

Para realizar un mejor análisis se agrupo las parcelas en seguimiento por épocas de siembra considerando que la primera siembra fueron las parcelas de don Turiano. Eddy y don Ernesto.

Como segunda siembra las parcelas de don Walter. Heber. Cirilo. Pedro. German y don Reynaldo. como última siembra las parcelas de don Gualberto. Javier y don Letrán.

En el cuadro 22 se observa las simulaciones y los datos observados en campo de las parcelas en seguimiento la parcela que sumo mayor número de grados día es la parcela de don Ernesto y la que acumulo más en la maduración la parcela de don Eddy.

Cuadro 21. Desarrollo 1ra época de siembra

		Emergencia	Max Cobertura	Senescencia	Maduración
1PInT-I	CC_Simulado	300	828	1083	1411
	CC_Observado	302.80	828.00	1083	1334.05
1PInE-C	CC_Simulado	276	902	1107	1411
	CC_Observado	276.75	902.85	1107	1408.25
1PSaE-I	CC_Simulado	351	839	1133	1282
	CC_Observado	351.60	839.40	1133	1321.40

En la Figura 18 se observa el comportamiento de las parcelas de las primeras siembras que varían desde 27 de octubre al 5 de noviembre del 2017 donde se observan que el comportamiento en el modelo AquaCrop es similar a lo observado

en las diferentes parcelas lo que explica que las diferentes parcelas tienen similar comportamiento.

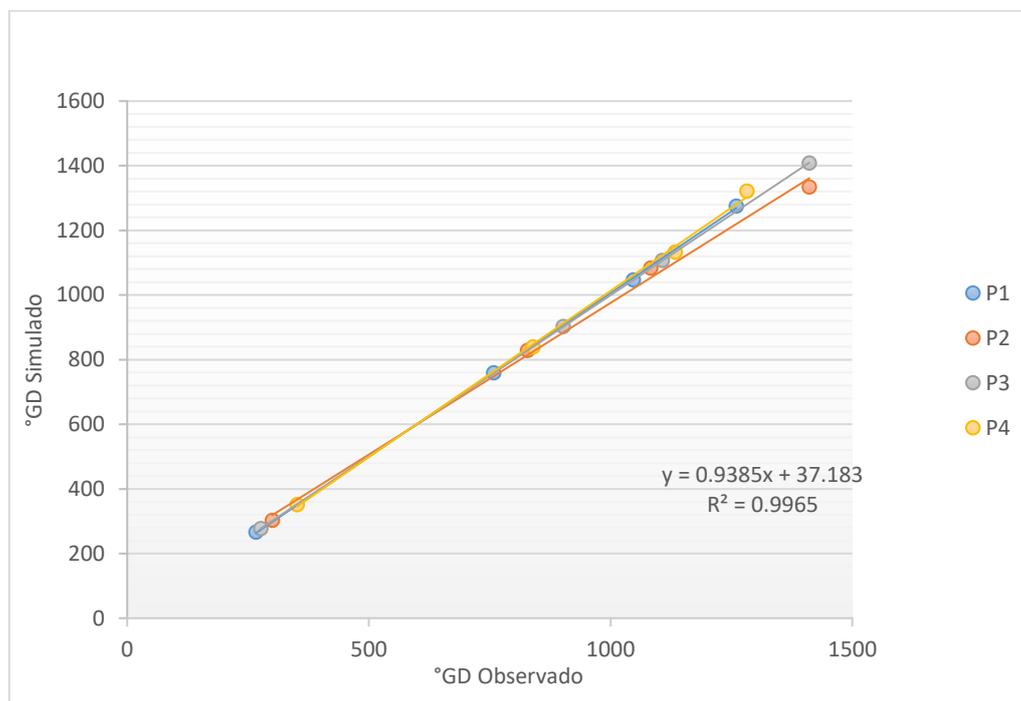


Figura 18. Parcelas de seguimiento 1ra siembra comunidad Sabilani e Incamaya
En el cuadro 22 se observa el seguimiento de las parcelas 2da siembra en el cual muestra que el comportamiento fue similar al observado en campo.

Cuadro 22. Desarrollo 2da época de siembra

		Emergencia	Max Cobertura	Senescencia	Maduración
1PSaC-C	CC_Simulado	300	770	1075	1253
	CC_Observado	303.45	771.00	1075	1253.70
1PIñG-C	CC_Simulado	246	716	1058	1136
	CC_Observado	246.50	747.35	1098	1263.55
1PIñP-C	CC_Simulado	300	774	1092	1234
	CC_Observado	303.30	744.55	1092	1269.85
1PIñR-C	CC_Simulado	266	735	1103	1234
	CC_Observado	266.10	735.00	1103	1230.60
1PSaH-C	CC_Simulado	280	724	1063	1267
	CC_Observado	280.50	724.00	1060	1206.00
1PIñW-C	CC_Simulado	266	758	1047	1260

CC_Observado	266.00	758.85	1047	1275.05
---------------------	---------------	---------------	-------------	----------------

En la figura 19 se observa el seguimiento de las parcelas en evaluación de la segunda siembra que fue entre los 10 a 16 de noviembre del 2017 donde los datos observados a los simulados son en promedio las parcelas de las 3 comunidades son similares.

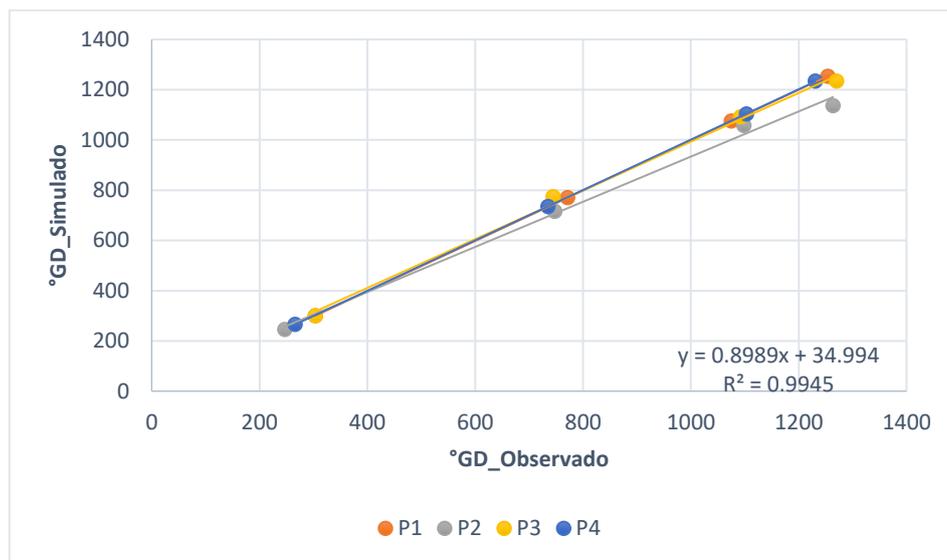


Figura 19. Parcelas en seguimiento 2da Siembra comunidades Iñacamaya. Incamaya y Sabilani

La última siembra al igual que en la primera no tiene diferencias altas entre los datos simulados y observados.

Cuadro 23 Desarrollo 3ra época de Siembra

	1PIñG-I		1PIñJ-C		1PIñL-C	
	Smldo	Obsvdo	Smldo	Obsvdo	Smldo	Obsvdo
Emergencia	189	189.40	207	207.00	390	390.30
Max Cobertura	700	704.30	655	645.90	797	797.70
Senescencia	1006	1046.00	1011	1011	1222	1222
Maduración	1175	1143.00	1086	1085.00	1301	1303.10

En la figura 20 se observa la tercera siembra que fue en rango de 19 al 27 de noviembre del 2017. con el modelado en AquaCrop se obtuvieron datos similares a los observados.

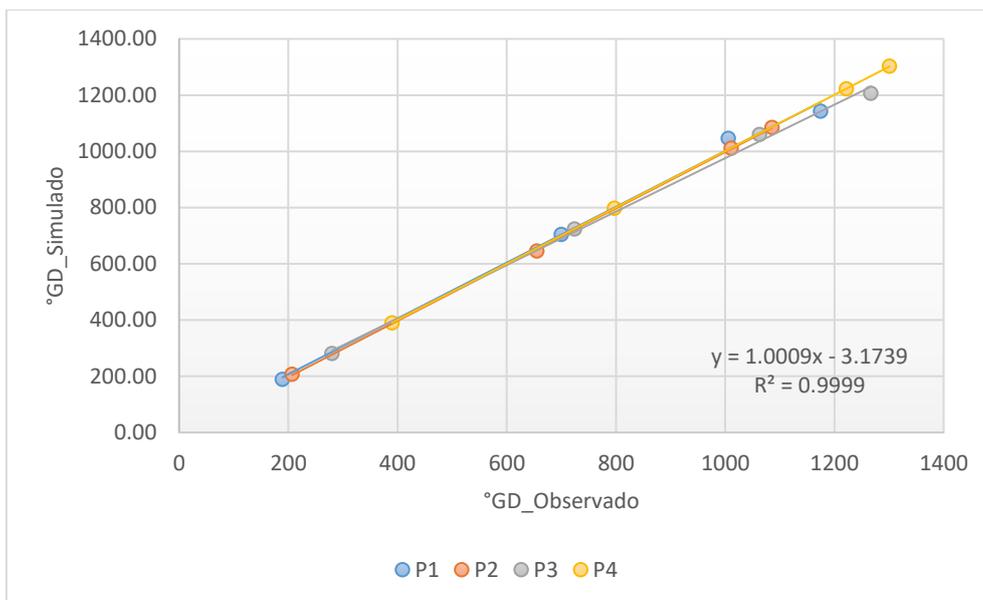


Figura 20. Parcelas en evaluación de las 3ra época de siembra de las comunidades de Ñacmaya e Incamaya

6.4.2.2 Ajuste de modelo para fases fenológicas por época de siembra

Para el ajuste de modelo AquaCrop, se promediaron número de grados días en las fases de emergencia, máxima cobertura vegetal, senescencia y maduración.

a) Emergencia

En el cuadro 24 se observa la acumulación de grados días acumulados para la fase de emergencia donde se observa que la primera siembra requiere mayor número de grados día para la emergencia las fechas de siembra de la 1ra varia del 27 de octubre al 5 de noviembre.

Cuadro 24. Emergencia épocas de siembra

	Simulado	Observado
3ra Siembra	262	262
2da Siembra	276	278
1ra Siembra	309	310

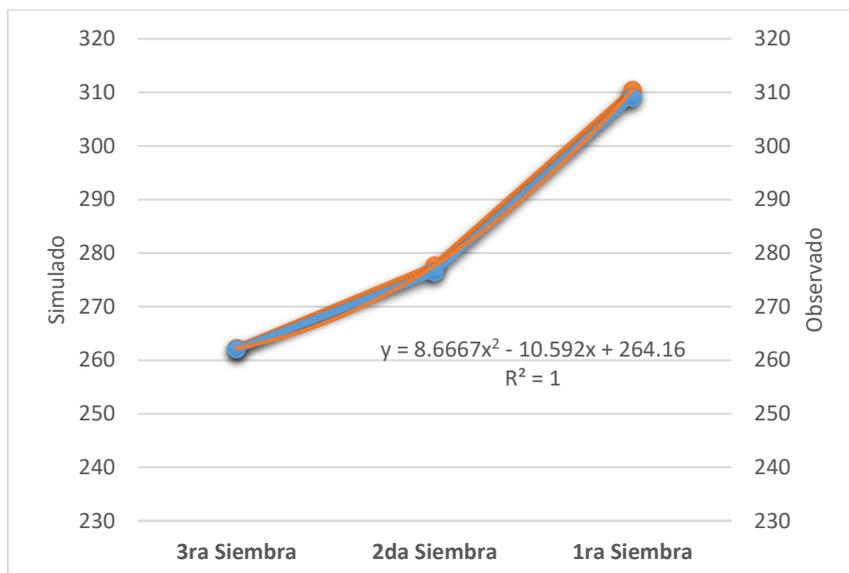


Figura 21. °UC a la emergencia de datos simulados y observados en las 3 épocas de siembra

En la Figura 21 donde se observa que las parcelas que tardaron más en emerger fueron las de la primera siembra las cuales acumularon mayor número de grados día para iniciar la fase de emergencia, esto debido a que las temperaturas registradas eran bajas por lo cual acumulo mayor número de unidades calor.

b) Máxima cobertura

En el cuadro 25 muestran que las salidas en AquaCrop son similares a los datos observados en campo la ecuación muestra un porcentaje de significancia en la salida de datos simulados. donde muestran que la 3ra siembra llego a su porcentaje máximo de cobertura vegetal con un menor número de grados día.

Cuadro 25. Desarrollo de cobertura vegetal

	Simulado	Observado
3ra Siembra	717	716
2da Siembra	746	747
1ra Siembra	856	857

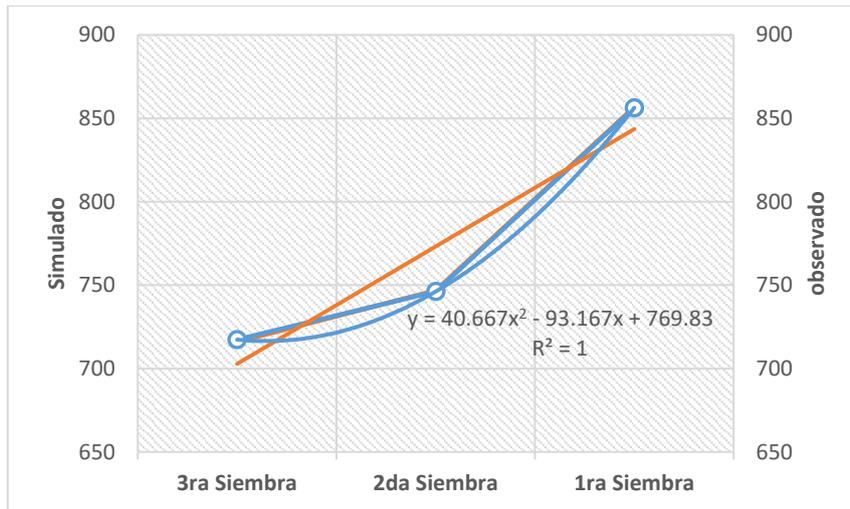


Figura 22. Máxima Cobertura vegetal

En la figura 22 se observa el comportamiento de máxima cobertura en la cual se observa que la 1ra siembra acumula mayor número de grados días llegando a la máxima cobertura vegetal a los 700 °UC después de la siembra y la que desarrollo en menor número de grados día es la 3ra siembra.

c) Senescencia

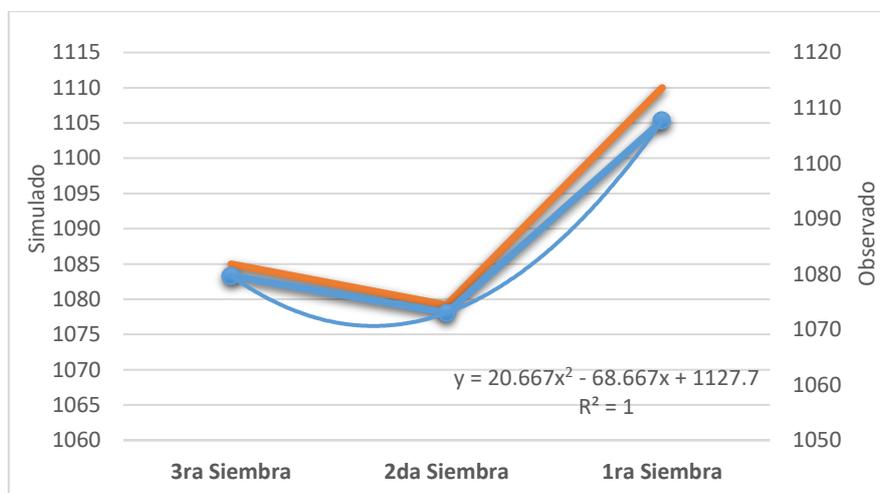


Figura 23. °UC Senescencia Observado y simulado

En la figura 23 se muestra que los datos simulados en la 3ra siembra son diferentes de los observados en campo al igual que en la cantidad de grados día que requirió en las diferentes épocas de siembra. la ecuación muestra la diferencia que existió en la senescencia. requiriendo mayor porcentaje de temperatura en la 1ra época de siembra.

La acumulación de temperatura por épocas de siembra va variando de acuerdo al desarrollo de cada parcela. ya que cada una es diferente de la otra incluyendo el manejo.

d) Maduración

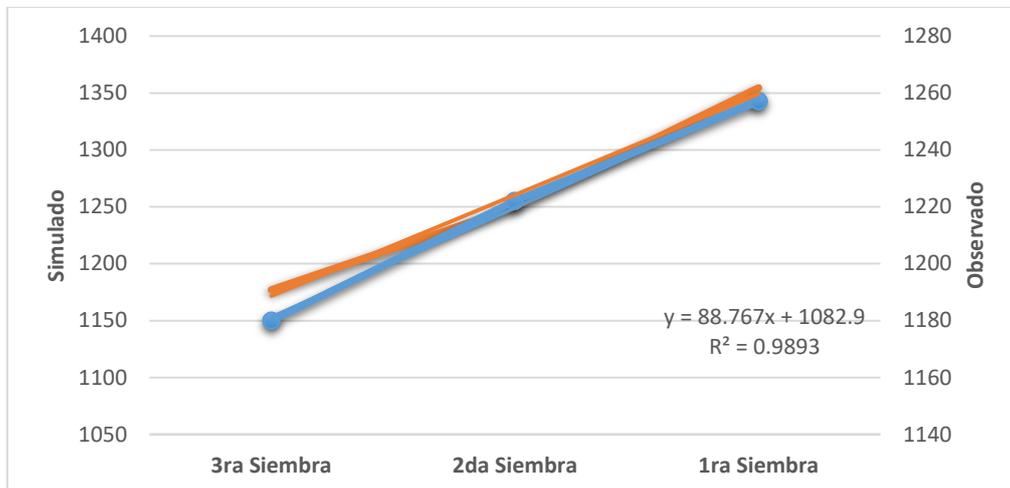


Figura 24. °UC Maduración del cultivo de papa

En la figura 24 se observa que para la maduración no existe diferencias significativas. las parcelas en seguimiento y las simuladas con el AquaCrop tienen un comportamiento similar al observado lo que describe que las parcelas en la última fase de desarrollo obtuvieron similar número de grados días a la maduración.

e) Análisis de desarrollo de biomasa

En el desarrollo de biomasa se analizó cada parcela en seguimiento introduciendo datos al AquaCrop de cada una obteniendo rendimiento similar a los observados en campo.

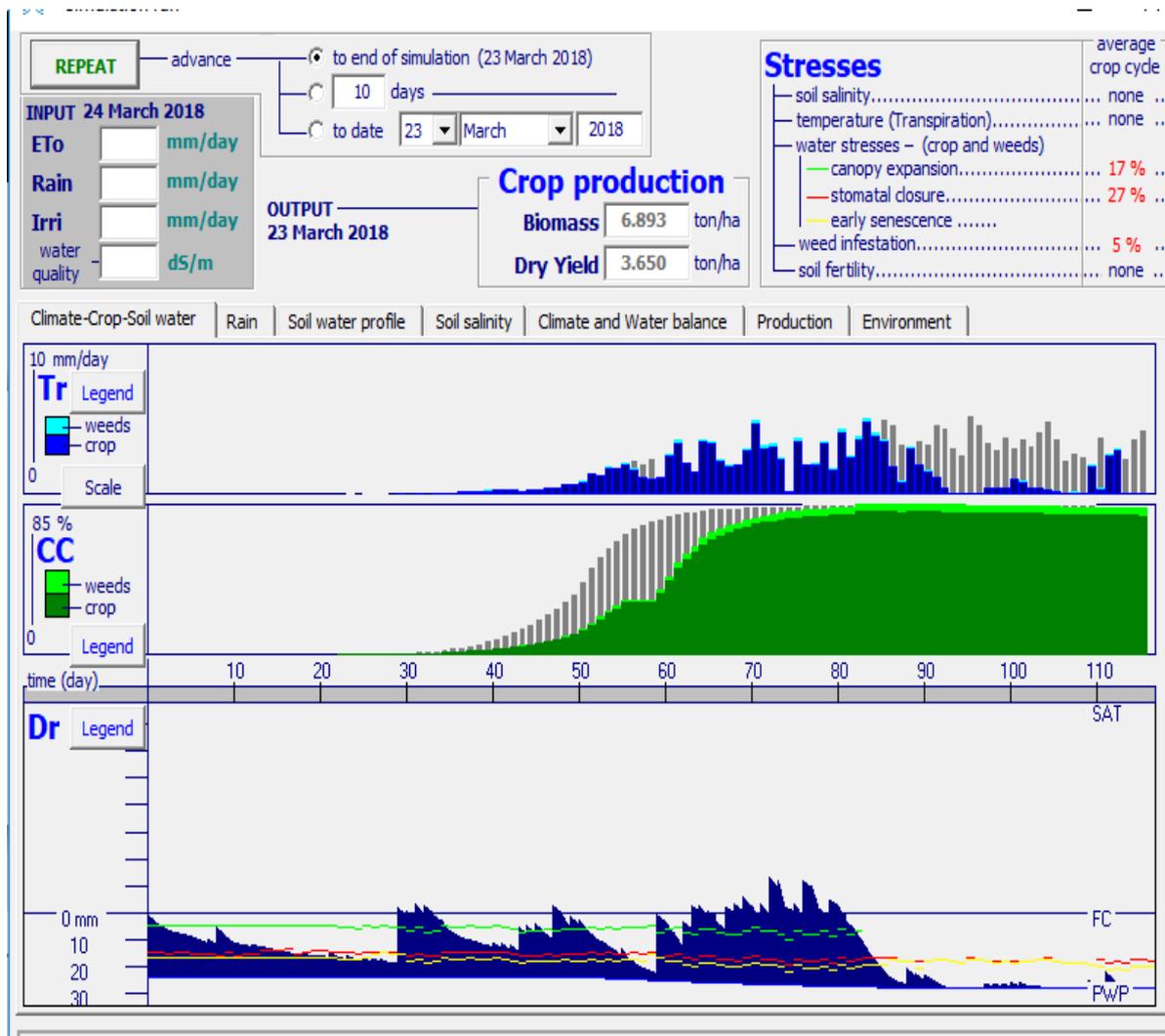


Figura 25. Salidas AquaCrop. fecha de maduración. rendimiento y comportamiento de la cobertura vegetal.

AquaCrop determina la biomasa o materia seca (MTS) formada y el rendimiento del cultivo en la fecha de cosecha el rendimiento es obtenido aplicando el HI ajustado según las condiciones en las que llega el cultivo al momento de la cosecha y unos factores de corrección que dependen de la duración y el momento de cosecha. figura 25.

Los resultados de las simulaciones con AquaCrop de la biomasa. el rendimiento del cultivo y por tanto el HI promedio por parcela obtenido de las mediciones de campo efectuadas en la fecha de cosecha de las parcelas en evaluación.

Cuadro 26. Rendimiento Observado y Simulado

CODIGO	Fecha de siembra	Rdto Simulado MTS	Rdto Observado MTS
1Y2PIñG-I	25/11/2017	2.49	1.74
1PIñJ-C	27/11/2017	3.86	3.92
1PSaH-C	16/11/2017	2.67	2.16
1PInL-C	19/11/2017	1.3	0.87
1PIñG-C	12/11/2017	3.44	4.23
1PSaC-C	11/11/2017	1.41	1.51
1PInP-C	12/11/2017	1.34	1.43
1PInR-C	15/11/2017	2.64	2.32
1PIñW-C	11/11/2017	1.8	1.83
1PSaE-I	4/11/2017	2.9	2.60
1PInT-I	5/11/2017	1.24	1.23
1PInE-C	27/10/2017	2.21	2.46

En el cuadro 26 se observan los datos de rendimiento observados y simulados en materia seca y las fechas de siembra de cada parcela en seguimiento en el cuadro se observan que el MTS no existe mucha diferencia a lo observada. excepto la parcela 1PIñG-C el rendimiento observado es mayor al simulado.

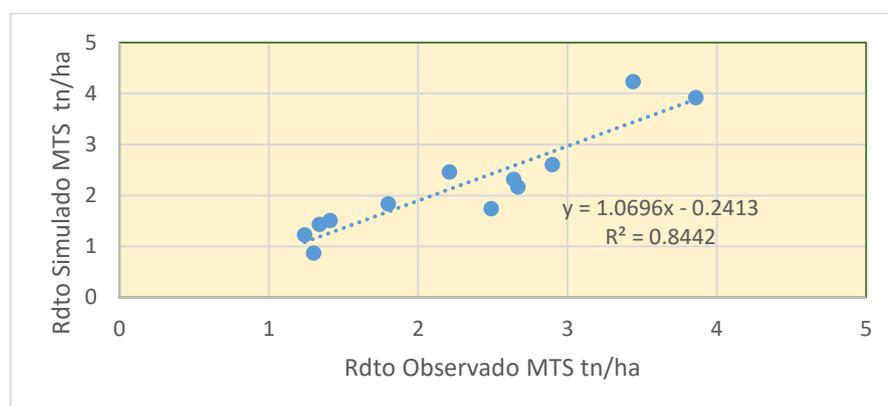


Figura 26. Rendimiento MTS

En la figura 26 muestra los datos de rendimientos simulados y observados en MTS el valor de r^2 nos muestra datos significativos en rendimiento los simulados son similares a los observados, por lo cual se describe que con los datos calibrados en AquaCrop se llegan a obtener rendimientos similares a los de campo.

6.4.3 Datos y parámetros de simulación del cultivo de papa calibrada y validada con AquaCrop

Como resultados de todo el proceso de calibración y validación del modelo. en la Cuadro 27 se relacionan todos los parámetros conservativos requeridos en el módulo de cultivo y sus valores utilizados para la simulación en el clima del municipio de Umala.

Cuadro 27. Parametrización del cultivo de la papa en el municipio de Umala para AquaCrop

Descripción	Valor	Unidades
Fenología		
Emergencia (emerg. GDD o fecha)	282	°C
Máxima profundidad radicular (Dmax. GDD)	773	°C
Inicio de tuberización- comienzo del llenado de los tubérculos (Ini tub. GDD)	558	°C
Fin de crecimiento vegetativo-inicio de senescencia (Ini sen. GDD)	1087	°C
Madurez-cosecha (GDD o fecha)	1262	°C
Máximo grado de cobertura vegetal (Dcc. GDD)	773	°C
Desarrollo del cultivo		
densidad de plantación (Dens plantas m ²)	5.8	Plantas m ²
Profundidad de plantación (Zplan)	0.20	M
Grado de cobertura inicial (CC□.% o fracción)	0.59	%
Máxima profundidad radicular (Zmax. m)	0.40	M
Máximo grado de cobertura vegetal (CCx)	90	%
Temperatura base (Tb °C)	2.0	°C
Temperatura superior (T sp °C)	26	°C
Tamaño de cobertura inicial por semilla (CC)	10	cm ² planta
Coefficiente de crecimiento de la cubierta (CGC)	0.0149	°C
Coefficiente de senescencia de la cubierta (CDC)	0.0038	°C día
Transpiración		
Máxima extracción hídrica radicular (Trx)	10	mm día
Extracción por horizonte (T hori)	30-20-10	%
Coefficiente de transpiración del cultivo (kcbx)	1.15	-
Sombreamiento de la cubierta en la última estación (Scs)	60	%
Crecimiento del cultivo formación del rendimiento		
Productividad de agua (WP. g m ²)	19.0	g m ²

6.5 Costos de producción y rentabilidad económica

Al obtener el rendimiento de las parcelas, también se registraron los costos de producción para cada uno de las comunidades, es por eso que se realizó un análisis ANVA de los rendimientos obtenidos en campo. Para posteriormente realizar el análisis económico.

6.5.1 Rendimiento

La cosecha se realizó manualmente abriendo los surcos con la picota y recogiendo manualmente. Inicialmente se cosecharon las plantas marbeteadas, para realizar el estudio de categorización de los tubérculos posteriormente la cosecha se realizó de las unidades experimentales pesando el total de unidades de la producción.

Los resultados de las unidades experimentales nos muestran que las parcelas con mayor rendimiento son de la comunidad de Ñacamaya llegando a un rendimiento de 13 tn/ha. en la comunidad de Sabilani con un promedio de 8 tn/ha. la comunidad con un menor rendimiento fue la de Incamaya con un rendimiento promedio de 6 tn/ha.

Para un análisis comparativo más eficiente. se realizó el análisis de varianza para la variable rendimiento (ver cuadro 26). que nos indica que existen diferencias significativas entre muestras y repeticiones. con un coeficiente de variación de 19.45 que se encuentra dentro de los parámetros estadísticos de evaluación.

Cuadro 28. Análisis de varianza para rendimiento entre Comunidades

F.V.	SC	GL	CM	Fc	F tab		Sig
					5%	1%	
Comunidad	66.02	2	33	10	4.46	8.65	**
Error	26.74	8	3				
Total	225.56	11					

**= Altamente significativo; *=Significativo; NS= No significativo

Mediante las comparaciones de medias tukey (cuadro 29) podemos observar que existe diferencias entre la comunidad Ñacamaya con un rendimiento de 12.71 tn/ha mientras que la parcela con menor rendimiento es la de Incamaya 7.63 tn/ha. lo cual nos muestra que existen comportamientos diferentes entre Comunidades.

Cuadro 29. Prueba de medias para rendimiento.

Comunidad	Medias	N	E.E.	Tukey
Iñacamaya	12.71	4	0.91	A
Incamaya	7.80	5	0.82	B
Sabilani	7.63	3	1.07	B

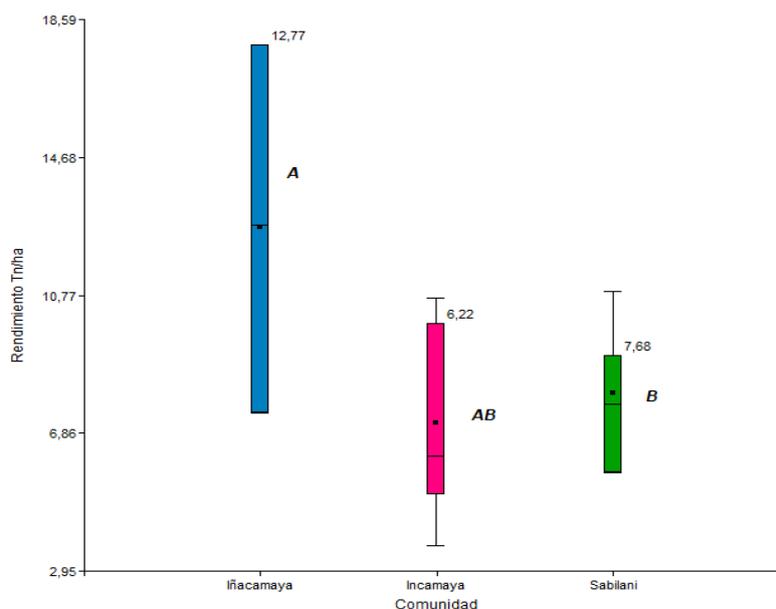


Figura 27. Comparación de medias Tukey para rendimiento entre Comunidades Zabala, (2012) estudio el comportamiento productivo de tres variedades de papa provincia Aroma, se determinó que la variedad Sani imilla (17.94 tn/ha), la variedad Huaycha (16.53 tn/ha) y por ultimo un promedio inferior para la variedad Desiree (7.85 tn/ha).

En comparación al estudio realizado en la variedad huaycha nos muestra que el rendimiento promedio en las comunidades en estudio es de 9 tn/ha, a diferencia con el estudio de Zabala el comportamiento de la campaña agrícola 2017-2018 fue muy diferente.

Realizando otro análisis entre épocas de siembra el comportamiento de las parcelas también se dio de diferente manera, en el análisis de varianza realizado nos muestra que no es significativo el rendimiento entre las épocas de siembra, el coeficiente de variación es de 48.3.

El rendimiento obtenido en las 3 épocas es similar por lo cual no existen diferencias en el rendimiento por épocas de siembra en cambio por parcelas el rendimiento vario de diferentes maneras teniendo rendimientos de 5 a 17 tn/ha por productores. En el cuadro 30 se muestra el análisis ANVA de rendimiento.

Cuadro 30. Análisis de varianza para rendimiento entre épocas de siembra

F.V.	SC	GL	CM	Fc	F tab		Sig
					5%	1%	
Época de Siembra	4,77	2	2	0	4.74		NS
Error	160,93	7	23				
Total	165,70	9					

**= Altamente significativo; *=Significativo; NS= No significativo

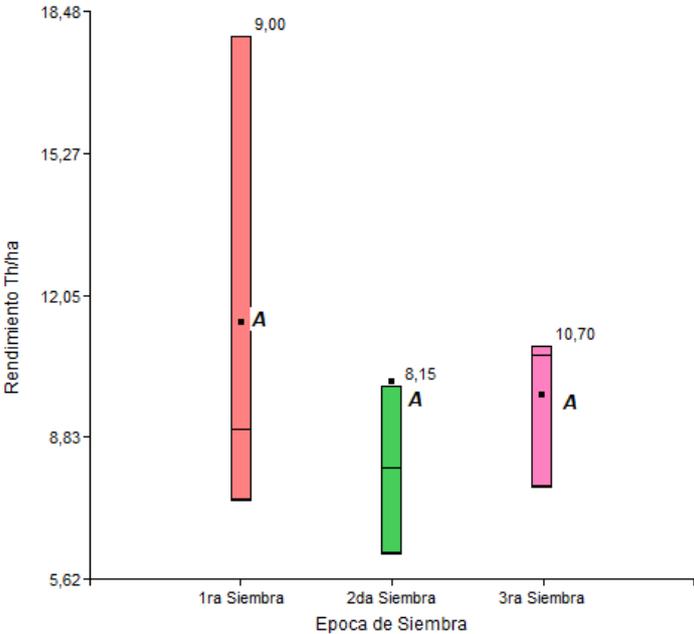


Figura 28. Comparación de medias tukey entre épocas de siembra.

En la comparación de medias tukey de la figura 28 nos muestra que no es significante entre épocas de siembra que el rendimiento en las parcelas se comportó en un promedio de igual manera.

6.5.2 Calculo de los costos de producción y la rentabilidad económica

Para la estimación de los costos de producción se registraron costos fijos y variables durante la producción desde el momento de la siembra hasta la cosecha registrando gastos realizados durante todo el ciclo de producción.

En el Cuadro 31 se observa la estructura de los costos fijos utilizados para la producción del cultivo de papa incluyendo los cálculos de la depreciación de los equipos utilizados.

Cuadro 31. Estructura de los costos fijos de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Ñacamaya.

1. CALCULO DE LOS COSTOS FIJOS						
A. CALCULO DE LA DEPRECIACION						
DETALLE	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	AÑO DE VIDA UTIL	DEPRECIACION ANUAL
1.1. Herramientas del cultivo				1700.00		350.00
Picota	pza.	70.00	10	700.00	7	100.00
Mochila fumigadora	pza.	450.00	2	900.00	4	225.00
Bastidor de cobertura vegetal	pza.	100.00	1	100.00	4	25.00
1.2. Herramientas de la estación meteorológica				3475.00		347.50
GPS	pza.	3475.00	1	3475.00	10	347.50
TOTAL DEPRECIACION ANUAL				5175.00		697.50
NUMERO DEL MES DEL AÑO				12.00		12.00
TOTAL DEPRECIACION MENSUAL				431.25		58.13
COSTO FIJO TOTAL DEL CICLO DE PRODUCCION				2587.50		348.75

En el cuadro 32 se muestra los costos variables para la producción de papa de la comunidad de Ñacamaya, costos estimados en semilla, abonos fertilizantes y labores culturales.

Cuadro 32. Estructura de los costos variables de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Iñacamaya.

2.CALCULO DE LOS COSTOS VARIABLES						
CALCULO DEL COSTO VARIABLE DIRECTOS E INDIRECTOS						
<i>DETALLE</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>PRECIO UNITARIO</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>COSTO TOTAL</i>	<i>CANTIDAD PRODUCIDA qq(46 kg)</i>	<i>COSTO UNITARIO</i>
A. COSTOS VARIABLES DIRECTOS (BOB ha⁻¹)				6875		159.88
2.1. Insumos				3225		75.00
Semillas waycha	@	20.00	24	480	43	11.16
Fertilizantes (fosfato)	Qq	370.00	4	1480	43	34.42
Fertilizantes (urea)	Qq	280.00	4	1120	43	26.05
Plaguicidas (karate)	250cc	105.00	1	105	43	2.44
Cubretane	Cc	20.00	1	20	43	0.47
Nitrofosca	Cc	20.00	1	20	43	0.47
2.2. Alquiler de maquinaria				1000		23.26
Roturado	hrs/Tractor	100.00	4	400	43	9.30
Alquiler de tractor (siembra)	hrs/Tractor	150.00	3	450	43	10.47
Aporque	hrs/Tractor	150.00	1	150	43	3.49
2.3. Mano de obra				2650		61.63
Poner semilla	1/2/ día	50.00	3	150	43	3.49
Incorporación de estiércol	Jornal	80.00	3	240	43	5.58
Aplicación de insecticida	Jornal	80.00	2	160	43	3.72
Cosecha (siega)	Jornal	150.00	15	2250	43	52.33
B. COSTOS VARIABLES INDIRECTOS (BOB ha⁻¹)				30.00		0.70
Imprevistos (10%)	Bs	300.00	1	30	43	0.70
C. COSTO DE COMERCIALIZACION (BOB ha⁻¹)				196		4.56
Transporte	Qq	98.00	2	196	43	4.56
COSTO TOTAL VARIABLE (A+B+C) (BOB ha⁻¹)				7101.00		165.14

En la campaña agrícola 2017-2018 los precios de la papa bajaron demasiado debido a la mayor oferta en el mercado, en función a estas consideraciones, se

muestra el cálculo del precio unitario de la clasificación del cultivo de papa y el margen de ganancia según la cantidad de quintales obtenidos ver cuadro 33.

Cuadro 33. Ingreso total cultivo de papa para la comunidad de Iñacamaya

3. CALCULO DEL INGRESO TOTAL (ingreso bruto)						
	Primera	Segunda	Tercera	Semilla	Chuño	Autoconsumo y regalo
PRECIO UNITARIO DEL PRODUCTO (qq/Bs)	100	88	60	48	280	60
CANTIDAD PRODUCIDA (qq)	20.0	25.0	30.0	8	15.0	5.0
TOTAL INGRESO (Bs)	2.000	2.200	1.800	360	4200	300

En el cuadro 33 se muestra el ingreso total de la producción por ha en la comunidad de Iñacamaya donde se observa que, según la categorización del cultivo de papa, existió más de la segunda categoría y la otra que era para la transformación de chuño.

Cuadro 34. Rentabilidad económica y el benéfico costo de la comunidad Iñacamaya

4. CALCULO DE LA RENTABILIDAD	
GANANCIA	1241.50
COSTO TOTAL	9618.50
RENTABILIDAD %	13
5. CALCULO DE BENEFICIO/COSTO	
INGRESO TOTAL	10860.00
COSTO TOTAL	9618.50
CALCULO DE B/C	1.1

En el cuadro 34 muestra la relación beneficio- costo 1.1 obtenida para la producción de papa en la comunidad de Iñacamaya. es equivalente a; lo que significa que por cada boliviano que se invierte para la producción de papa se obtiene 0.1 Bs considerando todos los costos e ingresos de producción al cien por ciento de producción.

En el año agrícola 2017-2018 el beneficio-costo de producción del mismo cultivo fue 1.1; en donde la ganancia solo es un 0.1 Bs. por lo tanto el productor no tiene

mayores ganancias. por la influencia climática. los riesgos son elevados en las actividades productivas. reduciendo el rendimiento de los cultivos y el beneficio-coste se va disminuyendo. en la comunidad.

Sin embargo, la rentabilidad es del 13% lo que significa que existen ganancias a pesar de la mayor oferta en el mercado la producción de este cultivo sigue siendo rentable.

Cuadro 35. Estructura de los costos fijos de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Sabilani.

1.CALCULO DE LOS COSTOS FIJOS						
A. CALCULO DE LA DEPRECIACION						
DETALLE	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	AÑO DE VIDA UTIL	DEPRECIACION ANUAL
1.1. Herramientas del cultivo				2050.00		400.00
Picota	pza.	70.00	15	1050.00	7	150.00
Mochila fumigadora	pza.	450.00	2	900.00	4	225.00
Bastidor de cobertura vegetal	pza.	100.00	1	100.00	4	25.00
1.2. herramientas de campo				3475.00		347.50
GPS	pza .	3475.00	1	3475.00	10	347.50
TOTAL DEPRECIACION ANUAL				5525.00		747.50
NUMERO DEL MES DEL AÑO				12.00		12.00
TOTAL DEPRECIACION MENSUAL				460.42		62.29
CICLO DE PRODUCCION (MES)				6.00		6.00
COSTO FIJO TOTAL DEL CICLO DE PRODUCCION				2762.50		373.75

Cuadro 36. Estructura de los costos variables de producción de una hectárea de papa expresado en Bs para la comunidad de Sabilani.

2.CALCULO DE LOS COSTOS VARIABLES						
CALCULO DEL COSTO VARIABLE DIRECTOS E INDIRECTOS						
DETALLE	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL	CANTIDAD PRODUCIDA qq(46 kg)	COSTO UNITARIO
A. COSTOS VARIABLES DIRECTOS (BOB ha⁻¹)				10485		243.84
2.1. Insumos				6045		140.58
Semillas waycha	qq	240.00	10	2400	43	55.81
Abono	carga	15.00	60	900	43	20.93
Fertilizantes (fosfato)	qq	370.00	4	1480	43	34.42
Fertilizantes (urea)	qq	280.00	4	1120	43	26.05
Plaguicidas (karate)	250cc	105.00	1	105	43	2.44
Cubretane	cc	20.00	1	20	43	0.47
Nitrofosca	cc	20.00	1	20	43	0.47
2.2. alquiler de maquinaria				1300		30.23
Roturado	hrs/Tractor	100.00	4	400	43	9.30
Alquiler de tractor (siembra)	hrs/Tractor	150.00	4	600	43	13.95
Aporque	hrs/Tractor	150.00	2	300	43	6.98
2.3. Mano de obra				3140		73.02
Poner semilla	1/2/ dia	50.00	3	150	43	3.49
Incorporación de estiércol	jornal	80.00	3	240	43	5.58
Aplicación de insecticida	jornal	100.00	2	200	43	4.65
Cosecha (manual)	jornal	150.00	18	2700	43	62.79
B. COSTOS VARIABLES INDIRECTOS (BOB ha⁻¹)				30.00		0.70
Imprevistos (10%)	Bs	300.00	1	30	43	0.70
C. COSTO DE COMERCIALIZACION (BOB ha⁻¹)				80		1.86
Venta de la producción	jornal	0.00		0		0.00
COSTO TOTAL VARIABLE (A+B+C) (BOB ha⁻¹)						10515.00

En el cuadro 37 se observan los costos fijos y variables de la comunidad de Sabilani donde, depreciación de materiales utilizados y los costos realizados durante la producción del cultivo de papa.

Cuadro 37. Ingreso total para la producción de una hectárea de papa expresada en bs para la comunidad de Sabilani.

3. CALCULO DEL INGRESO TOTAL (ingreso bruto)					
	Primera	Segunda	Semilla	Chuño	Autoconsumo y regalo
PRECIO UNITARIO DEL PRODUCTO (qq/Bs)	100	88	48	240	60
CANTIDAD PRODUCIDA (qq)	41.0	37.0	30	18.0	8.0
TOTAL INGRESO (Bs)	4.100	3.256	1.440	1440	4320

En el cuadro 37 se observan los ingresos totales de las ventas realizadas según la categorización.

En el cuadro 38 se observa el benéfico costo y la rentabilidad acumulada en la producción del cultivo en la comunidad de Sabilani.

Cuadro 38. Beneficio costo y rentabilidad económica de la comunidad de Sabilani.

4. CALCULO DE LA RENTABILIDAD	
GANANCIA	3213.50
COSTO TOTAL	11342.50
RENTABILIDAD %	28
5. CALCULO DE BENEFICIO/COSTO	
INGRESO TOTAL	14556.00
COSTO TOTAL	11342.50
CALCULO DE B/C	1.3

En la Cuadro 38 muestra la relación beneficio- costo obtenida para la producción de papa en la comunidad de Sabilani. es equivalente a 1.3; lo que significa que por cada boliviano que se invierte para la producción de papa se obtiene 0,3 Bs considerando todos los costos e ingresos de producción al cien por ciento de producción.

En el año 2018 beneficio-costo de producción del mismo cultivo fue 1.3; en donde la ganancia es 0.3 Bs. por lo tanto el productor tiene mayores ganancias. en comparación con la comunidad de Ñacamarca que no tiene mayores ganancias teniendo una diferencia de 0.2 bs de diferencia. el beneficio costo de esta

comunidad no incluye costos en transporte debido a que los compradores mayoristas ingresan a realizar la compra.

Que en comparación de la comunidad de Ñacamaya no son tan dedicados a la producción de papa son más dedicados al rubro de la ganadería.

Cuadro 39. Estructura de Costos fijos para la Producción de una Hectárea de papa (Expresado en Bs) para la comunidad de Incamaya

1.CALCULO DE LOS COSTOS FIJOS						
A. CALCULO DE LA DEPRECIACION						
DETALLE	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL	AÑO DE VIDA UTIL	DEPRECIACION ANUAL
1.1. herramientas del cultivo				2050.00		400.00
Picota	pza.	70.00	15	1050.00	7	150.00
Mochila fumigadora	pza.	450.00	2	900.00	4	225.00
bastidor de cobertura vegetal	pza.	100.00	1	100.00	4	25.00
1.2. herramientas de la estación meteorológica				13900.00		1985.71
estación meteorológica	pza.	13900.00	1	13900.00	7	1985.71
TOTAL DEPRECIACION ANUAL				15950.00		2385.71
NUMERO DEL MES DEL AÑO				12.00		12.00
TOTAL DEPRECIACION MENSUAL				1329.17		198.81
CICLO DE PRODUCCION (MES)				6.00		6.00
COSTO FIJO TOTAL DEL CICLO DE PRODUCCION				7975.00		1192.86

Cuadro 40. Estructura de Costos fijos para la Producción de una Hectárea de papa
(Expresado en Bs) para la comunidad de Incamaya

2.CALCULO DE LOS COSTOS VARIABLES						
CALCULO DEL COSTO VARIABLE DIRECTOS E INDIRECTOS						
DETALLE	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL	CANTIDAD PRODUCIDA qq(46 kg)	COSTO UNITARIO
A. COSTOS VARIABLES DIRECTOS (BOB ha⁻¹)				10495		244.07
2.1. Insumos				5945		138.26
Semillas waycha certificada	Qq	230.00	10	2300	43	53.49
Abono	Carga	15.00	60	900	43	20.93
Fertilizantes (fosfato)	Qq	370.00	4	1480	43	34.42
Fertilizantes (urea)	Qq	280.00	4	1120	43	26.05
Plaguicidas (karate)	Cc	105.00	1	105	43	2.44
Cubretane	Cc	20.00	1	20	43	0.47
Nitrofosca	Cc	20.00	1	20	43	0.47
2.2. alquiler de maquinaria				1150		26.74
Roturado	hrs/Tractor	100.00	4	400	43	9.30
Alquiler de tractor (siembra)	hrs/Tractor	150.00	4	600	43	13.95
Aporque	hrs/Tractor	150.00	1	150	43	3.49
2.3. Mano de obra				3400		79.07
Poner semilla	1/2/ día	50.00	3	150	43	3.49
Incorporación de estiércol	Jornal	80.00	3	240	43	5.58
Aplicación de insecticida	Jornal	80.00	2	160	43	3.72
Cosecha (siega)	Jornal	150.00	20	3000	43	69.77
B. COSTOS VARIABLES INDIRECTOS (BOB ha⁻¹)				30.00		0.70
Imprevistos (10%)	Bs	300.00	1	30	43	0.70
C. COSTO DE COMERCIALIZACION (BOB ha⁻¹)				0		0.00
COSTO TOTAL VARIABLE (A+B+C) (BOB ha⁻¹)				10525.00		244.77

Cuadro 41. Ingreso Total de la Producción de una Hectárea de papa (Expresado en Bs) para la comunidad de Incamaya.

3. CALCULO DEL INGRESO TOTAL (ingreso bruto)				
	Mercado Patacamaya	Semilla	Chuño	Autoconsumo
PRECIO UNITARIO DEL PRODUCTO (qq/Bs)	100	80	200	80
CANTIDAD PRODUCIDA (qq)	50.0	40.0	37.0	12
TOTAL INGRESO (Bs)	5.000.00	3.200.00	7.400.00	960.00

Cuadro 42. Calculo beneficio costo y rentabilidad económica.

9. CALCULO DE LA RENTABILIDAD	
GANANCIA	3649.29
COSTO TOTAL	12910.71
RENTABILIDAD %	28
10. CALCULO DE BENEFICIO/COSTO	
INGRESO TOTAL	16560.00
COSTO TOTAL	12910.71
CALCULO DE B/C	1.3

En el cuadro 42 muestra a relación beneficio-costo obtenida para la producción de papa de la comunidad de Incamaya. es equivalente a 1.3; lo que significa que por cada boliviano que se invierte para la producción de papa se obtiene 0.4 Bs considerando todos los costos e ingresos de producción al cien por ciento de producción.

La rentabilidad obtenida por una hectárea es del 28% considerando aun cien por ciento. en la comunidad de Incamaya del municipio de Umala.

En el año 2018 beneficio-costo de producción del mismo cultivo fue 1.3; en donde la ganancia es 0.3 Bs. por lo tanto el productor no obtiene mayores ganancias debido a que algunas parcelas se vieron afectadas por el daño causada por la helada dl 19 de febrero de afecto al rendimiento del cultivo. otro factor que afecto también fue la cantidad de producción de papa gestión agrícola 2017-2018 teniendo mayor oferta en el mercado del cultivo de papa y menor demanda por parte del consumidor.

En comparación con las 3 comunidades en estudio la que presenta mayor beneficio son las comunidades Incamaya y Sabilani, obteniendo una rentabilidad de 28 % y la comunidad con menor rentabilidad es la comunidad de Ñacamaya con tan solo 13%, se considera que la zona es más considerada ganadera.

Cuadro 43. Relación B/C y rendimiento expresado en tn/ha

RENDIMIENTO Tn/ha	RELACION B/C
6.63	1.13
5	0.85
4.4	0.75
6.6	1.12
7	1.19
5.9	1.01
3.8	0.65

En el cuadro 43 se observa el comportamiento del rendimiento del cultivo de papa en las 3 comunidades del municipio de Umala, versus la relación beneficio costo en el cual se observa el punto de equilibrio en donde se empiezan a generar ganancias y pérdidas, es a partir del rendimiento de 5.9 tn/ha que se empiezan a generar ganancias, como las ganancias de la comunidad de Incamaya y Sabilani eran posterior a 6 tn/ha, existía rentabilidad en ambas comunidades.

Cuadro 44. Relación B/C y precio de venta expresado en bolivianos

PRECIO DE VENTA Bs (el quintal)	RELACION B/C
60	0.91
67	1.01
80	1.21
90	1.36
100	1.51
110	1.66

En el cuadro 44 se observa el comportamiento de la relación beneficio costo y el precio de venta de la papa donde nos indica que el punto de equilibrio se encuentra en el precio de 67bs el quintal, lo que nos indica que por encima de este precio ya se generan mayores ingresos y la relación b/c también es mayor, en relación de ganancias en las comunidades la que tiene mayores ganancias es la comunidad de Incamaya y Sabilani, puesto que estas comunidades son más productoras de papa en cambio la comunidad de Ñacamaya son productores más dedicados a la ganadería.

7 CONCLUSIONES

El propósito de la investigación fue determinar la acumulación de °GD grados días que requiere el cultivo de papa en todas sus fases fenológicas de papa desde la emergencia hasta la madurez fisiológica. Para poder determinar un desarrollo óptimo se realizó el seguimiento en campo y también se realizó la simulación con AquaCrop evaluando los rendimientos por épocas de siembra.

De acuerdo al análisis y discusión de los resultados obtenidos. se llegó a las siguientes conclusiones:

Existen diferencias entre épocas de siembre, las 1ra es la que acumulo mayor número de grados días para llegar a la madurez fisiológica, en cambio la tercera época fue la que requiere menor grados días para llegar a la madurez de la papa.

AquaCrop genera parámetros que se ajustan al comportamiento de las zonas en estudio por ello los datos simulados en AquaCrop y datos de campo tienen correlación de 0,89 para la madurez fisiológica.

AquaCrop demostró que con los valores del cuadro 27 añadidos al modelo se pudo conseguir establecer la relación necesaria para que se pueda ver la acumulación de grados día. De esta forma. con la introducción y la demás información requerida por el modelo. se puede comprobar que el modelo es capaz de simular diferentes escenarios de las parcelas en evaluación.

La confiabilidad de la calibración queda demostrada a través de los diferentes índices estadísticos que señalan que las simulaciones para el cultivo de papa (variedad huaycha) en diferentes etapas de siembra los rendimientos del programa son similares a los datos obtenidos en campo.

El modelo puede simular de muy buena manera el comportamiento de la biomasa del cultivo. el rendimiento final esperado bajo diferentes condiciones y de la misma forma el contenido de humedad en el suelo.

Con respecto a los costos de producción la comunidad que obtiene mayor relación beneficio costo fueron las comunidades de Incamaya y Sabilani obteniendo mayores ganancias por 1 bs que se invierte se gana 0.3 bs. Los eventos extremos como la sequía, heladas y granizadas están contrarrestados la producción en algunas parcelas con bajos rendimientos de los cultivos y el Beneficio-Costo se reduce en la economía del productor.

8 RECOMENDACIONES

Para realizar un análisis más detallado de las parcelas se recomienda realizar seguimiento riguroso a las parcelas en evaluación.

El modelo AquaCrop cuenta con una variable no estudiada todavía, que es el efecto del estrés por salinidad. Este podría ser medido en campo, bien por la concentración de sales en el suelo como en el agua de riego. Para luego introducir esas variables al modelo y medir la eficiencia del mismo, como también su interacción con otros tipos de estrés.

Para las salidas AquaCrop es recomendable utilizar la acumulación de grados días para tener datos parecidos a los de campo.

Por medio de medidas económicas se puede determinar las ganancias que puede percibir una comunidad. A través del buen uso de los recursos naturales para la producción de papa.

Podría correrse el modelo bajo diferentes condiciones ocurridas en un largo registro y evaluar la variabilidad y probabilidad de lograr un mayor o menor beneficio.

9 REVISION BIBLIOGRAFICA

Acarapi Sanchez, V. (2013). *INFLUENCIA DE LA PLASTICIDAD DE LA QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.) SOBRE SU CONSTANTE TÉRMICA EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO.*

Bejarano, A. (2012). CONSULTORIA SOCIOECONOMICA, 10–17.

Butron, C. (2013). *EVALUACION MICROCLIMATICA DE LOS PRINCIPALES INDICADORES NATURALES PARA EL PRONOSTICO DEL CLIMA EN EL MUNICIPIO DE UMALA.* Universidad Mayor de San Andres.

Canqui, F. (2009). *Conocimiento Local en el Cultivo de la Papa.* Cochabamba, Bolivia.

Cortés Bello, C. (2013). Uso del modelo aquacrop para estimar rendimientos para el cultivo de papa en los departamentos de cundinamarca y boyacá, 1, 63.

Choque, (2013) Contabilidad de costos.1999.3ed.Marta Edna Zuáres R. Santafé de Bogotá, Colombia.896p.

Cussi Cabrera, M (2017) CALCULO DE COSOTOS AGROPECUARIOS ESTUDIO DE MERCADO AROPECUARIO ESTUDIO SOCIO ECONOMICO AADMNISTRACION AGROPECUARIA. Instituto de Investigacion y Capacitacion en Ciencias Administrativas (ICCA) La Paz Bolivia.

Fajardo, H. (2015). *ANÁLISIS DE DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN VARIOS REGÍMENES HÍDRICOS EN EL CULTIVO DE QUINUA (Chenopodium quinoa WILLD.) BAJO EL MODELO AQUACROP PARA EL ALTIPLANO BOLIVIANO.* Univerddidad Mayor de San Andres.

Flores-Magdaleno, H., Flores-Gallardo, H., & Ojeda-Bustamante, W. (2014). PREDICCIÓN FENOLOGICA DEL CULTIVO DE PAPA MEDIANTE TIEMPO TERMICO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 149–157. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000338177000006

Flores-Magdaleno, H., Flores-gallardo, H., & Ojeda-bustamante, W. (2014). PREDICCIÓN FENOLOGICA DEL CULTIVO DE PAPA MEDIANTE TIEMPO TÉRMICO PHENOLOGICAL PREDICTION OF POTATO CROP BY MEANS OF THERMAL TIME. *PHENOLOGICAL PREDICTION OF POTATO CROP*

BY MEANS OF THERMAL TIME, 37(2), 9.

Gabriel, J., Perreira, R., & Gandarillas, A. (2011). *Nuevas Variedades de Papa en Bolivia*. (J. Franco, C. L. Villaroel, & E. Gandarillas, Eds.). Cochabamba, Bolivia.

Gastiazoro, J. (2007). Fenología Agrícola. *Facultad de Ciencias Agrarias, II*, 13.

González, M., & Estévez, A. (2007). ORIGEN, EVOLUCIÓN Y MIGRACIÓN. In *EL CULTIVO DE LA PAPA* (pp. 3–8). Cuba.

Goyal, M. R., & Ramirez, V. H. (2005). *Elementos de Agroclimatología*. (UNIVERSIDAD DE SANTA ROSA DE CABAL, Ed.). Santa Rosa de Cabal - Risaralda - Colombia.

Hernandez, L. (1993). La agroclimatología, instrumento de planificación agrícola. *GEOGRAPHICALIA* (1993), 30, 213–228.

Hernandez S., R, Fernandez C., C, Baptista L., M. (2010). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION* (Quinta edi). D.F. Mexico.

Martínez, S. (2017). *Fenología Agrícola Teoría Climatología y Fenología Agrícola*. Alemania.

Montoya, F. (2013). *CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELOS PARA LA SIMULACIÓN DE PATATA (Solanum tuberosum L .)*. UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL Y TECNOLOGÍA AGRARIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS DE ALBACETE TESIS.

PDM, U. 2013-2017. (2017). PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL DE UMALA 2013-2017.

PASCALO, J. y DAMARIO, E., 2004. Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología. (en línea). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina.

Quiroga Aguilar, J. G. (2008). *EFEECTO DE TRES EPOCAS DE SIEMBRA Y USO DE VARIETADES DE PAPAS COMO OPCIONES DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO EN LA COMUNIDAD DE VILUYO, PROVINCIA MANCO KAPAC, DPTO. DE LA PAZ*. Universidad Mayor de San Andres.

- Raes, D. (2017). *AquaCrop training handbooks Book I . Understanding AquaCrop*.
- Santacoloma-varón, L. E. (2015). Importancia de la economía campesina en los contextos contemporáneos : una mirada al caso colombiano *, 11(2), 38–50.
- Steduto, P. (2011). Yield response to water of herbaceous crops: the AquaCrop simulation model. *AquaCrop Simulation Model Editors*.; 9.
- Theodoracopoulos, M., Arias, S., & Avila, H. (2008). PRODUCCIÓN DE PAPA. In *MANUAL DE PRODUCCIÓN PRODUCCIÓN* (p. 95). Honduras: Septiembre 2008. Retrieved from www.hondurasag.org
- Torralba Medina, D. L. (2014). *EVALUACION DE LAS TECNICAS Y CAPACIDADES LOCALES CONTRA LOS RIESGOS CLIMATICOS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO EN TRES COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE UMALA*. Universidad Mayor de San Andres.
- Verónica, A., & Morales, R. (2012). Los desafíos de la pequeña producción campesina frente a los cambios en la agricultura, 271–298.
- Yanarico Villegas, R. (2016). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA EN SUELOS PRODUCTIVOS DE ACUERDO AL USO Y APTITUD AGRÍCOLA EN TRES COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE UMALA – LA PAZ*.
- Zabala, L. R. (2012). *COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE TRES VARIETADES DE PAPA (Solanum tuberosum ssp.) BAJO DOS CALIBRES DE SEMILLA REGISTRADA EN LA COMUNIDAD COLLANA - PROVINCIA AROMA*. Universidad Mayor de San Andres.

Anexos

Anexo 1. Peso 1 De Muestra de Planta Vegetal Húmedo Y Seco

Código	Cultivo	Fecha	Peso 1 (gr) húmedo	Fecha	peso 1 (gr) peso seco
1Y2PIñG-I	Papa	9-11/1/2018	275	29/3/2018	65.3
1PIñJ-C	Papa	9-11/1/2018			
1PIñA-C	Papa	9-11/1/2018	370		63
1PIñG-C	Papa	9-11/1/2018	410		118
1PIñW-C	Papa	9-11/1/2018	210		56.3
1PSaE-I	Papa	15-18/1/2018	1070		110.6
2PSaE-I	Papa	15-18/1/2018	305		87.4
1PSaH-C	Papa	15-18/1/2018	515		98.6
1PSaC-C	Papa	15-18/1/2018	615		120.6
1PIñT-I	Papa	15-18/1/2018	315		71
2PIñT-I	Papa	15-18/1/2018	265		64.6
1PIñP-C	Papa	15-18/1/2018	500		133.1
1PIñL-C	Papa	15-18/1/2018	135		55.5
1PIñR-C	Papa	15-18/1/2018	315		72.2
1PIñE-C	Papa	15-18/1/2018	400		122.2

Anexo 2. Peso 2 de Muestra de Planta Vegetal Húmedo y Seco

Código	Cultivo	Fecha	Peso 2 (gr) peso húmedo	peso tubérculo	Peso húmedo planta	Fecha	peso 2 (gr) peso seco	
1Y2PIñG-I	Papa	7/2/2018	820	405	415	26-mar	39	24
1PIñJ-C	Papa	7/2/2018	700	135	565		59.1	44.1
1PIñA-C	Papa	7/2/2018	880	155	725		94.9	79.9
1PIñG-C	Papa	7/2/2018	1475	525	950		130.3	115.3
1PIñW-C	Papa	16/2/2018	2500	1105	1395		170.4	155.4
1PSaE-I	Papa	16/2/2018	1360	545	815		102.4	87.4
2PSaE-I	Papa	16/2/2018	600	205	395		75.6	60.6

1PSaH-C	Papa	16/2/2018	1140	480	660		127.9	112.9
1PSaC-C	Papa	16/2/2018	1740	710	1030		133.5	118.5
1PInT-I	Papa	15/2/2018	1255	515	740		120.7	105.7
2PInT-I	Papa	15/2/2018	910	470	440		77.4	62.4
1PInP-C	Papa	15/2/2018	935	220	715		101	86
1PInL-C	Papa	16/2/2018	955	545	410		57.4	42.4
1PInR-C	Papa	15/2/2018	1125	465	660		154	139
1PInE-C	Papa	15/2/2018	2035	1020	1015		151.1	136.1

Anexo 3. Peso 3 De Muestra de Planta Vegetal Húmedo y Seco

Código	Cultivo	Fecha	Peso 3 (gr) peso húmedo	peso tubérculo (gr)	Fecha	peso 3 (gr)peso seco
1Y2PIñG-I	Papa	7/3/2018	1505	930		124.9
1PIñJ-C	Papa	7/3/2018	975	465		149.7
1PIñA-C	Papa	7/3/2018	1075	550		146.8
1PIñG-C	Papa	7/3/2018	3000	1760		216
1PIñW-C	Papa	16/3/2018	510	1335		109.6
1PSaE-I	Papa	15/3/2018	1255	3195		179.7
2PSaE-I	Papa	16/3/2018	550	745		110.8
1PSaH-C	Papa	15/3/2018	535	1485	29/3/2018	110.5
1PSaC-C	Papa	15/3/2018	555	1155		106.26
1PInT-I	Papa	14/3/2018	355	930		93.4
2PInT-I	Papa	14/3/2018	485	830		103.5
1PInP-C	Papa	14/3/2018	390	530		133.2
1PInL-C	Papa	15/3/2018	645	1130		129.5
1PInR-C	Papa	14/3/2018	675	1315		152.9
1PInE-C	Papa	14/3/2018	710	1150		149.7

Anexo 4. Peso Seco De Muestras De Tubérculos 2 Y 3

Código	Cultivo	FECHA	PESO HUMEDO		FECHA	PESO SECO	
			M2h	M3h		M2s	M3s
1Y2PIñG-I	Papa	29/3/2018	36.9	65.6	2/4/2018	9	15.3422
1PIñJ-C	Papa		20.3	28.6		3.5	6.2772
1PIñA-C	Papa		20.8	88.3		2.9	20.9037
1PIñG-C	Papa		67.9	84.4		13.9	19.9482
1PIñW-C	Papa		77.5	141.5		17.8	33.9377
1PSaE-I	Papa		137.4	126.4		33.6	30.2382
2PSaE-I	Papa			58.1			
1PSaH-C	Papa		56.5	116.7		16	27.8617
1PSaC-C	Papa		66.7	75.2		15	17.6942
1PSaJ-C	Papa						
1PIñT-I	Papa		52.2	132.5		14.3	31.7327
2PIñT-I	Papa		111.5	101.6		26.8	24.1622
1PIñP-C	Papa		92.4	48.1		17.7	11.0547
1PIñL-C	Papa		71.7	107		15.3	25.4852
1PIñR-C	Papa		109.5	90.8		27	21.5162
1PIñE-C	Papa		69.3	58.1		19.7	13.5047



Fotografía 2. Muestra de Cobertura Vegetal



Fotografía 3. Muestra de Cobertura Vegetal

Anexo 5. Planilla de cosecha de papa

COMUNIDAD : Incamaya									
PARCELA: PAPA									
FECHA DE COSECHA: 4/4/18									
CODIGO: 1PInE-C									
		CATEGORIZACIÓN							
N°		I	II	III	IV	V	VI	VII	P. TOTAL (gr.)
1		5	7	4	3	8	7		2150
2		1	2	2	1	4			635
3		1	4	5	3	2	6		985
4		1	3	5	2	17			920
5		5	5	1	4	2	4		1710
6			7	6	5	9	19		1780
7			4	6	8	1	12		1295
8		6	6	3	2				780
9		7	4	7	3	2			1860
10	2	8	6	9	2	3	5		3150
SUMA									
PROMEDIO									
RENDIMIENTO									



Fotografía 4. Clasificación del Cultivo De Papa Según Categorías



Fotografía 5. Cosecha de Papa Parcela de Don Javier Condori



Fotografía 6. Cosecha de La Parcela de Don Gualberto



Fotografía 7. Cosecha de Papa Parcela de Don Turiano Huaynoqa



Fotografía 8. Muestra Vegetal Seco



Fotografía 9. Muestra vegetal Materia Seca