



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



DEMANDA HÍDRICA DEL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) Y ZONIFICACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA INTERCUENCA HIDROGRÁFICA DE PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JOSE LUIS COILA YUCRA

Bach. JUAN LUIS SALAMANCA BERRIOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2024



DEDICATORIA

A Dios por su guía y fortaleza a lo largo de este camino académico. También dedico este trabajo de investigación a mis queridos padres, Simon Coila e Isabel Amanda, por su sabiduría, fortaleza y amor incondicional. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación, y por ser mi pilar en cada etapa de mi vida, tanto como mi formación profesional. Y a mi hermana, Lizeth Yuliana, por su compañerismo, como también a mis queridos amigos, quienes creyeron en mí, muchísimas gracias a todos ustedes.

Jose Luis Coila Yucra



A mis padres que están en el cielo, Teófilo y Nicolasa, quien mi guía desde allí me camino lleno de momentos tristes y algunos buenos y un poco difícil de luchar contra cualquier obstáculo. Por ello, primero quiero agradecer a Dios por ponerme a personas indicadas que fueron de gran apoyo para el desarrollo de la presente investigación. A mi esposa, Florentina, que a pesar de las cosas que hemos vivido siempre estuvo a mi lado, dándome apoyo moral para terminar el presente trabajo de tesis.

A mis hijos, Paul, Danitza y Dina, que son mis amores y la razón de seguir luchando y esforzándome en esta vida.

Juan Luis Salamanca Berrios



AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra alma mater, la “Universidad Nacional del Altiplano - Puno”, por brindarnos la oportunidad de formarnos académicamente en un entorno de excelencia y por proporcionar los recursos necesarios para nuestro desarrollo profesional.

A nuestra prestigiosa escuela profesional, de Ingeniería Agronómica, por ofrecernos una educación de calidad y por el constante apoyo académico. Sus docentes y administrativos han sido fundamentales en nuestra formación profesional.

A nuestro asesor, M. Sc. Abdon Charaja Villalta, por su guía, paciencia y dedicación durante todo el proceso de elaboración de esta tesis. Sus valiosas sugerencias y constante apoyo han sido cruciales para la culminación de este trabajo.

También queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los miembros de jurados, D. Sc. Eleodoro Placido Chahuares Velasques, Mg. Flavio Ortiz Calcina y D. Sc. Juan Carlos Luna Quecaño, por su tiempo, dedicación y valiosas observaciones. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para la mejora y culminación de este trabajo.

Agradecemos al “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú” por el financiamiento otorgado para nuestra elaboración de tesis. Su apoyo ha sido esencial para la realización del dicho proyecto.

Jose Luis Coila Yucra

Juan Luis Salamanca Berrios



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1 Problema general.....	18
1.2.2 Problemas específicos	18
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3.1 Hipótesis general	18
1.3.2 Hipótesis específicas	18
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.5.1 Objetivo general	20
1.5.2 Objetivos específicos	20



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
2.2	MARCO TEÓRICO	25
2.2.1.	El cultivo de la quinua en el Altiplano.....	25
2.2.2.	Fases fenológicas de la quinua.....	27
2.2.3.	Requerimientos climatológicos para el cultivo de quinua	28
2.2.4.	Evaporación.....	29
2.2.5.	Transpiración.....	30
2.2.6.	Evapotranspiración.....	31
2.2.7.	Evapotranspiración de referencia	32
2.2.8.	Evapotranspiración del cultivo.....	33
2.2.9.	Coeficiente del cultivo KC.....	34
2.2.10.	Cuencas hidrográficas	34
2.2.11.	Demanda hídrica	36

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO	37
3.1.1.	Lugar del campo experimental.....	37
3.1.2.	Ubicación política y geográfica de la Intercuenca	37
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	39
3.3.1.	Población.....	39
3.3.2.	Muestra	40
3.4	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	40



3.4.1. Determinación de la evapotranspiración del cultivo de quinua ETc.....	40
3.4.2. Determinación de la necesidad de riego complementario en la Intercuenca Puno.....	48
3.4.3. Variables agroclimáticas para la producción de cultivo de quinua y clasificación de tierras por capacidad de uso mayor	49
3.4.3.1. Modelamiento con SIG	49
3.4.3.2. Modelamiento de Variables Agroclimáticos.....	50

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS.....	55
V. CONCLUSIONES.....	76
VI. RECOMENDACIONES	78
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	84

ÁREA: Ciencias Agrícolas

TEMA: Cambio climático y agricultura

FECHA: 04 / junio / 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ubicaciones políticas y geográficas de las zonas investigadas.....	38
Tabla 2 Valores ETM de la quinua de ETP (Penman Monteith) y del Kc de la quinua Patacamaya(1989-1990).	42
Tabla 3 Análisis de caracterización y fertilidad de suelo del CE. Camacani.....	45
Tabla 4 Diseño de abonamiento.....	47
Tabla 5 Valores de ETc de cultivo de quinua de la variedad pasankalla, ETo (Penman Monteith) y por 8 fases el Kc en C.E. Camacani Puno – Perú.	56
Tabla 6 Requerimiento hídrico de cultivo de quinua de la variedad pasankalla, ETo de método (Penman Monteith) y Kc de la quinua por cuatro etapas fenológicas C.E. Camacani Puno.....	57
Tabla 7 Requerimiento hídrico de cultivo de quinua de la variedad Salcedo INIA, ETo de método (Penman Monteith) y Kc de la quinua por cuatro etapas fenológicas C.E. Camacani Puno.....	58
Tabla 8 Requerimiento hídrico de cultivo de quinua de la variedad Blanca de Juli, ETo de método (Penman Monteith) y Kc de la quinua por cuatro etapas fenológicas C.E. Camacani Puno.....	58
Tabla 9 Comparación de evapotranspiración de cultivo de quinua y precipitación efectiva de la campaña agrícola 2021 – 2022, el balance de agua.....	59
Tabla 10 Análisis de varianza de rendimiento de las tres variedades del cultivo de quinua (SC tipo 1).....	61
Tabla 11 Análisis de rendimiento de las variedades de cultivo de quinua	63
Tabla 12 Valores de ETc de quinua de la variedad Blanca de Juli, ETo calculadas por método (Penman Monteith).	65



Tabla 13	Comparación de los valores de evapotranspiración del cultivo de quinua y precipitación efectiva de promedio de los periodos de 2012 a 2022.	65
Tabla 14	Evapotranspiración del cultivo de quinua y precipitación efectiva promedio de los periodos 2012 a 2022.....	65
Tabla 15	Clasificación de capacidad de uso mayor de tierras en la Intercuenca.	67
Tabla 16	Categorías de precipitaciones influyentes en la producción de cultivo.	70
Tabla 17	Radiación Solar Global influyente en Mj/m2/día en el área de proyecto	72
Tabla 18	Aptitud de zonas altitudinales en la producción de cultivo sostenible de quinua.....	73
Tabla 19	Aptitud de pendientes de terreno en la producción de cultivo de quinua	73
Tabla 20	Información meteorológica promedio mensual - estación Acora	85
Tabla 21	Información meteorológica promedio mensual - estación Capachica	85
Tabla 22	Información meteorológica promedio mensual - estación Ilave.....	86
Tabla 23	Información meteorológica promedio mensual - estación Juli	86
Tabla 24	Información meteorológica promedio mensual - estación Laraqueri	87
Tabla 25	Información meteorológica promedio mensual - estación Puno.....	87
Tabla 26	Información meteorológica promedio mensual - estación Taquile.....	88
Tabla 27	Clasificación de tierras por Capacidad de Uso Mayor – Grupo Cultivo en Limpio (A)	88
Tabla 28	Temperaturas medias anuales de 9 estaciones agroclimáticas SENAMHI Puno	89
Tabla 29	Precipitaciones medias anuales de 12 estaciones agroclimáticas SENAMHI	89
Tabla 30	Radiación Solar Global media de 8 Estaciones Agroclimáticas SENAMHI	90



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Representación de las fases fenológicas del cultivo de quinua.....	28
Figura 2 Representación del proceso de la transpiración	30
Figura 3 Representación de los componentes que causan la evapotranspiración.	31
Figura 4 Representación del proceso de la evapotranspiración de referencia.....	32
Figura 5 Representación del proceso de evapotranspiración de un cultivo óptim	33
Figura 6 Esquema sobre las zonas de ubicación de las cuencas	35
Figura 7 Ubicación del área experimental del Centro experimental de Camacani- Plateria.	38
Figura 8 Mapa de ubicación de los distritos de las zonas de estudio.	39
Figura 9 Los valores de precipitaciones efectivas y evapotranspiración del cultivo de quinua.....	60
Figura 10 Coeficiente de cultivo de la quinua campaña agrícola 2021 – 2022.....	60
Figura 11 Mapa de aptitud de tierras para el cultivo de quinua en la Intercuenca	67
Figura 12 Categorías de temperaturas influyentes en la producción de cultivo de quinua	68
Figura 13 Prueba de consistencia mediante el R2 (coeficiente de determinación)	68
Figura 14 Mapa de temperaturas en la aptitud de tierras para el cultivo de quinua.	69
Figura 15 Aptitud de precipitación influyente en la producción de cultivo de quinua.	70
Figura 16 Correlación lineal entre la radiación solar global y altitud	71
Figura 17 Radiación Solar Global RSG influyente en el área del proyecto	72
Figura 18 Mapa topográfico en base a altitud y tipo dependiente de terreno.....	74
Figura 19 Mapa de modelamiento de aptitud agroclimático para el cultivo sostenible de la quinua.	75



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Información meteorológica estudiadas	85
ANEXO 2: Resultados de análisis de fertilidad de suelo	91
ANEXO 3: Resultados de la densidad aparente, Capacidad de C, Punto de marchites	92
ANEXO 4: Panel fotografico	93
ANEXO 5: Declaración jurada de autenticidad de tesis	98
ANEXO 6: Autorización para el depósito de tesis al repositorio institucional.....	99



ACRÓNIMOS

FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
SENAMHI:	El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
ETc:	Evapotranspiración del cultivo.
ETo:	Evapotranspiración de referencia.
Kc:	Coefficiente del cultivo.
RSG:	Radiación solar global
USDA:	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
INIA:	Instituto Nacional de Innovación Agraria.
DCA:	Diseño Completamente al Azar.
ZEE:	Zonificación Ecológica y Económica.



RESUMEN

La investigación surge ante la necesidad de conocer los requerimientos de agua en el proceso de producción de cultivo de la quinua. Los objetivos específicos fueron: a) Determinar la evapotranspiración del cultivo de la quinua en sus diferentes etapas fenológicas en condiciones de secano. b) Plantear propuesta alternativa de riego complementario para el uso eficiente del agua en la intercuenca Puno. c) Zonificar las variables agroclimáticas para el plan de producción del cultivo de quinua. Los métodos utilizados fueron: método indirecto de Penman Montith con los valores de E_{Tc} y precipitación efectiva recomendados por USDA, y para la zonificación de las variables agroclimáticas se empleó el método determinístico (temperatura, humedad relativa, radiación solar global) y estocástico, analizados con la ayuda del software ArcGIS 10.8. Los resultados obtenidos de evapotranspiración de cultivo de quinua; en las etapas de inicio (I), desarrollo (II), media temporada (III) y etapa final (IV) han sido: 2.18, 2.63, 3.66 y 2.61 mm/día respectivamente, siendo el requerimiento de agua para todo el periodo vegetativo de quinua de 4622.5 m³/ha. Las variables que influyen favorablemente para la producción de cultivo de quinua fueron la temperatura entre 6 a 9 °C, precipitación media anual entre 755 a 792 mm/año, radiación solar global que varía entre 6.60 a 6.65Mj/m²/día y altitud óptima para el cultivo se desarrolla menores a 3900 msnm. Los resultados de estudio serán de aplicación en la planificación de la gestión sostenible de la producción de quinua.

Palabras clave: Demanda hídrica, quinua, evapotranspiración de cultivo, agroclimática.



ABSTRACT

The research arises from the need to know the water requirements in the production process of quinoa cultivation. The specific objectives were: a) Determine the evapotranspiration of the quinoa crop in its different phenological states under dryland conditions. b) Propose an alternative proposal for complementary irrigation for the efficient use of water in the Puno interbasin. c) Zoning the agroclimatic variables for the production plan for quinoa cultivation. The methods used were: Penman Monteith's indirect method with the E_Tc and effective precipitation values recommended by the USDA, and for the zoning of the agroclimatic variables, the deterministic (temperature, relative humidity, global solar radiation) and stochastic methods were used, analyzed with the help of ArcGIS 10.8 software. The results obtained from the evapotranspiration of the quinoa crop; in the initial stages (I), development (II), mid-season (III) and final stage (IV) have been: 2.18, 2.63, 3.66 and 2.61 mm/day respectively, being the requirement water for the entire vegetative period of quinoa of 4622.5 m³/ha. The variables that favorably influence the production of the quinoa crop were temperature between 6 to 9 °C, average annual precipitation between 755 to 792 mm/year, global solar radiation that varies between 6.60 to 6.65 Mj/m²/day and optimal altitude. For cultivation it is developed below 3900 meters above sea level. The results of the study will be applied in planning the sustainable management of quinoa production.

Keywords: Water demand, quinoa, crop evapotranspiration, agroclimatic.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El cultivo de quinua es el grano andino más importante y nutraceútica que se cultiva en la mayor parte de la extensión en las zonas de circunlacustre en la región de Puno, además se cultiva en las regiones naturales de costa y sierra de nuestro país. El presente trabajo de investigación se instaló en centro experimental Camacani, ubicada en el distrito Platería, y en la intercuenca hidrográfica de Puno, para determinar la evapotranspiración de cultivo de quinua tomando en consideración las variables agroclimáticas obtenidas de registros de estaciones meteorológicas de SENAMHI, evaluada en cada de fases fenológicas de periodo vegetativo de la campaña agrícola de 2021 a 2022, para conocer el requerimiento de agua en sus diferentes etapas fenológicas, para riego complementario y categorizar las variables agroclimáticas que influyen favorablemente para el cultivo de quinua en la intercuenca hidrográfica de Puno.

Las precipitaciones pluviales en el altiplano satisfacen en gran parte la demanda hídrica de los diferentes cultivos andinos y en diferentes zonas agroecológicas de la región puno, la presencia de las precipitaciones en nuestra región es de forma eventual en el desarrollo fenológico de los cultivos, por lo cual es necesario complementarlas con el riego, el desconocimiento de requerimiento de agua para el cultivo de quinua nos lleva a inadecuado aprovechamiento las aguas de la precipitación por ende la baja producción de cultivo. al conocer el consumo de agua en sus diferentes etapas fonológicas del cultivo de quinua se aplicará el riego complementario, utilizando eficientemente el agua en el momento oportuno, de manera tal lograr la mejora de rendimiento de la producción de cultivo de quinua, la investigación nos permitirá aprovechar adecuadamente el agua proveniente de la precipitación, en zona de estudio de la intercuenca hidrográfica.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de quinua en la región, lo realizan la siembra a partir del mes de octubre en dichos meses no siempre las precipitaciones son suficiente para que la semilla pueda germinar además durante su periodo vegetativo no se conoce con certeza la necesidad hídrica de cultivo, lo que nos permitiría una producción óptima. Sé bien cierto existen investigaciones referentes a este tema en la región de Puno, las investigaciones realizadas en otras regiones como en Bolivia no son siempre referentes para nuestra realidad, además en nuestra región de Puno también tiene diversas zonas agroecológicas por lo que se necesita determinar la necesidad de agua en cada una de las zonas agroecológicas. Teniendo este conocimiento de la realidad de la región de Puno, es necesario investigar la demanda hídrica del cultivo de la quinua como en las diferentes variedades de cultivo, porque cada variedad tiene diferente periodo vegetativo. Conociendo el requerimiento de agua en las diferentes variedades de la quinua, se podrá determinar la necesidad aproximada de agua que nos permita obtener mejores rendimientos con cada una de estas variedades.

Investigar la demanda de agua en el cultivo de quinua, será permanente debido a que el clima va variando por causa de cambio climático que ocasionara probablemente el incremento de la necesidad de agua en los años venideros, ya que la perdida de agua, por efectos de evapotranspiración sea incrementada. Conociendo la demanda de agua de cultivo de la quinua, se podrá implementar las prácticas de riego de complementario según la cantidad de precipitación que se presentará. En la intercuenca hidrográfica se desconoce las variables agroclimáticas que influyen favorablemente para la producción de quinua, conociendo estas potencialidades nos servirá como instrumento de gestión y planificación para producción de cultivo de quinua para los productores en la zona de estudio de intercuenca hidrográfica de Puno.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál será la demanda hídrica para el cultivo de quinua y la zonificación de variables agroclimáticas de la Intercuenca hidrográfica de Puno?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la evapotranspiración del cultivo de la quinua en sus diversas etapas fenológicas en condiciones del Centro Experimental Camacani, UNA- Puno?
- ¿Cuánto es la disponibilidad de agua en la intercuenca hidrográfica de Puno para riego complementario de cultivo de quinua?
- ¿Cuál es la potencialidad agroclimática para la producción del cultivo de quinua de la intercuenca hidrográfica de Puno?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

- La demanda hídrica para el cultivo de quinua varía para cada etapa fenológica y la zonificación de variables agroclimáticas de la intercuenca hidrográfica de Puno.

1.3.2 Hipótesis específicas

- La evapotranspiración del cultivo de quinua es diferente en cada etapa fenológica en condiciones del Centro Experimental Camacani, UNA- PUNO.



- La oferta hídrica disponible permite realizar el riego complementario en la intercuenca hidrográfica de Puno para el cultivo de quinua.
- Las variables agroclimáticas influyen favorablemente en la producción de grano de quinua según grado de intervención en la intercuenca hidrográfica de Puno.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las investigaciones realizadas en el ámbito de la región de Puno, son escasos para poder entender la necesidad de la demanda de agua de cultivo de quinua en sus diferentes etapas fenológicas y en sus diferentes zonas agroecológicas en la región Puno, como son: zona circunlacustre, puna seca y puna húmeda en el presente trabajo de investigación se ha planteado la investigación con el afán de conocer los requerimientos de agua en el proceso de producción de cultivo de la quinua, para un riego complementario y utilizar eficientemente el recurso agua y conocer las potencialidades agroclimáticas de la intercuenca hidrográfica de Puno.

Con las que se trata de explicar la necesidad de demanda de agua de cultivo de la quinua, ya que se ha visto en esta zona hay mayor dedicación de los productores al cultivo de quinua y que genera sus ingresos económicos de las familias de este ámbito, el presente trabajo de investigación se realizará en el centro experimental de Camacani que tiene una característica agroecológica especial para la producción de la quinua, pero es necesario compatibilizar estas características en la agroecológica de la intercuenca antes mencionada y determinar zonas de producción óptima en esta área de zona de estudio de circunlacustre que permitirá a los productores mejorar el rendimiento de la producción para este cultivo de quinua compatibilizando la clasificación de uso mayor de los suelos y características agroecológicas y como potencialidad en la zona indicada.



1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

- Calcular la demanda hídrica para el cultivo de quinua y la zonificación de variables agroclimáticas de la intercuenca hidrográfica de Puno.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar la evapotranspiración del cultivo de quinua en sus diferentes etapas fenológicas en condiciones del Centro Experimental Camacani, UNA- Puno.
- Plantear propuesta alternativa de riego complementario para el uso eficiente del agua en la intercuenca hidrográfica de Puno para el cultivo de la quinua.
- Jerarquizar las variables agroclimáticas para la producción de cultivo de quinua.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Tarazona (2017) menciona que en su investigación determinó los coeficientes de uso de agua (K_c) para el cultivo de la quinua, donde realizó el análisis de los valores lisimétricos de ETR y ETo. La curva de K_c exhibe un valor casi idéntico al de cualquier variedad de quinua, presentando su etapa iniciativa de reducido requerimiento ($0.5 K_c =$ inicial), y en la etapa de desarrollo tuvo un aumento secuencial en el requerimiento del agua ($0.7 K_c =$ desarrollo), en la fase estable en la mitad de la temporada ($1.2 K_c =$ medio) y en la etapa final con una disminución en el consumo de agua a ($0.7 K_c =$ final). Se dice que estas variaciones se atribuyen a las características específicas del lisímetro con interacción con el agua, la planta y el suelo, también dio a conocer que los resultados de K_c de la quinua difieren de los observados en los cereales, por lo que resulta inapropiado calcular el requerimiento de riego para la quinua mediante la adaptación de los valores de K_c de otros diferentes cultivos.

Choquecallata. et al., (1990) en su investigación se centró en calcular la evapotranspiración máxima (ETM) de la quinua utilizando lisímetros. También se propusieron comparar las tasas de evapotranspiración potencial (ETP) mediante diversos métodos referidos en datos climatológicos, además de calcular los (K_c) específicos para la quinua. Los resultados señalaron que la ETM promedio estacional para la quinua es de 3.64 mm/día, llegando a niveles más altos durante su etapa de floración y comienzo de grano lechoso. La cantidad total acumulada de ETM fue de 488 mm en un período de 134 días. Asimismo, se examinaron diferentes fórmulas para la ETP, resaltando la eficacia de la fórmula de Penman y evidenciando que la fórmula de Blaney Criddle se aproximó



mejor a esta. E_l (K_c) para la quinua fue de 0.86 en promedio estacional, presentando variaciones en las etapas fenológicas, siendo alto en la floración e inicio de grano lechoso con valores de 1.08 y 1.14 mm/día respectivamente.

García et al., (2017) en su trabajo de investigación, dio a conocer que el requerimiento hídrico del cultivo de quinua mediante la utilización de un lisímetro de nivel freático constante y la metodología Penman-Monteith adecuado para el contexto peruano. Durante su etapa de media temporada, la demanda hídrica fue de 957.3 m³/h, mientras que durante la campaña agrícola se registró un valor de 2623 m³/ha, además, se calculó la estimación del cultivo diario (K_c) del cultivo de quinua QLM01, utilizando la evapotranspiración máxima (E_m) medida con el lisímetro y la evapotranspiración de referencia (E_{To}) calculada con la metodología de Penman. Los resultados de K_c variaron en distintas etapas del cultivo, con resultados de 0.554, 0.98, 1.272 y 0.903 mm/día en las etapas iniciales, de su desarrollo, de mediados de temporada y final, respectivamente. En resumen, se proporciona información detallada sobre la demanda hídrica y el coeficiente.

Gomez, (2020) investigó que las demandas de agua para el cultivo de quinua, evaluadas mediante la metodología de Penman-Monteith, presentan un promedio de 424.0 mm en la cuenca de Ilave, mientras que con el método del evaporímetro del tanque clase A, la cifra es de 416.6 mm. Este análisis se realiza durante un período vegetativo de 150 días. Se llegó a concluir que el resultado de la evapotranspiración de la quinua, calculado por la metodología de Penman-Monteith, exhibe un aumento del 1.77% en comparación con la metodología del evaporímetro de tanque clase A.

Lipa & Goyzueta, (2018) menciona que Eddy Cervantes Zavala bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Agronómica de la UNA Puno demostró en su estudio que fue realizado en el CE.Camacani con el título de "zonificación y análisis de la



potencialidad agrícola y forestal de las tierras y su ordenamiento territorial” con sistema de información geográfica donde se basó en la clasificación de grupos de aptitud de tierras donde obtuvo resultados donde la aptitud forestal, tuvo un total de 28.4 hectáreas, representa el 48.76%, aunque solo se está aprovechando el 20.86% de este terreno. Por otro lado, la aptitud agrícola abarca el 51.24%, equivalente a 20.26 hectáreas, de las cuales se está utilizando el 88.7%. En el caso del sector de Camata, se identificó que la única potencialidad es la agrícola, con una extensión de 34.08 hectáreas, lo que equivale al 86.68%.

García et al., (2003) estimó que el cultivo de quinua en las alturas bolivianas, en cuanto al requerimiento hídrico del cultivo y el coeficiente de cultivo (kc), es un factor de respuesta del rendimiento relativo, utilizando datos recopilados de un lisímetro de campo. La formulación de Penman-Monteith en las condiciones del altiplano boliviano se ajustó en relación con los datos de evapotranspiración de pastos, que se emplearon como cultivo de referencia y se obtuvieron a través de lisímetros. Los resultados indicaron una excelente correspondencia con la evapotranspiración (ET). En el cálculo, se empleó la temperatura del rocío derivada de la temperatura bajas del aire en lugar de utilizar los datos registrados de humedad. El valor de kc de la quinua, obtenido a partir de los valores del lisímetro, varió a lo largo de la temporada de crecimiento, siendo de 0,5 en su etapa inicial de crecimiento, 1,00 en su etapa intermedia de su temporada y 0,70 mm/día en la etapa de cosecha.

Charaja (2017) en su trabajo de investigación que realizó mediante las metodologías de Penman, Monteith y el método del tanque clase “A” en la cuenca del lago Titicaca, demostró que la evapotranspiración mensual del cultivo de la quinua, durante sus etapas vegetativas lo cual, fue de 150 días. Donde dio a conocer una variación del rango de 311.0 a 547.6 mm, con un promedio de 445.1 mm para toda la región. Asimismo,



se aplicó el método del tanque clase "A" revelando una variación de rango de 242.5 a 501.1 mm, con un promedio regional de 441.30 mm. Los resultados de evapotranspiración obtenidos con ambos métodos fueron relacionados, y los resultados indican una correlación del 89.42 %. Esto sugiere que, a pesar de las diferencias en las estimaciones de ambos métodos, hay una fuerte relación entre ellos en términos de evapotranspiración para el cultivo de quinua en la región evaluada. La correlación del 89.41 % destaca la consistencia relativa entre las dos metodologías empleadas para estimar la evapotranspiración de cultivos.

Dale et al., (2017) evaluaron las condiciones de sequía en Túnez, donde examinaron cinco variedades de quinua introducidas de Egipto. Se analizó su capacidad de adaptación a distintos niveles de estrés hídrico (desde T1 hasta T3) utilizando el software CROPWAT 8.0 para evaluar sus necesidades hídricas. El principal propósito consistió en elaborar un programa de riego específico para la quinua. Los resultados revelaron variaciones en la capacidad de adaptación de las variedades y en su respuesta al estrés hídrico, manifestándose en los rendimientos de grano y materia seca. La productividad de las semillas mostró una variabilidad significativa entre las variedades y los niveles de estrés hídrico, experimentando una disminución de hasta un 74% bajo el estrés T3 en comparación con el estrés concurrente. Al volver a regar, se logró una eficiencia de campo del 70%, y los resultados señalaron que el estrés hídrico T2 exhibió la máxima eficiencia en términos de riego y utilización total del agua, tanto para el grano como para la materia ceca.



2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1. El cultivo de la quinua en el Altiplano

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), es originaria de los Andes Sudamericanos, se llega a cultivar a los 2000 y 4000 msnm, de las cuales exhibe respuestas fisiológicas propias de especies capaces de tolerar sequías como también suelos salinos. Esto la convierte en una valiosa alternativa para la obtención de proteicas y fibras de alta calidad nutritiva. La totalidad de genotipos y de sus parientes silvestres se encuentran cercanas del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia. La quinua se ha considerado uno de los cultivos estratégicos para poder combatir las necesidades nutricionales en las regiones de nuestro país donde llegan a padecer la inseguridad alimentaria, dando así a la quinua un papel importante para su producción (Nuñez, 2019).

a) El tallo

Durante la fase de floración, el tallo exhibe una variación cromática que va desde el verde inicial hasta tonalidades como verde-amarillo, naranja, rosado, rojo y púrpura. En ciertas variedades, se aprecian vetas de colores cambiantes, como: amarillo, rosado, púrpura y verde, mientras que en otras se presentan axilas con matices de rosado, púrpura, y rojo. La combinación de colores en el tallo, las vetas y las axilas es distintiva. Su forma es cilíndrica en el compartimiento con el cuello de raíz, adoptando una estructura angular al alejarse del suelo en las zonas donde surgen hojas y ramas. La corteza, compuesta por tejidos fuertes y lignificados, exhibe una notable firmeza y compacidad. En la etapa juvenil, la médula es suave, pero con la madurez, se torna esponjosa y seca, desprendiéndose durante la cosecha y dejando el tallo vacío. En la madurez, el color del tallo tiende



a transformarse en tonos crema o rosados con diversas intensidades. Dependiendo del patrón de ramificación, el tallo suelen ser simple, con un tallo y una inflorescencia terminal bien definida, variando en sus distintas variedades y ecotipos (Melorose et al., 2016).

b) Inflorescencia

Las disposiciones de las flores en la inflorescencia de la quinua se nomina panoja, siendo esta racimosa. Se distinguen dos tipos de panojas: la glomerulada, más compacta, y amarantiforme, donde el eje glomerulado surge principalmente del eje principal. Tanto en forma glomerulada, siendo la original, como la amarantiforme pueden darse de laxas y compactas. La densidad y longitud de la panoja se dan estrechamente vinculadas al rendimiento del cultivo (Charaja, 2017).

c) Raíz

La raíz de quinua se caracteriza por ser pivotante de las cuales se da de una sola raíz principal, de la cual se desarrollan un buen número de raíces así las laterales y ramificadas. La longitud de estas raíces llega a variar de diferentes formas de tamaño llegando a tener así medidas de 80 y 150 cm según (Melorose et al., 2016).

d) Las flores

Exhiben variadas características, desde su disposición sésil o pedicelada hasta la distribución en glomérulos. La posición dentro del glomérulo impacta el número y tamaño de frutos y granos. Esta planta es gnomónica, presentando tanto las flores hermafroditas en el ápice del glomérulo como pistiladas alrededor. Las



hermafroditas más grandes poseen cinco tépalos anteras y un ovario súpero con estigma ramificado, mientras que las pistiladas de menor tamaño, tienen cinco tépalos, ovario súpero y estigma ramificado. La proporción variable de estas flores influye en la formación de la semilla, cruciales en cultivos aislados (Melorose et al., 2016).

e) **Fruto**

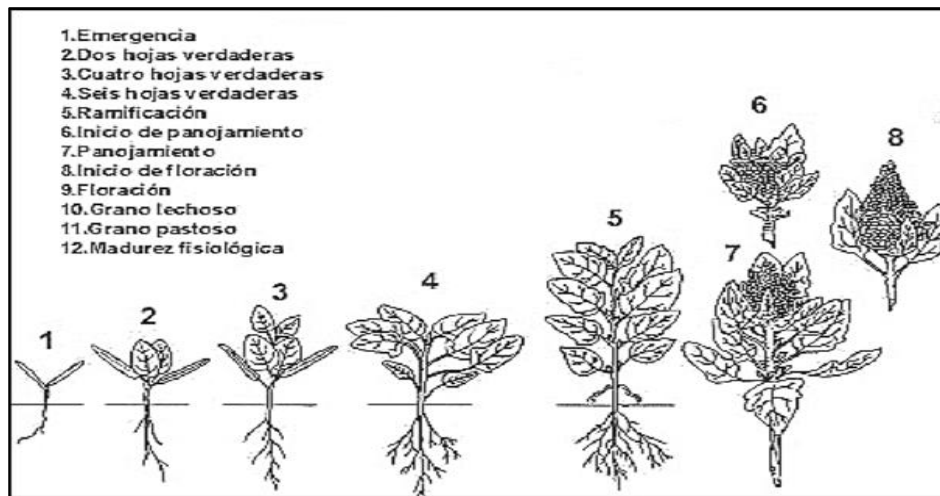
Denominado como aquenio que tiene una forma elipsoidal, cónico en forma de esfera de las cuales va cubierto en el perigonio son estas la envoltura las que conservan a fruto y suelen desprenderse con fáciles en su madurez fisiológica y en algunas situaciones pueden quedarse conjuntamente con el grano. El grano de la quinua está constituido por el pericarpio, de lo cual es la capa del fruto de la semilla acompañado con componentes de saponina, los frutos pueden llegar a tener de 1.5 a 3 mm de diámetros (Melorose et al., 2016).

2.2.2. Fases fenológicas de la quinua

En la fase fenológica de la quinua, se habla del momento en el que se llegan a desarrollar, transforman o desaparecen las partes morfológicas de las plantas, siendo este período una manifestación biológica, considerándose así 12 etapas fenológicas (Yzarra & López, 2011).

Figura 1

Representación de las fases fenológicas del cultivo de quinua



Fuente: Mugica y Canahua (1989)

2.2.3. Requerimientos climatológicos para el cultivo de quinua

a) Altitud

El cultivo de la quinua se da más adaptable encontrándose en regiones de gran altitud en América del Sur. Se detallan rangos altitudinales específicos para diversas regiones, como valles, altiplano y la zona andina, resaltando que el mejor desarrollo ocurre entre 2800 hasta 3900 msnm. Además, se menciona que la capacidad de la quinua para su desarrollo puede darse en altitudes de hasta 4000 metros, demostrando su adaptabilidad a condiciones templadas y frías en varias áreas montañosas (Mamani, 2018).

b) Temperatura

La capacidad de la quinua para poder adaptarse a diferentes condiciones climáticas es intrigante. Se desenvuelve bien en climas moderados, con temperaturas diurnas que van desde los 20-25 °C y nocturnas desde los 10-15 °C. Su habilidad para ajustarse a una variedad de entornos destaca su variabilidad



genética. Es fascinante mencionar de cómo la temperatura óptima puede cambiar dependiendo de la variedad y las condiciones específicas del cultivo de la quinua (Nuñez, 2019).

c) Suelo

La quinua llega a desarrollarse óptimamente en diferentes tipos de suelos drenados tales, así como en suelos francos arenosos y así un pH. De 6 a 8.5 ligeramente ácidas, considerando a la vez una buena profundidad para su desarrollo radicular, y de tal manera contenga buenas cantidades de materia orgánica para su vigorosidad fenológica (Melorose et al., 2016).

d) Precipitaciones.

La presencia adecuada de agua emerge como un elemento fundamental en la producción de quinua en las regiones andinas del sur. Esto se evidencia al examinar los patrones de precipitación pluviales, que indican que la quinua se desarrolla dentro de un intervalo pluviométrico que van desde los 300 mm hasta 1000 mm. Por lo tanto, es valioso reflexionar sobre la relevancia de estos datos agrometeorológicos para la agricultura, para generar así una buena sostenibilidad en la región andina, así como su repercusión en la seguridad (Melorose et al., 2016).

2.2.4. Evaporación

La evaporación es el nombre que recibe el fenómeno en el que el agua líquida pasa a vaporizarse, donde se separa de la superficie de la que proviene. Este proceso se da en distintas superficies, como ríos, suelos, lagos, caminos y vegetación mojada. Se requiere energía para que el estado de las moléculas de

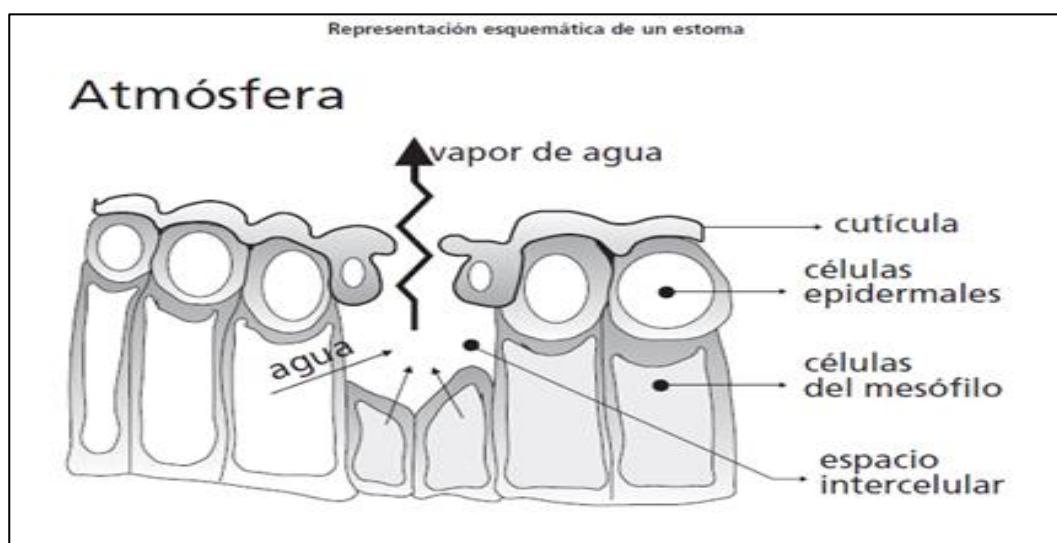
agua cambie de líquido a vapor, donde la principal fuente de esta energía son las radiaciones solares y, los bajos grados, la temperatura del aire. La velocidad de remoción del vapor del agua depende más que todo de la presión del vapor de agua en la superficie que se evapora y la presión del vapor del agua tanto como aire circundante (Allen et al., 2006).

2.2.5. Transpiración

Es el curso en cuál en agua se evapora a la atmosfera mediante el tejido de las plantas que se dan mediante las estomas y es ahí donde el mayor porcentaje de agua en la planta se pierde mediante este fenómeno denominado transpiración y el otro pequeño porcentaje llega a retenerse en los tejidos vegetales. La transpiración se llega a dar por las altas incrementos de las radiaciones solares que llegan de la atmosfera y se dirigen a la superficie terrestre, llegando a contribuir así a la vez con el ciclo del agua Asia la atmosfera (Allen et al., 2006).

Figura 2

Representación del proceso de la transpiración



Fuente: Allen et al, (2006)

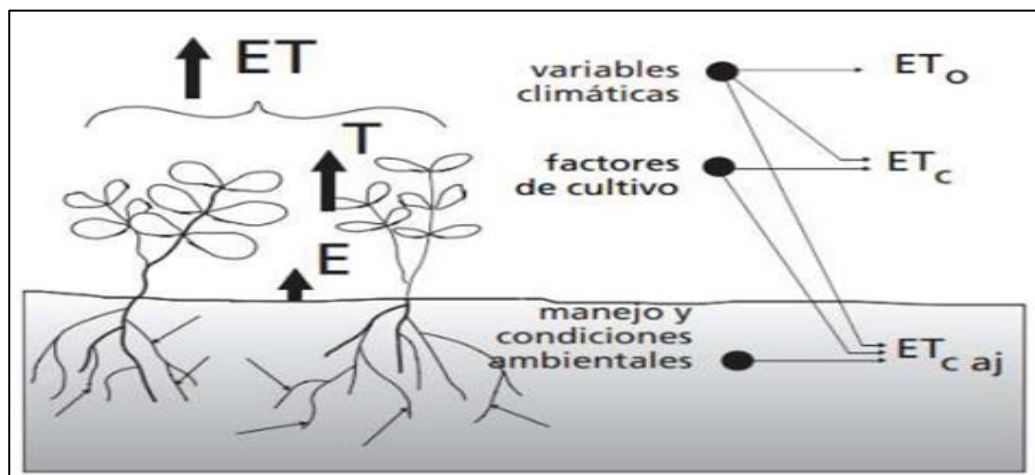
2.2.6. Evapotranspiración

La (ET) es un proceso físico indispensable en el ciclo del agua de transferencia de agua desde la superficie cultivada hacia la superficie atmosférica, abarcando tanto la evaporación del suelo como la transpiración del cultivo. Este fenómeno, al integrar las necesidades atmosféricas y las condiciones de la superficie, emerge como un elemento determinante en la ocurrencia de sequías en zonas semiáridas y áridas (Monterroso & Gómez, 2021).

La determinación de la evaporación y transpiración en áreas de cultivo es esencial para investigaciones climáticas, hidrológicas y proyectos de manejo del agua en la agricultura. En este contexto, se analizan los parámetros atmosféricos mediante los cálculos de la (ET_o) evaporación de referencia y la contribución de la superficial mediante el (K_c) coeficiente del cultivo, dando como resultado la evaporación y transpiración del cultivo. Estas evaluaciones son relacionadas con las variables y condiciones climáticas, representando la capacidad evaporativa de la atmósfera en una ubicación y periodo específico (Núñez et al., 2019).

Figura 3

Representación de los componentes que causan la evapotranspiración.



Fuente: Allen et.al (2006)

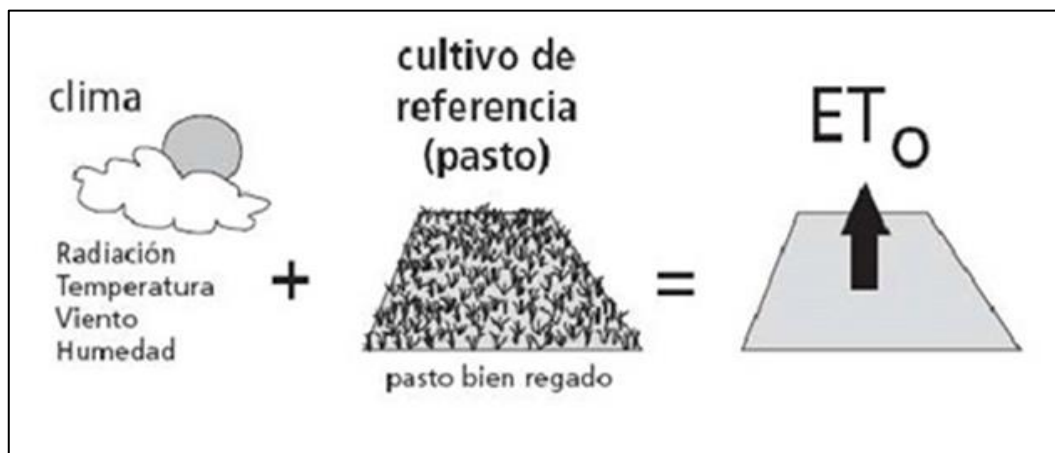
2.2.7. Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia sé, determina a través de la metodología de Penman-Monteith, funciona como un patrón para cuantificar la totalidad de agua de las cuales se evaporan de una superficie cubierta con un cultivo modelo sin. Limitaciones de agua de las cuales este valor refleja la evapotranspiración de una amplia extensión vegetativa verde en fase de crecimiento activo y con riego adecuado. Su utilidad reside en la capacidad para contrastar la evaporación en diferentes tiempos del año, de las distintas zonas geográficas y distintos tipos de cultivos (Jaramillo, 2006).

La FAO realizó una publicación del boletín 56 en año 2006 donde da a conocer los cálculos de la evapotranspiración de referencia mediante el ingreso de las variables agroclimáticas de las estaciones climatológicas, de las cuales es considerado de alta aceptación relevante de las cuales ha sido aplicado en diferentes tipos de investigación y de diferentes tipos de cultivos llegando a generar resultados satisfactorios a los investigadores (Rodríguez et al., 2012).

Figura 4

Representación del proceso de la evapotranspiración de referencia.



Fuente: Allen et.al (2006)

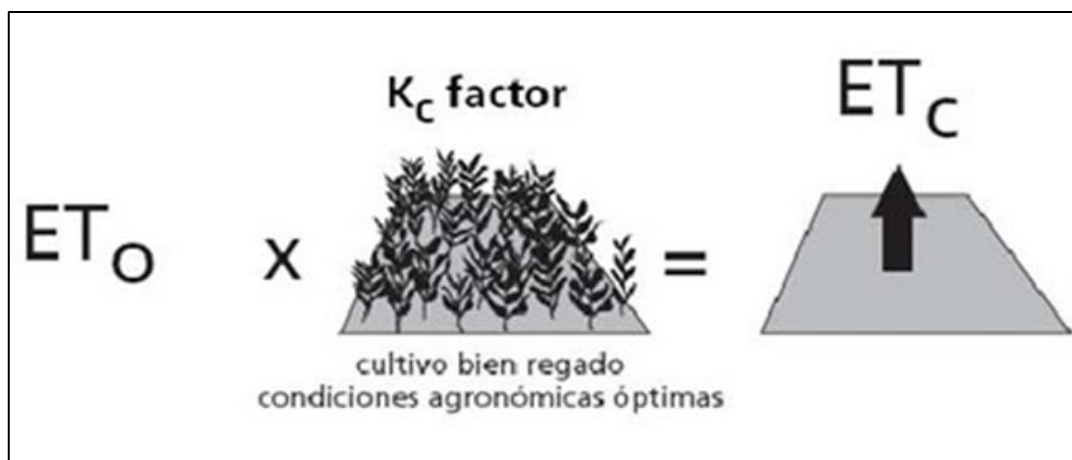
2.2.8. Evapotranspiración del cultivo

La ET_c es el concepto que se utiliza para mencionar la totalidad de la evaporación y la transpiración que ocurre en cualquier otro cultivo bajo condiciones perfectas. Indica la totalidad de agua de las que se evapora de un cultivo que no tiene plagas ni enfermedades, que está adecuadamente nutrido, y que se desarrolla en un terreno amplio con las condiciones ideales de suelo y riego, permitiéndole alcanzar su potencial de producción más alto de acuerdo con el clima local (Allen et al., 2006).

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) en un cultivo ubicado en una región con características climáticas similares a una estación meteorológica. Se utiliza un parámetro conocido como coeficiente de cultivo (K_c) para calcular la demanda del agua necesaria, que compense las pérdidas causadas por la evapotranspiración del cultivo. Esta cantidad se identifica como las necesidades hidrológicas del dicho cultivo (Allen et al., 2006).

Figura 5

Representación del proceso de evapotranspiración de un cultivo óptima



Fuente: (Allen et al., 2006).



2.2.9. Coeficiente del cultivo KC

El coeficiente de cultivo es un valor que muestra cuánta agua consume una planta desde que se planta hasta que se cosecha. Este número no tiene unidades y ayuda a entender cuánta agua se va por la transpiración y evaporación de los cultivos. Es muy importante calcular bien cuánta agua necesitan los cultivos para que se desarrolle. Si no se usa el agua correctamente en los sistemas de riego puede causar problemas como demasiada agua dentro del suelo o que el agua se filtre donde no debe. El valor de Kc empieza siendo bajo cuando se siembran las plantas y sube a medida que las plantas crecen y cubren más tierra. También el Kc cambia durante las diferentes fases y etapas de su desarrollo del cultivo y se divide en tres periodos, empezando con la siembra (Arapa, 2022).

2.2.10. Cuencas hidrográficas

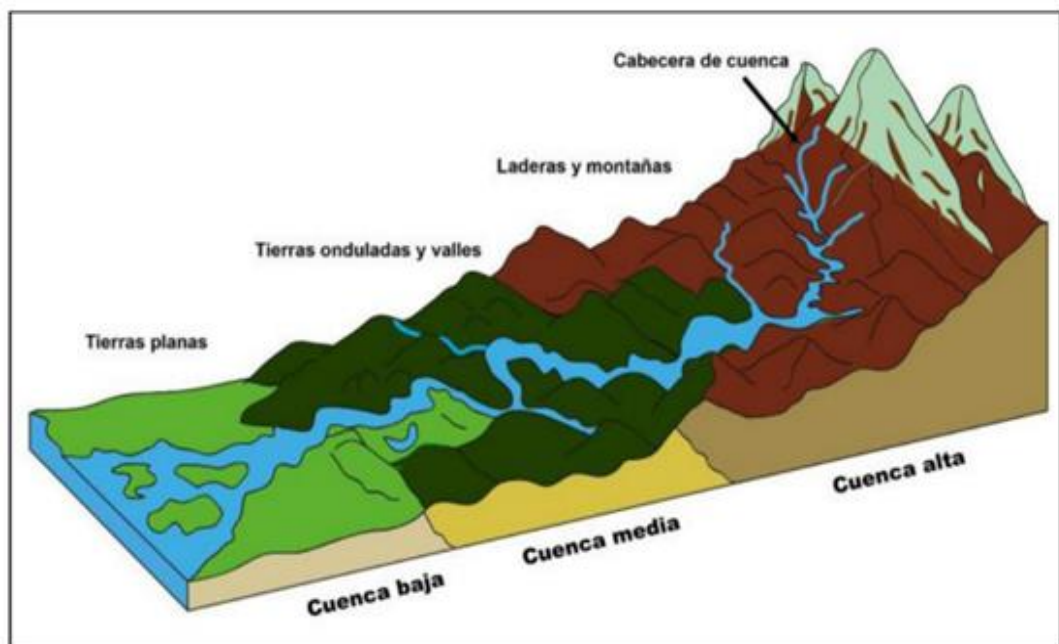
Esta zona alberga recursos fundamentales para diversas acciones humanas, tales como vegetación, agua, suelo y fauna. Los componentes mencionados consolidan una interacción constante y específica en cuanto a sus actividades productivas y de aprovechamiento humano en la cuenca, de acuerdo con la descripción de la FAO sobre las cuencas hidrográficas, entendida como una unidad territorial que engloba un río con sus afluentes y el área que recoge las aguas (Rios et al., 2013).

- **Ubicación de las cuencas hidrográficas en el Perú:** Las cuencas hidrográficas que se encuentran en zonas altas del Perú llegan a ser conformado por tres zonas, como se mencionan a continuación (Rios et al., 2013).

- **Zonas altas.** - éstas llegan a ubicarse en altitudes prolongadas que llegan a estar sobre los 3.000 hasta los 6500 msnm, donde las precipitaciones llegan a ser intensas, de las cuales también llegan a ser alimentadas por los nevados.
- **Zonas medias.** - éstas llegan a ubicarse sobre los 700 y 4000 msnm, llegando a tener precipitaciones sobre los 80 y 150 mm/a, considerándose a si una zona con un clima variado.
- **Zonas bajas.** - llegan a estar ubicadas sobre el nivel del mar con una altitud entre los 800 metros sobre el nivel del mar, donde a la vez las precipitaciones pluviales llegan a ser muy bajas llegando a tener como máximo una precipitación 100 mm/a, generalmente se llegan a encontrar en los ámbitos costeros.

Figura 6

Esquema sobre las zonas de ubicación de las cuencas



Fuente: UNALM (2016)



2.2.11. Demanda hídrica

El manejo del recurso hídrico es esencial en la agricultura, se debe a que las necesidades hídricas del cultivo son cubiertas mediante la lluvia y el riego. La interacción intrigante entre las plantas y el agua se manifiesta a medida que una cantidad se infiltra en el suelo, otra fluye en la superficie y una fracción queda estancada, sometándose a evaporación. Determinar la cantidad de agua realmente empleada por las plantas, conocida como (PE) precipitación efectiva, implica considerar la lluvia total y deducir la escorrentía superficial, evaporación y percolación profunda. Este método ofrece una perspectiva valiosa sobre cómo las plantas aprovechan el recurso hídrico disponible para lograr a si un buen desarrollo óptimo (Mero, 2021).

La metodología planteada por la FAO establece que la interacción entre la (ETP) Evapotranspiración Potencial y la regularidad del riego para el coeficiente de cultivo en la fase inicial del cultivo. Para ajustar el K_c , es necesario tener en cuenta varios factores, como la frecuencia del riego, tomando en cuenta a sí la etapa y propiedades del suelo, como también la profundidad de infiltración y valores asumidos de K_c para las fases intermedias y finales. También se consideran aspectos climáticos como temperaturas mínimas y máximas, velocidad promedio del viento y altura media de la planta en una fase específica. Esta evaluación de factores climáticos ayuda a generar la buena gestión del riego (Arapa, 2022).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Lugar del campo experimental

El Centro Experimental Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, ubicado a una altitud de 3 842 m.s.n.m., en el distrito de Platería, Provincia y región Puno, en las coordenadas geográficas, 15° 14' 36'' latitud sur, 72° 28' 30'' longitud oeste

El presente proyecto de investigación se realizó en el Centro experimenta de Camacani, Plateria – Puno. En la campaña agrícola 2021- 2022. Cuyas coordenadas Geográficas de Latitud:15°56'58.94'' S y Longitud: 69°51'31.63'' O, con una altitud de 3860 msnm.

3.1.2. Ubicación política y geográfica de la Intercuenca

El área de investigación está localizada en la zona Sur de la Región Puno entre los distritos, Acora, Platería, Chucuito y Puno y en la zona Norte de Puno el distrito de Paucarcolla. Principalmente, se han seleccionado los ríos de la Intercuenca hidrológica de Puno, La Intercuenca por el Norte limita con la cuenca hidrográfica del río Illpa, por el Oeste con la cuenca hidrográfica del río Aguas Calientes y por el Sur con la cuenca hidrográfica del río Ilave. La Intercuenca, se ubica entre las coordenadas Latitud Sur: 15° 14' 36'' y Longitud Oeste: 72° 28' 30''. Abarca una extensión total de 86,142.72ha.

Tabla 1

Ubicaciones políticas y geográficas de las zonas investigadas.

Ubicación política			Ubicación geográfica		
Provincia	Distrito	Estación C.	Altitud (msnm)	longitud	Latitud
Puno	Puno	100110	3812	70°00'43.5"	15°49'34.5"
	Acora	100110	3935	69°48'39.0"	15°59'26.1"
	Laraqueri	110880	4100	70°03'00.0"	16°08'00.0"
	Taquile	110818	3850	69°41'27.6"	15°46'13.7"
	Ilave	110879	3880	69°38'42.0"	16°05'17.7"
	Juli	110880	3812	69°27'37.5"	16°12'13.6"
	Capachica	110788	3933	69°50'38.4"	15°36'56.0"

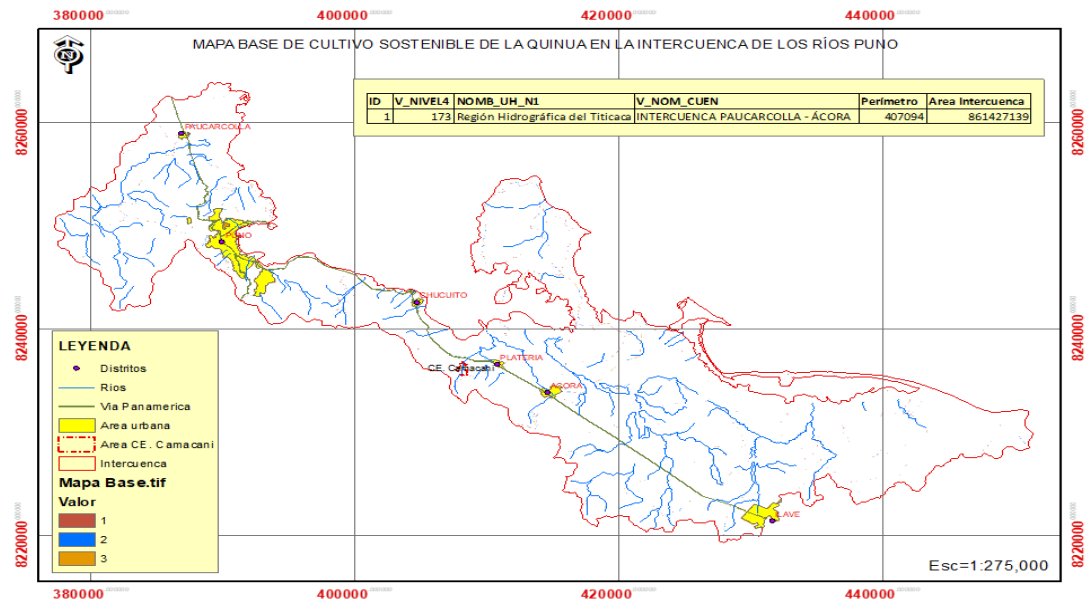
Figura 7

Ubicación del área experimental del Centro experimental de Camacani-Plateria.



Figura 8

Mapa de ubicación de los distritos de las zonas de estudio.



3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es cuantitativa, se caracteriza por analizar y recopilar datos numéricos de una manera sistemática y objetiva utilizando métodos y fórmulas empíricos.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Dado que estamos determinando la demanda hídrica del cultivo de la quinua, de información de la población de estudio esta depende de factores agroclimáticos, como es la temperatura, la velocidad del viento, humedad relativa, precipitaciones, radiación solar global y la evaporación, los cuales se ha recopilado datos de las estaciones meteorológicas como: Acora, Táquile, Puno, Capachica, Ilave, Juli, Laraqueri, de la provincia de Puno dado que están ubicadas dentro del ámbito de estudio de la intercuenca hidrográfica de Puno.



3.3.2. Muestra

La muestra dada para la determinación de la evapotranspiración del cultivo de quinua y su rendimiento de la campaña agrícola 2021-2022 se instaló en el centro experimental de Camacani del distrito de Plateria. En un terreno experimental de 537.6 m².

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.4.1. Determinación de la evapotranspiración del cultivo de quinua ETC

Para calcular la evapotranspiración de cultivo, primero se determinó la evapotranspiración de referencia, haciendo la recopilación de información de registros agrometeorológicos de variables climáticas tales como la temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y velocidad de viento de la estación meteorológica de Rincón de la Cruz Acora de SENAMHI, que es más cercano a centro experimental Camacani, lugar donde se instaló el trabajo de investigación; lo mismo que se recopiló información de radiación solar global de la agrometeorology NASA en vista que en las estaciones meteorológicas de SENAMHI Puno, no cuentan con registros de horas de radiación solar, solo se tiene en estaciones principales aledañas a intercuenca Puno, para determinar la evapotranspiración de cultivo de referencia.

El desarrollo del proceso de determinación de evapotranspiración de referencia es por el método indirecto Penman Monteith en hoja Excel, evaluando cada parámetro calculado, y así mismo se validó con el Software de programa Cropwat 8.0 dicho programa es validado por la FAO, que es el método indirecto más apropiado. Según (Allen et al., 2006).



a) Cálculo mediante la fórmula FAO-PENMAN-MONTHEIT

Según Allen et al., (2006) se aplicó la siguiente fórmula:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u(e_2 - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia [mm d-1]

R_n: Radiación neta en la superficie de la planta [MJ m-2 d-1]

G: Flujo térmico del suelo [MJ m-2 d-1]

T: Temperatura media [° C]

U₂: Velocidad del viento medida a 2 m de altura [m s-1]

(e_a-e_d) Déficit de la Presión de vapor [kPa]

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor [kPa ° C-1]

γ: Constante psicrométrica [kPa ° C-1]: ecuación

900: Factor de conversión

b) Evapotranspiración del cultivo de quinua

La estimación de evapotranspiración de cultivo se da por métodos directos e indirectos. En la presente investigación se determina por el método indirecto el consumo de agua o evapotranspiración de cultivo en la superficie cultivable en condiciones de humedad de suelo a capacidad de campo, fertilidad suelo y labores culturales. Para su cálculo se aplica la siguiente fórmula.

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde: ET_c : evapotranspiración de cultivo (mm/día).

ET_o : evapotranspiración de referencia (mm/día).

K_c : coeficiente de cultivo (adimensional).

Los estudios realizados a cerca del coeficiente de cultivo de quinua, existen pocos, como para condiciones de sierra. Para el presente trabajo de investigación se consideró el estudio realizado de Kc de (Choquecallata. et al., 1990). Determinaron la evapotranspiración del cultivo de quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el altiplano boliviano. Los resultados de dicho autor se muestran en la Tabla N° 2. El centro experimental de Patacamaya de la sierra central boliviano es similar a nuestro campo experimental, por las características agroclimáticas y altitud. También coinciden la época de siembra que fue instalada en Patacamaya (siembra: 23/11/1989, cosecha: 6/04/1990), periodo vegetativo: 134 días. En el presente estudio se instaló (siembra: 08/11/2021, cosecha: 22/04/2022), periodo vegetativo: 166 días.

Tabla 2

Valores ETM de la quinua de ETP (Penman Montith) y del Kc de la quinua Patacamaya (1989-1990).

Periodo	ETM (mm/día)	ETP (mm/día)	Kc	Fase Fenológica
15/12/1989- 17/12/1989	2.81	4.85	0.58	Cuatro hojas verdaderas
05/01/1990- 10/01/1990	2.77	4.4	0.63	Inicio de panojamiento
11/01/1990- 16/01/1990	3.10	4.25	0.73	Panojamiento
26/01/1990- 31/01/1990	3.31	3.68	0.90	Inicio de floración
03/02/1990- 11/02/1990	4.20	4.16	1.01	Floración o antesis
13/02/1990- 20/02/1990	4.53	4.19	1.08	Floración o antesis
01/03/1990- 08/03/1990	4.70	4.12	1.14	Inicio de grano lechoso
10/03/1990- 19/03/1990	4.06	4.06	1.0	Fin de grano lechoso
23/03/1990- 05/04/1990	3.25	4.17	0.78	Grano pastoso
Promedio	3.64	4.21	0.87	

Fuente Choquecallata et al, (1991)



c) **Cálculo de rendimiento de la producción del cultivo de quinua.**

Para el presente trabajo de investigación se instaló el cultivo de quinua en campo de centro experimental camacani UNA - Puno, con tres tratamientos y cuatro repeticiones por unidades experimentales para conocer la necesidad hídrica de cultivo de quinua en sus diferentes etapas fenológicas.

• **Características de ensayo general**

- Área total del experimento 537.6 m²
- Área experimental/ variedad 44.8 m²
- Número de surcos/parcela 6 surcos
- Distanciamiento entre surcos 0.80 m
- Longitud de surco 8 m

• **Siembra**

- Fecha de siembra 8 noviembre del 2021
- Densidad de siembra 10 Kg/ha
- Sistema de siembra chorro continuo

• **Abonamiento**

- Guano de isla

• **Clima**

El clima es frío templado, con temperatura máxima promedio anual de 15.6 °C y temperatura mínima promedio anual de 2.52 °C; una precipitación promedio anual de 767.95 mm. SENAMHI 2023.



- **Materiales y herramientas utilizadas**

- Estacas de madera
- Yeso
- Cordel

- **Herramientas**

- Pico
- Wincha métrica

- **Maquinaria**

- Tractor agrícola
- Arado de disco

- **Insumos**

- Semilla de quinua 538 gramos
- Guano de Isla de 18 Kg.

d) Descripción de las actividades

- **Suelo**

La evaluación de características de suelo de la parcela experimental, se procedió identificar el suelo más representativo abriendo calicatas a una profundidad de 1.50 m. encontrando tres horizontes de suelo, H21 34 cm, H-B 31 cm y H-C 84 cm se procedió muestrear en cada horizonte para ser llevados a laboratorio de suelos y agua de INIA – Puno, en la fecha 13 de octubre del 2021

para su análisis correspondiente, los resultados de laboratorio se muestran en la Tabla 3. Para ser calculadas las dosis de abonamiento en seguida se incorporó para su requerimiento nutricional de plantas de cultivo de quinua para su óptima producción.

Tabla 3

Análisis de caracterización y fertilidad de suelo del CE. Camacani

Parámetros	Unidad de Medida	CE. Camacani		
		Campaña Agrícola 2021 – 2022		
		Hz 1 21	Hz2 B	Hz3 C
Longitud de horizonte	Cm	34 cm	31 cm	84 cm
Arena	%	52.88	50.88	54.88
Limo	%	34	32	32
Arcilla	%	13.12	17.12	13.12
Clase Textural		FA	F	FA
Ph	(1:1)	6.24	6.74	7.05
C.E.	dS/m	0.109	0.034	0.032
M.O.	%	1.87	2	1.93
N. Total	%	0.069	0.074	0.072
P	Ppm	9.6	10	8.95
K	Ppm	703,76	527.82	469.17
CIC	meq/100g	8	12.8	9
Ca+2	meq/100g	4.2	11.2	4.9
Mg+2	meq/100g	2.3	3.1	3
K+	meq/100g	0.6	0.35	0.43
Na+	meq/100g	0	0.01	0.01
Suma de Cationes	meq/100g	7.1	14.66	8.34
Capacidad de campo	%	15.93	16.78	16.71
Punto de Marchitez Permanente	%	8.1	8.53	8.49
Densidad Aparente	g/cc	1.53	1.35	1.44

Fuente: Laboratorio de Agua y suelos INIA- Puno



- **Historial de campo experimental**

El campo donde se instaló el presente trabajo de investigación estuvo instalado el cultivo de tarwi en la campaña agrícola 2020 a 2021.

- **División de área**

La división de área de parcelas de unidades experimentales de las siguientes medidas cada una 8 x 5.6 cada parcela tuvo un área de 44.8 metros cuadrados.

- **Preparación de suelo**

Las labores de preparación de suelo se realizan en el mes de octubre con el tractor agrícola de arado de disco.

- **Siembra o instalación de cultivo**

El sembrío de quinua se procedió abriendo los surcos con tractor agrícola, el distanciamiento entre surcos es 0.80 m, la longitud de surco es 8 m. en cada unidad experimental, y se realizó la siembra de quinua a chorro continuo y la densidad de siembra es 10 Kg/ha.

- **Abonamiento**

Una vez de la apertura de surcos para la siembra de quinua, se hizo el cálculo de abonamiento tomando en cuenta los datos de los resultados de análisis de suelo de N P K. 60.08 – 70.63 – 1469.77, las recomendaciones de fertilización de FAO para el cultivo de quinua es 100 - 80 – 70 y el abonamiento se realizó

incorporando 1.5 kilos de guano de isla por unidad experimental estos valores se muestran con mayor detalle en tabla N°4.

Tabla 4

Diseño de abonamiento.

Fertilización	N	P205	K20
Recomendaciones de abonamiento (FAO)	100	80	70
Análisis de suelo	60.08	70.63	1469.77
Diferencia	39.92	9.37	-1399.77
Abonamiento realizado	46.9	33.5	6.7

Elaboración propia.

- **Deshierbas**

El cultivo de quinua es sensible a la competencia de la maleza sobre todo en primeras fases fenológicas, por lo cual se hizo un deshierbo manual temprano por la mayor incidencia en el campo experimental tipos de malezas como el nabo silvestre y amor seco (*Bidens pilosa*) cuando transcurría los 35 días después de la siembra, y el segundo cuando transcurría los 50 días después de la siembra aproximadamente.

- **Cosecha**

El grano de quinua se cosechó cuando adquirió una consistencia que resistió a la presión de la uña, se aceleró la cosecha por la presencia de mayor número de aves y palomas en el campo experimental. Se procedió con el venteado, secado y pesado.

- **Cálculo de rendimiento grano por hectárea**

Para obtener el rendimiento de las variedades de quinua, en t/ha, se pesa el grano obtenido en parcela de unidad experimental (Kg), y luego por el área de la parcela experimental m², multiplicado por 10,000 m² equivalente al área de 1ha.

La evaluación de pesos se realiza el día de la cosecha cuando se tiene el producto final.

$$Rdto \left(\frac{Kg}{ha} \right) = \frac{\text{Peso por parcela}(Kg)}{\text{Area de la parcela}(m^2)} * 10000m^2$$

$$Rdto \left(\frac{Kg}{ha} \right) = \frac{6.28(Kg)}{44.8(m^2)} * 10000m^2$$

$$Rdto \left(\frac{Kg}{ha} \right) = 1402 Kg.$$

3.4.2. Determinación de la necesidad de riego complementario en la Intercuenca Puno

Para conocer la necesidad de riego complementario para el cultivo de quinua en la Intercuenca hidrográfica de Puno, se recopiló datos históricos de variables agroclimáticas para analizar la variación de patrones de precipitación y variación de temperatura, en la estación meteorológica de Rincón de la Cruz Acora. De lo cual se determina los valores de evapotranspiración cultivo de referencia por el método Penman Monteith, haciendo el uso Software CROPWAT 8.0, y con valores de coeficiente de cultivo Kc permitió determinar la evapotranspiración de cultivo de quinua en sus diferentes etapas fenológicas y el mismo que se determina la precipitación efectiva por el método USDA S.C. en el Software de programa CROPWAT 8.0. Haciendo la comparación de los valores obtenidos de evapotranspiración de cultivo de quinua y precipitación efectiva permite conocer las etapas críticas de necesidad de riego



complementario para obtener un rendimiento óptimo de la producción de cultivo de quinua en zona de estudio del altiplano peruano.

3.4.3. Variables agroclimáticas para la producción de cultivo de quinua y clasificación de tierras por capacidad de uso mayor

Uno de los instrumentos de gestión de clasificación de tierras es el D.S. N°05-MIDAGRI del Ministerio de Agricultura Perú, ha servido para actualizar el estudio de suelos que hiciera Edy Cervantes en su tesis titulada “Zonificación de tierras forestales y tierras de cultivos en Limpio” En el Centro de Investigación y Producción UNA Camacani” hoy Centro Experimental. Se basó en la clasificación de grupos de aptitud de tierras. Determinó 3 grupos: Cultivos en limpio A, plantaciones forestales F y tierras de protección X. Se determinó siguiendo las pautas del Reglamento de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Mayor del Ministerio de Agricultura D.S. 17-2009-MA (Cervantes, 2012).

En la presente investigación, también se tomó de base referencial los estudios de la Intercuenca hidrográfica de Puno. El sistema de clasificación considera cinco grupos de capacidad de uso mayor, que se pueden presentar individualmente o en forma asociada, cuyas limitaciones se van incrementando desde tierras de cultivos en limpio a cultivos permanentes, pastos, producción forestal hasta tierras de protección, metodología seguida por el Programa Zonificación Ecológica Económica de la región Puno ZEE.

3.4.3.1. Modelamiento con SIG

Consistió en el empleo de superposición de capas temáticas en la estructura raster y vectorial en el programa ArcGis10.8, el procedimiento fue almacenar los datos temáticos del escenario natural, luego clasificar,

generar productos en base a las normas técnicas o peruanas, otra labor importante es explorar imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2, geolocalizando a partir de los puntos de control en el laboratorio para validarlo en el campo con el GPS. El método utilizado en el programa fue la Clasificación por proximidad de las unidades mínimas o píxeles”.

3.4.3.2. Modelamiento de Variables Agroclimáticos

a) **Modelo matemático Determinístico y prueba estadística de R^2 para la generación de mapa de Temperaturas.**

Se generó el mapa de calor para determinar la temperatura media anual con una frecuencia de 50 años en el entorno del proyecto. Se utilizó el método matemático Determinístico de Fries Andreas et al, para distribuir la temperatura mediante la interpolación en el algoritmo Spline, los modelos utilizados fueron:

- Modelo matemático (1) de Fries Andreas. *et al*, en la generación de mapa de temperatura determinada T_{Det} .

$$T_{Det} = T_{anual} + (\Gamma (Z_{Det} - Z_{estación}))$$

- Modelo Matemático (2) de Fries Andreas. *et al*, para generar el mapa de calor.

$$T_{x,y} = T_{Det} + \left(\Gamma \left(Z^{DEM(x,y)} - Z_{Det} \right) \right)$$

Donde:

T_{Det} = Temperatura determinada en raster, en °C

Z_{x-y} = Altitud en raster (DEM. Modelo de elevación digital) msnm,

$T_{x y}$ = Temperatura mensual en °C



r = Gradiente

Z_{Det} = Cota determinada para el área de estudio en msnm,

$Z_{Estación}$ = Cotas de estaciones meteorológicas en msnm.

b) Modelo matemático probabilístico Kriging para la generación de mapa de precipitaciones.

En la distribución de los valores de la precipitación se empleó el modelo matemático *Semivariograma, tipo Normal* predictivo de la estadística no paramétrica (Leal-Nares, 2010).

El modelo “Algoritmo Kriging Predictivo”. Consiste en una función continua, la cual muestra el comportamiento de una variable en distintas direcciones de un espacio geográfico, y permite asociar la variabilidad de la estimación con la distancia a partir de los puntos de las estaciones agrometeorológicas.

Los valores de la precipitación, se calcularon con la herramienta Geostatistical Analyst y calculadora Álgebra de Mapas en el software ArcGis 10.8.

Dónde: $\gamma(h)$ y $N(h)$ = Semivariograma Experimental, para todas las muestras localizadas en el espacio y el número total de pares de muestras, ambos se encuentran separados por una distancia h .

$Z_{(x)}$ = Valor de la muestra en una localización x

$Z_{(j)}$ = Valor de la muestra a la distancia h desde j .

Por su importancia y generalidad de estudio se estimó en el modelo en la función geoestadística “semivarianzas”, siguiente (Díaz, 2002).

c) **Modelo matemático Determinístico y prueba estadística R2 para la generación de mapa de RSG.**

La radiación solar se puede considerar el factor ambiental más importante en los cultivos bajo invernadero, pues influye en procesos relacionados con la fotosíntesis, los balances de agua y energía, y el crecimiento y desarrollo del cultivo. El estudio del parámetro de RSG debe responder al siguiente cuestionamiento:

- ¿Cómo se distribuye la radiación solar global en el área de estudio?
- ¿Cuál es la radiación solar global media de la Intercuenca?
- ¿Cuáles la energía óptima que influye en el crecimiento y producción de quinua en la Intercuenca?

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{|x_i - x_j| = |h|} (z(x_i) - z(x_j))^2$$

El modelo N°1, para determinar la Radiación Solar Global Determinada fue: Modelo Determinístico de (Fries et al, 2009).

$$RS_{Det} = RSG_{media} + (\Gamma (Zx, y - Alt_{med}))$$

El modelo N°2, para determinar la Radiación Solar Global o mapa de Isohélías fue: Modelo Determinístico de (Fries et all, 2009).

$$IRS_{xy} = RS_{rast} + \left(\Gamma \left(Z^{DEM(x,y)} - Z_{promedio} \right) \right)$$

Los pasos a seguir en el modelamiento de mapas de temperaturas y mapas de radiación solar global RSG, fueron:

1. Probar la consistencia de los datos históricos de RSG mediante el R^2 o coeficiente de determinación, R^2 .
2. Determinar la altitud de las estaciones agroclimáticas, $Z_{x,y}$ promedio (Altitud media de las estaciones) en x,y coordenadas UTM,
3. Determinar en la ecuación de la línea de tendencia el r (Gradiente de la ecuación lineal de R^2),
4. Generar la base de datos históricos de radiación solar global RSG media en base a la información de SENAMHI, en caso de que no existiera, se descarga de la plataforma agrometeorology de la NASA,
5. Generar el mapa de Isohelias (radiación solar de las estaciones meteorológicas) en base a las hipótesis planteadas (Mapa de RSG), Hipótesis Nula: La RSG no depende de la altitud, Hipótesis alterna: La RSG depende de la altitud de las estaciones agrometeorológicas, Al interpretar los resultados se compara el DEM (Altitud) con las RSG resultantes. Entonces se dice: A mayor altitud mayor RSG y menor altitud menor RSG. En el caso de la temperatura es al revés,



6. Determinar la media anual de las RSG para el ámbito de estudio (Radiación Solar Global determinada),

Nota: RSrast = Radiación solar raster y Modelo de elevación de terreno (DEM).

d) Modelamiento de las variables Topográficas Altitud y Pendiente de terreno.

DEM (Digital Elevation Model) es una representación en formato ráster, por lo general hace referencia a la superficie continua de la tierra, mediante un conjunto de puntos cuyos valores se asignan en X, Y y Z. (Fallas, 2007).

La información que se puede generar a partir del DEM tiene aplicabilidad en diferentes campos, mapas altitudinales, en la hidrología, análisis de riesgos, la planificación rural-urbana, y mapa de pendientes, etc.

Se ha utilizado la herramienta ArcGis10.8 en la generación de mapas altitudinales y pendientes:

En la generación de mapa de altitudes se empleó el comando de herramientas: ArcToolbox > Spatial analyst tool > raster clas > classify.

En la obtención de mapa de pendientes se aplicó la herramienta: ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Slope.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

a) Determinación de la evapotranspiración de cultivo de quinua

Para calcular la evapotranspiración de cultivo de quinua en centro experimental Camacani, primero se calculó los valores de evapotranspiración cultivo de referencia por el método indirecto Penman Monteith, utilizando la información de registros agrometeorológicos de estación más cercano a campo experimental, la información de datos agrometeorológicos se obtuvo de estación rincón de la Cruz Acora de SENAMHI de la campaña agrícola 2021 a 2022.

Los procedimientos que se siguió para la determinación los valores de evapotranspiración de cultivo de referencia es por el método indirecto Penman Monteith en hoja Excel, evaluando cada parámetro calculado, y así mismo se validó con el Software de programa Cropwat 8.0 dicho programa es validado por FAO, que es el método indirecto más apropiado.

Los valores calculados de evapotranspiración de cultivo de quinua, se tomó en consideración los valores de evapotranspiración cultivo de referencia, y los valores de coeficiente de cultivo de quinua de proyecto Patacamaya Bolivia (1989-1990), y con dichos valores se calculó el coeficiente de cultivo de quinua, para cada fase fenológica, en seguida se calcula para cada etapa fenológica en centro experimental Camacani con fines de riego. Los resultados calculados se muestran en la Tabla N° 5.

Tabla 5

Valores de ETc de cultivo de quinua de la variedad pasankalla, ETo (Penman Monteith) y por 8 fases el Kc en C.E. Camacani Puno – Perú.

Duración de estado vegetativo	Periodo días	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	Fase Fenológica	Etapas fenológica
05/12/2021 - 12/12/2021	34	3.75	0.58	2.18	Cuatro hojas verdaderas	Inicio
05/01/2022 - 14/01/2022	66	3.5	0.63	2.21	Inicio de panojamiento	
15/01/2022 - 29/01/2022	78	3.5	0.73	2.56	Panojamiento	Desarrollo
30/01/2022 - 02/02/2022	82	3.5	0.90	3.15	Inicio de floración	
03/02/2022 - 21/02/2022	105	3.5	1.05	3.68	Floración o antesis	
22/02/2022 - 02/03/2022	114	3.43	1.14	3.91	Inicio de grano lechoso	Medio temporada
03/03/2022 - 09/03/2022	120	3.35	1.00	3.35	Fin de grano lechoso	
10/03/2022 - 24/03/2022	135	3.35	0.78	2.61	Grano pastoso	Final
Promedio		3.49	0.87	3.02		

Elaboración propia.

La demanda hídrica de las tres variedades de cultivo de quinua se estimó para cuatro etapas fenológicas en todo el periodo vegetativo estas etapas son denominadas Etapa inicial (I), Etapa de desarrollo (II), Etapa media temporada (III) y Etapa final (IV), según (Allen *et al* 2006); los valores obtenidos son 2.18, 2.63, 3.66 y 2.61 respectivamente y son similares, el requerimiento total de las etapas fenológicas de las tres variedades del cultivo, como son: Pasankalla 452.84 mm, Salcedo INIA 462.07 mm y Blanca de Juli 471.83 mm, estadísticamente no existe diferencias significativas, existen diferencias en valores numéricas y matemáticos por el proceso de maduración en cada

fase fenológica en todo el periodo vegetativo del cultivo, los valores obtenidos se muestra con mayor detalle en las tablas de número 6, 7 y N° 8.

El resultado encontrado en el presente trabajo de investigación llega a ser; superiores a los valores reportados de Garcia et al., (2017), la demanda de agua de la quinua QLM01 requiere un volumen de 2623 m³/ha para una campaña; siendo el requerimiento de agua para la etapa de inicio, desarrollo, mediados de temporada y etapa Final 37.7, 58.8, 95.73 y 69.9 mm. En condiciones de costa peruana. Estos valores nos permiten analizar que las condiciones climáticas son diferentes en las regiones naturales de costa y sierra y también los factores de cultivo y por tanto el requerimiento de agua para el cultivo varia en diferentes zonas agroecológicas.

Tabla 6

Requerimiento hídrico de cultivo de quinua de la variedad pasankalla, ETo de método (Penman Monteith) y Kc de la quinua por cuatro etapas fenológicas C.E. Camacani Puno.

Duración de estado vegetativo	Periodo días	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	Etapa fenológica	Total acumulado
23/21/2021 - 21/12/2021	43	3.75	0.58	2.18	I Inicio	452.84
22/12/2022 - 02/02/2022	82	3.5	0.75	2.63	II Desarrollo	
03/02/2022 - 09/03/2022	120	3.45	1.06	3.66	III Medio temporada	
10/03/2022 - 22/04/2022	165	3.35	0.78	2.61	IV Final	

Elaboración propia

Tabla 7

Requerimiento hídrico de cultivo de quinua de la variedad Salcedo INIA, ETo de método (Penman Monteith) y Kc de la quinua por cuatro etapas fenológicas C.E. Camacani Puno.

Periodo	Periodo días	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	Etapas fenológica	Total acumulado
19/11/2021 - 21/12/2021	43	3.75	0.58	2.18	I Inicio	462.07
22/12/2022 - 02/02/2022	86	3.5	0.75	2.63	II Desarrollo	
03/02/2022 - 09/03/2022	121	3.45	1.06	3.66	III Medio temporada	
10/03/2022 - 23/04/2022	166	3.35	0.78	2.61	IV Final	

Elaboración propia

Tabla 8

Requerimiento hídrico de cultivo de quinua de la variedad Blanca de Juli, ETo de método (Penman Monteith) y Kc de la quinua por cuatro etapas fenológicas C.E. Camacani Puno.

Periodo	Periodo días	ETo (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)	Etapas fenológica	Total acumulado
20/11/2021 - 18/12/2021	40	3.75	0.58	2.18	I Inicio	471.83
19/12/2022 - 26/01/2022	79	3.5	0.75	2.63	II Desarrollo	
27/01/2022 - 17/03/2022	129	3.45	1.06	3.66	III Medio temporada	
18/03/2022 - 23/04/2022	166	3.35	0.78	2.61	IV Final	

Elaboración propia

Los valores estimados de precipitaciones efectivas por el método USDA recomendado por FAO y los valores de la evapotranspiración del cultivo nos llevan a

conocer la demanda de agua para el cultivo de quinua en la campaña agrícola 2021-2022, de un periodo vegetativo de 166 días. La demanda de agua para el cultivo de etapas fenológicas, como, etapa inicio(I), desarrollo (II) y etapa media temporada (III) es de 2.18, 2.63 y 3.66 mm/día, y la oferta de agua disponible es de: 2.75, 4.18 y 3.79 mm/día, realizado el análisis comparativo numérico de dichos valores nos indica, la humedad de suelo es suficientemente húmedo a capacidad de campo de acuerdo su requerimiento de agua de lo cual no requiere riego complementario. La demanda de agua en la etapa final faltando un promedio de 30 días para la cosecha es de: 2.61 mm/día y la precipitación efectiva es de 1.97 mm/día, por tanto, la deficiencia es 0.64 mm/día, en una hectárea representaría 6.4 m³/ha/día; con una frecuencia riego de 7 días cada riego se debería utilizar un volumen de 44.8 m³/ha como riego complementario, por lo cual se estaría utilizando eficientemente el agua. Y el requerimiento de para el periodo vegetativo es de: 462.07 mm. Por falta de agua, los granos de quinua no llegan a completar su tamaño adecuado y peso. El cual sería una de las causas de bajo rendimiento de cultivo de quinua en el centro experimental Camacani UNA - Puno. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 9 y en la figura N° 2.

Tabla 9

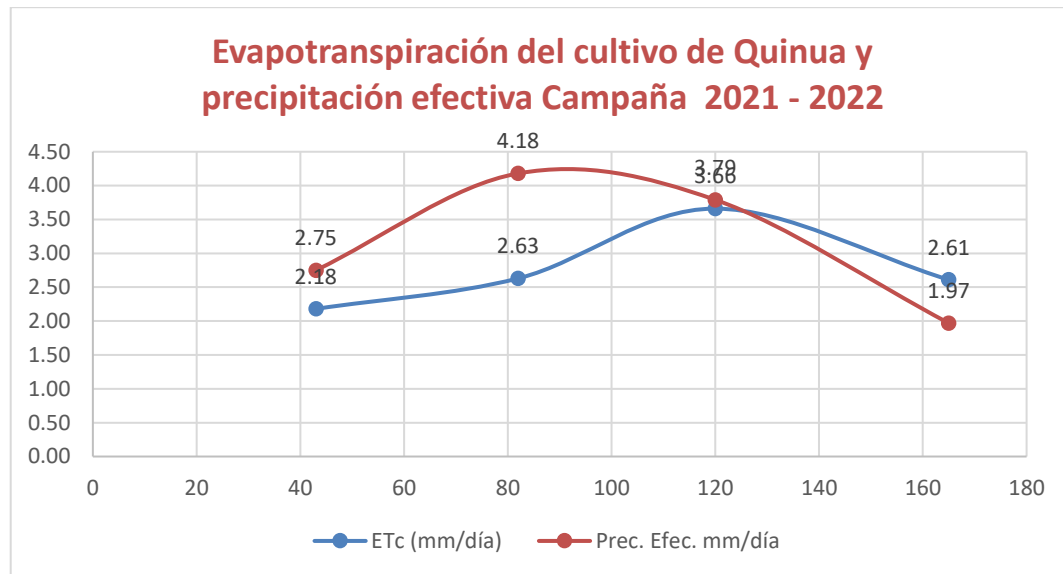
Comparación de evapotranspiración de cultivo de quinua y precipitación efectiva de la campaña agrícola 2021 – 2022, el balance de agua.

Etapa fenológica	Periodo días	ETc (mm/día)	Prec. Efec. mm/día	Balance de agua
Inicio	43	2.18	2.75	0.57
Desarrollo	82	2.63	4.18	1.55
Medio temporada	120	3.66	3.79	0.13
Final	165	2.61	1.97	-0.64

Elaboración propia.

Figura 9

Los valores de precipitaciones efectivas y evapotranspiración del cultivo de quinua.

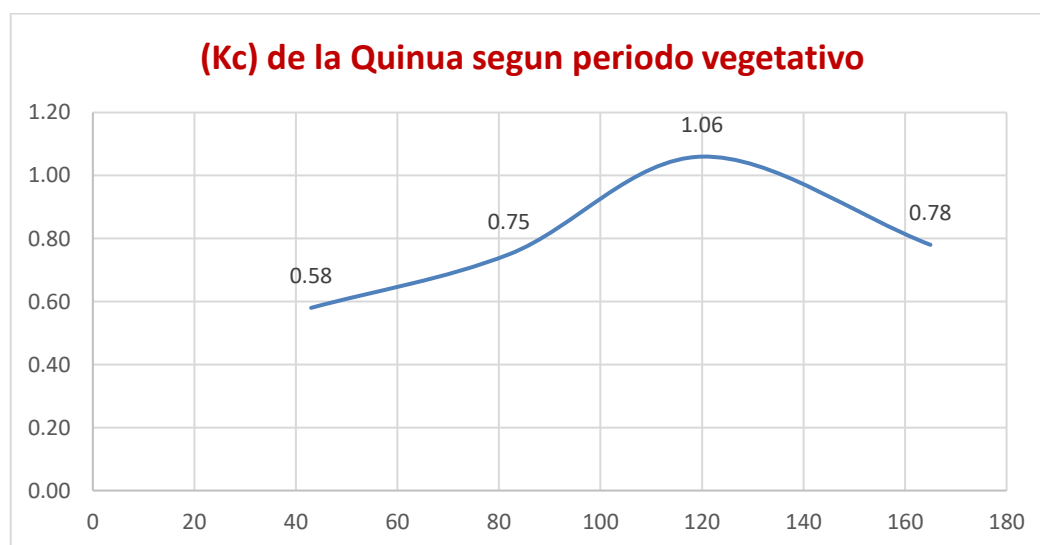


Elaboración propia.

Los valores obtenidos de coeficiente de cultivo K_c en el presente trabajo de investigación para cada una de las cuatro etapas de crecimiento de cultivo de quinua son. 0.58 etapa inicial, 0.75 etapa de desarrollo, 1.06 etapa de media temporada y 0.78 etapa final, tal como muestra en el gráfico N° 2.

Figura 10

Coefficiente de cultivo de la quinua campaña agrícola 2021 – 2022.



Elaboración propia.



b) Rendimiento de producción de la quinua

Conociendo el requerimiento hídrico en las etapas fenológicas de periodo vegetativo de cultivo de quinua, se estimó estadísticamente el rendimiento de las tres variedades de quinua, utilizando el método estadístico DCA en InfoStat. Los resultados de valores obtenidos se muestran en la tabla N° 10, según análisis de varianza de tres tratamientos y cuatro repeticiones en estudio, no existe diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), que entre tratamientos se tiene similar respuesta de la variable evaluada. El coeficiente de variación igual a 17.90% nos indica que los datos evaluados son confiables por ser menor al 30% para experimentos conducidos en campo. La prueba de tukey nos muestra que los tres tratamientos en estudio, estadísticamente son similares, habiendo solamente diferencia numérica o matemática, donde destaca tratamiento dos con mayor valor de 4900, seguido el tratamiento uno 4262.50 y el más bajo fue el tratamiento tres con 4080.

Tabla 10

Análisis de varianza de rendimiento de las tres variedades del cultivo de quinua (SC tipo I)

F.V.	S.C.	GL	C. M.	F.	p - valor
Modelo	2655841.67	5	531168.33	0.85	0.5609
Tratamiento	1482816.67	2	741408.33	1.19	0.3677
Repetición	1173025.00	3	391008.33	0.63	0.3269
Error	3746050.00	6	624341.67		
Total	6401891.67	11			

Fuente: Método estadístico InfoStat.

El rendimiento de las tres variedades de cultivo de quinua numéricamente varió en las parcelas de estudio de demanda hídrica sembradas en 8 de noviembre del 2021, la variedad Pasankalla obtuvo mayor rendimiento de 1.09 t/ha, seguido la variedad Blanca



de Juli obtuvo un rendimiento de 0.95 t/ha, y la variedad Salcedo INIA obtuvo menor rendimiento 0.91 t/ha. Los valores de rendimiento encontrados en el presente estudio son inferiores a los resultados reportados por Apaza et al. (2013), quien reportó valores de 3.54 t/ha para Pasankalla, 2.5 t/ha, en Salcedo INIA y 1.5 t/ha de Blanca Juli; esto posiblemente debido a tipo de suelo y bajo contenido de materia orgánica de 1.87% M.O. según resultados de análisis de suelo de campo experimental dicho valor nos indica que es un suelo de baja fertilidad, los resultados de análisis de fertilidad se muestra en el cuadro N° 1. La humedad de suelo fue alta en la etapa fenológica de desarrollo y media temporada, producto de la presencia de alta precipitación en el periodo vegetativo, en donde se observó la presencia enfermedad como el ataque de mildiu observado en la fase fenológico de ramificación e inicio de panojamiento, el mildiu veloso es el patógeno más severo en la quinua que acusa una reducción de rendimiento 33 a 58% menciona Danielsen *et al* (1999). El efecto más observado el sistema de producción agrícola, los cuales están siendo afectados por la variación de los patrones de precipitación (Jimenez, 2013).

Realizando una comparación de la demanda hídrica de cultivo de quinua y la precipitación efectiva en el periodo vegetativo del cultivo, con la misma cantidad de agua y/o contenido humedad de suelo; el rendimiento de las tres variedades de quinua, se obtuvo con mayor rendimiento la variedad Pasankalla y menor rendimiento Salcedo INIA. Se entiende que, la variedad Pasankalla es la que tiene mayor soportabilidad a humedad de suelo y enfermedad, y la variedad Salcedo INIA es sensible al exceso de humedad y enfermedad como el mildiu. La mayor presencia de lluvias, y, por ende, el contenido de humedad almacenada en el perfil de suelo, está vinculada con la producción, ya que la producción primaria depende principalmente de agua (FAO, 2002), y la humedad de suelo proviene de la precipitación efectiva, es la que mayormente utilizada

por el cultivo. A diferencia de otros cultivos, la quinua no requiere grandes cantidades de agua o precipitación; más bien, es una especie que requiere entre 200 a 500 mm de agua durante su periodo vegetativo (León, 2003). Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se muestran con mayor detalle en la tabla N° 11.

Tabla 11

Análisis de rendimiento de las variedades de cultivo de quinua

Variedad	Periodo vegetativo	Fertilización	ETc (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Rendimiento Kg/ha
Pasankalla	165	106 - 104 - 1476	452.84	523	1093.75
Salcedo					
INIA	166	106 - 104 - 1476	462.07	526	910.71
Blanca de Juli	166	106 - 104 - 1476	471.74	526	951.73

Elaboración propia

c) Determinación de la necesidad de riego complementario en intercuenca Puno.

En el presente estudio se logró conocer la necesidad de riego complementario del cultivo de quinua para un periodo vegetativo de 166 días en la intercuenca hidrográfica de Puno. De la forma siguiente: se calculó los valores de evapotranspiración de cultivo de quinua, utilizando los valores de ETo del método Penman Montieth y Kc. En seguida; se calculó la precipitación efectiva por método USDA, recomendada por FAO. Mediante datos reales recopilados de registros históricos agrometeorológicos de estación meteorológica de Rincón de la Cruz Acora principalmente, de un promedio más de diez años se determinó la oferta disponible de agua de lluvia, la demanda de agua del cultivo en diferentes etapas fenológicas, como son, etapa de inicio (I), etapa de desarrollo (II) y etapa media temporada (III) fueron: 2.15, 2.61 y 3.70 mm/día; y la oferta de agua



disponible es: 2.36, 4.11 y 4.19 mm/día, realizado análisis numérico matemático nos lleva a conocer en estas etapas no requiere riego complementario.

Para la etapa final de un promedio de 30 días faltando a la cosecha se requiere el riego complementario. La demanda de agua en el periodo final es de 3.31 mm/día y la precipitación efectiva es de 2.33 mm/día, por tanto, la deficiencia es 0.98 mm/día, que en una hectárea representaría 9.8 m³/ha/día; con una frecuencia riego de 7 días cada riego se debería utilizar un volumen de 68.6 m³/ha, por lo cual se estaría utilizando eficientemente el recurso agua.

Asimismo, se calculó el requerimiento de agua para el periodo vegetativo es de: 450.94 mm. Por falta de agua, los granos de quinua no llegan a completar un tamaño adecuado y peso.

El cual sería una de las causas de bajo rendimiento de cultivo de quinua en zona de estudio de intercuenca o en la sierra del altiplano peruano. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla número 12 y 13, y en el gráfico N° 3. Según el estudio de investigación realizado Charaja (2017), reporta valores de evapotranspiración mensual del cultivo de quinua, para un periodo vegetativo de 150 días. Varía de 311.0 a 547.6 mm, en promedio para toda la región es de 445.1mm.

Estimado mediante el método de Penman-Monteith. Estos valores reportados nos dan entender que son similares a valores encontrados en el presente trabajo de investigación.

Tabla 12

Valores de ET_c de quinua de la variedad Blanca de Juli, ET_o calculadas por método (Penman Monteith).

Duración de estado vegetativo	Periodo días	ET_o (mm/día)	K_c	ET_c (mm/día)	Etapas fenológica	Prec. Efec. mm.
23/21/2021 - 21/12/2021	43	3.71	0.58	2.15	I Inicio	450.94
22/12/2022 - 02/02/2022	82	3.48	0.75	2.61	II Desarrollo	
03/02/2022 - 09/03/2022	120	3.49	1.06	3.70	III Medio temporada	
10/03/2022 - 22/04/2022	165	3.31	0.78	2.58	IV Final	

Elaboración propia

Tabla 13

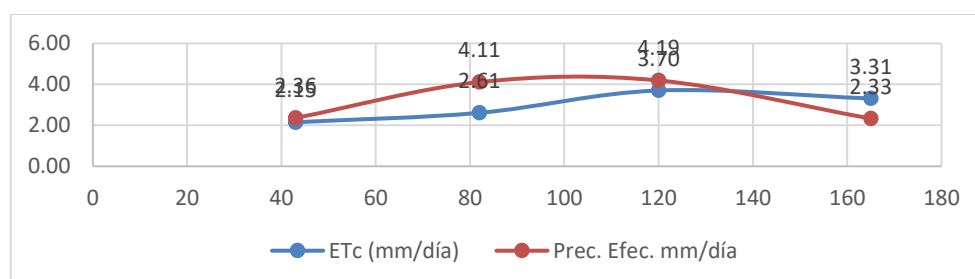
Comparación de los valores de evapotranspiración del cultivo de quinua y precipitación efectiva de promedio de los periodos de 2012 a 2022.

Etapas fenológica	Periodo días	ET_c (mm/día)	Prec. Efec. mm/día	Balace de agua
Inicial	43	2.15	2.36	0.21
Desarrollo	82	2.61	4.11	1.5
Media temporada	120	3.70	4.19	0.49
Final	165	3.31	2.33	-0.98

Elaboración propia

Figura 11

Evapotranspiración del cultivo de quinua y precipitación efectiva promedio de los periodos 2012 a 2022





d) Zonificación de variables agroclimáticas para la producción del cultivo de quinua en la intercuenca hidrográfica de Puno

Clasificación de tierras por Capacidad de Uso Mayor para cultivo de Quinua: Los resultados para el CE, en la capa temática de Clasificación de tierras por capacidad de uso mayor según señala Cervantes Edy; la extensión total estudiada, considerando la parte de Camacani y Camata, da un área total de 100.04 ha, muestran una aptitud para cultivos en limpio, con ciertas limitaciones destacando las clases: A2 y A3, con 33.37% del área. (Cervantes, 2012).

En el trabajo actual, se determinaron un área total de 86,142.00 ha (Extensión total de los ríos de la Intercuenca Puno), de los cuales se evaluaron; 7,045.4840 ha de aptitud óptima para el cultivo de quinua, representa el 8.18%, aptitud adecuada 1,022.1967 ha con 1.19%, y tierras sin aptitud, 78,072.1181ha, representa el 63%, que son inaceptables para instalar el cultivo de quinua. Vale decir que entre esta evaluación se encuentra la aptitud óptima del CE. Camacani. Ver Tabla 14, y Fig. 12. La aptitud óptima, de la tierra es una buena oferta, de la cual depende el rendimiento de cultivo.

El calentamiento global de la tierra, al generar variaciones en el comportamiento del clima y del tiempo, ocasiona una crisis mundial en la producción de cultivos alimenticios de alto valor nutritivo, como la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), que se plantea como un cultivo alternativo ante este problema. La investigación tuvo lugar en el Centro Experimental CE, Camacani, de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. (SILVIA, 2017)

Tabla 14

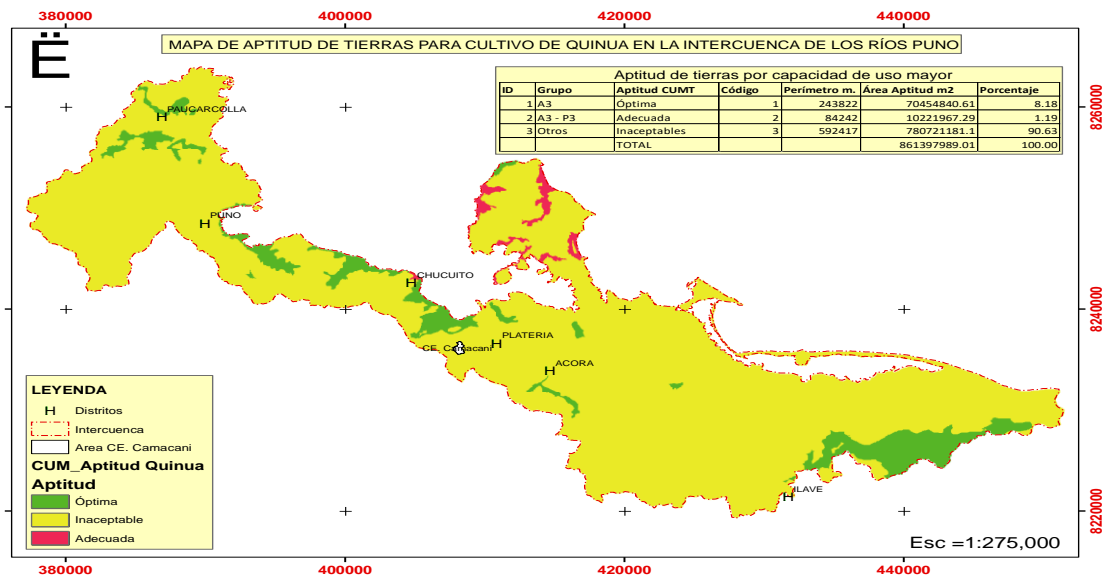
Clasificación de capacidad de uso mayor de tierras en la Intercuenca.

ID	Grupo	Aptitud CUMT	Código	Perímetro	Área Aptitud m ²	Porcentaje
1	A3	Óptima	1	243822	70454840.61	8.18
2	A3 - P3	Adecuada	2	84242	10221967.29	1.19
3	Otros	Inaceptables	3	592417	780721181.1	90.63
Total					861397989.01	100.00

Elaboración propia

Figura 12

Mapa de aptitud de tierras para el cultivo de quinua en la Intercuenca



e) **Modelamiento de Aptitud Agroclimática para el cultivo sostenible de la Quinua**

- **Relaciones de la temperatura en las zonas de aptitud de tierras de cultivo.**

La temperatura media anual del área de estudio está analizada a partir de 9 Estaciones Agroclimáticas, con registros históricos de más de 50 años. El área óptima de temperatura que influye favorablemente está entre 6 a 9°C, ocupa una extensión de 7,857.1337 ha, representa el 9.13% del área total de la Intercuenca.

Tabla 15

Categorías de temperaturas influyentes en la producción de cultivo de quinua

ID	Aptitud Temperatura	Código	Perímetro	Área de aptitud	Porcentaje
1	Óptima	1	205204.62	78571337	9.13
2	Adecuada	2	392720.76	113076046	13.14
3	Inaceptable	3	538220.08	668852745	77.73
Total				860500127	100.00

Elaboración propia

En el área de investigación la quinua puede tolerar una amplia categoría de temperaturas, precipitación, y relieve. (Ortiz, 2012). Ver Tabla 15, y Fig. 14.

- **Prueba de consistencia por el método Coeficiente de Determinación R²**

Con la prueba estadística R², se determinó la consistencia de los datos históricos de la temperatura, resultado el R² en 0.49, lo cual es aceptable para la correlación altitud y temperatura, en la figura se observa que a mayor altitud menor temperatura. Fig. 13.

Figura 13

Prueba de consistencia mediante el R² (coeficiente de determinación)

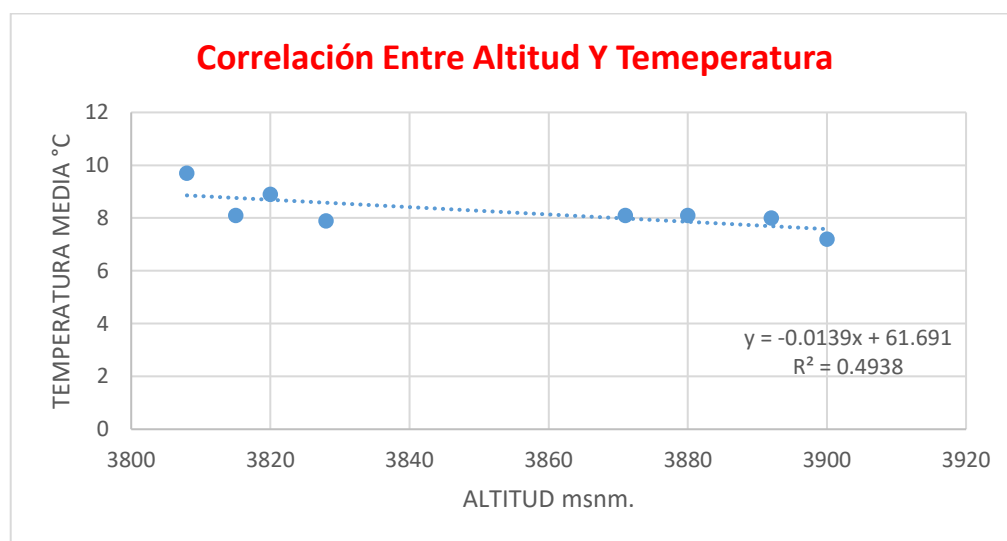
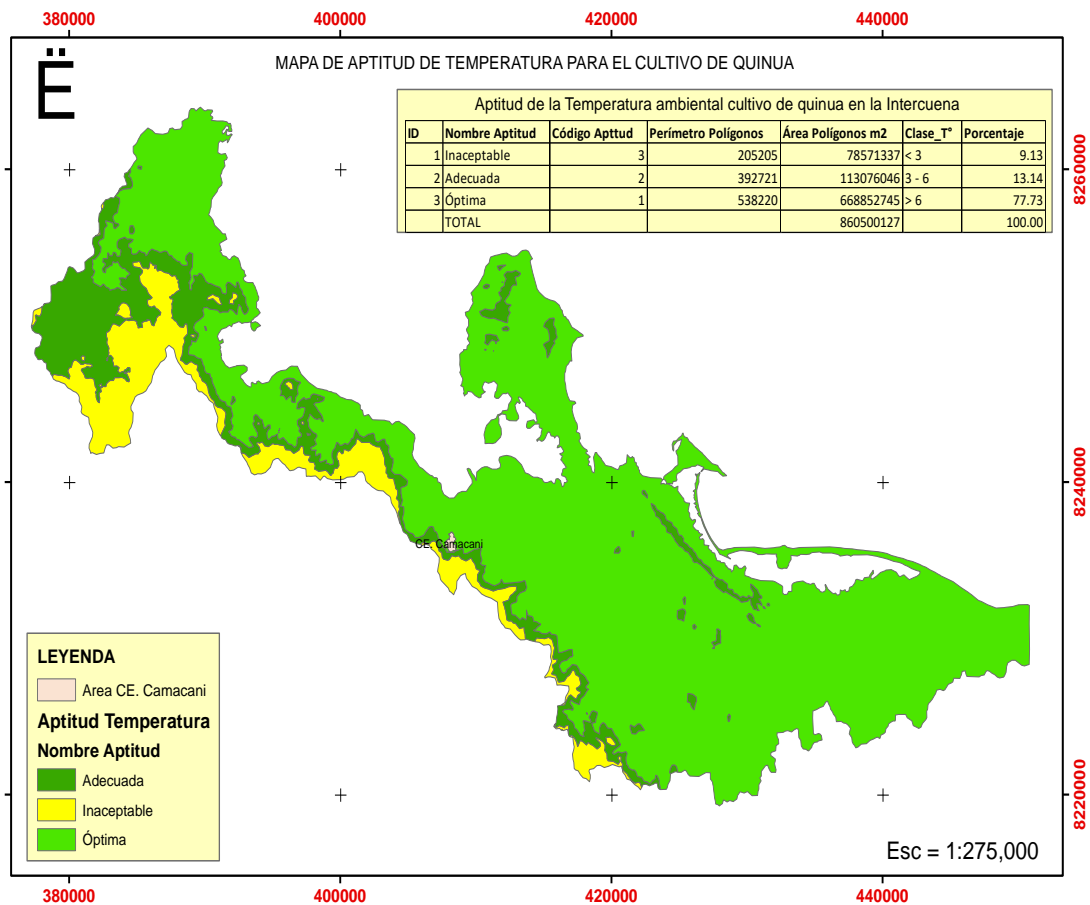


Figura 14

Mapa de temperaturas en la aptitud de tierras para el cultivo de quinua.



- **Relaciones de la precipitación en las zonas de aptitud de tierras de cultivo.**

La precipitación media anual histórica del área de estudio está analizada a partir de 13 Estaciones Agroclimáticas, con registros históricos de más de 50 años. El área óptima de precipitación que influye favorablemente está entre 755 mm a 792 mm, ocupa una extensión de 77,762.3869 ha, representa el 90.30% del área total de la Intercuena. Ver Tabla 16, y Fig. 15.

Tabla 16

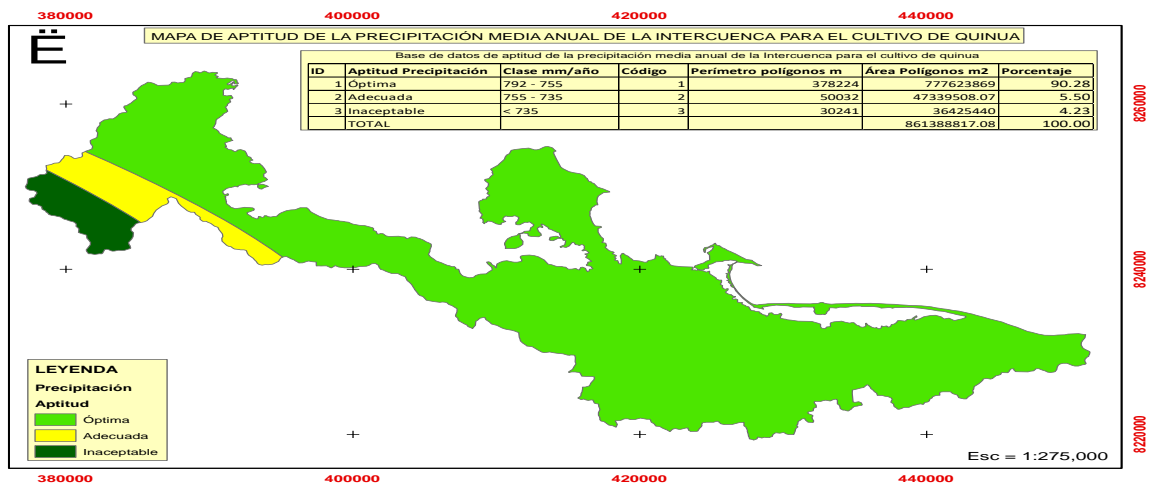
Categorías de precipitaciones influyentes en la producción de cultivo.

ID	Aptitud Precipitación	Clase mm/año	Aptitud	Perímetro polígonos m	Área Polígonos
1	Óptima	792 - 755	1	378224	777623869
2	Adecuada	755 - 735	2	50032	47339508.07
3	Inaceptable	< 735	3	30241	36425440
Total					861388817.08

La tabla N°16 expone las curvas de las Isohelias entre 735 a 792 mm/año, la primera corresponde a la zona sin vocación de tierras para el cultivo de quinua, es la zona alejada de la masa de agua del Lago Titicaca y la mayor precipitación ocurre en las zonas próximas de la masa de agua (Diaz, 2011). Las precipitaciones óptimas están entre 755 mm hasta 792 mm media anual.

Figura 15

Aptitud de precipitación influyente en la producción de cultivo de quinua.



- **Relaciones de la radiación solar global RSG en las zonas de aptitud de tierras.**

La radiación solar global, factor fundamental que en múltiples del entorno influye aspectos, tiene aptitud de las tierras para diversos usos implicaciones directas.

Distribución y variabilidad de la radiación solar comprensión esencial para la gestión sostenible de las tierras y la planificación del uso del suelo en diferentes regiones.

La tabla N°17 expone las curvas de las Isohelias entre 6.60 a 7.00 Mj/m²/día, entre esta categoría corresponde a la zona con aptitud óptima, que influye favorablemente en la producción de los fotosintatos del cultivo de quinua y varía entre 6.60 a 6.65 Mj/m²/día.

La radiación solar alta de 510 cal/cm²/día considerando, una radiación global elevada favorece una fotosíntesis intensa y una producción vegetal óptima (Mujica, 2001) El instrumento que mide la radiación global es el Piranómetro Espectral en W/m²/día.

- **Prueba de consistencia de RSG por el método Coeficiente de Determinación R²**

Con la prueba estadística R², se determinó la consistencia de los datos históricos en 0.90, lo cual es considerado como consistencia alta y se aceptan los datos en la generación de las Isohelias y mapa de radiación solar, cuya hipótesis alterna es corroborada. “La radiación solar depende de la altitud. “A mayor altitud mayor radiación solar”. Ver Tabla 17, Fig. 16 y 17

Figura 16

Correlación lineal entre la radiación solar global y altitud

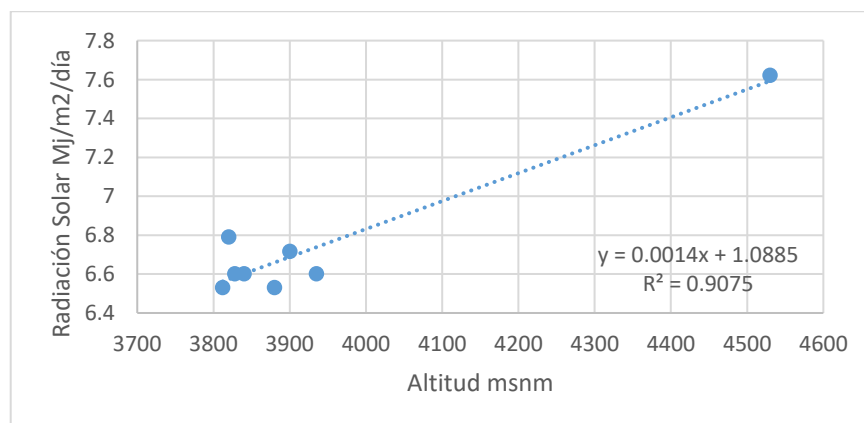


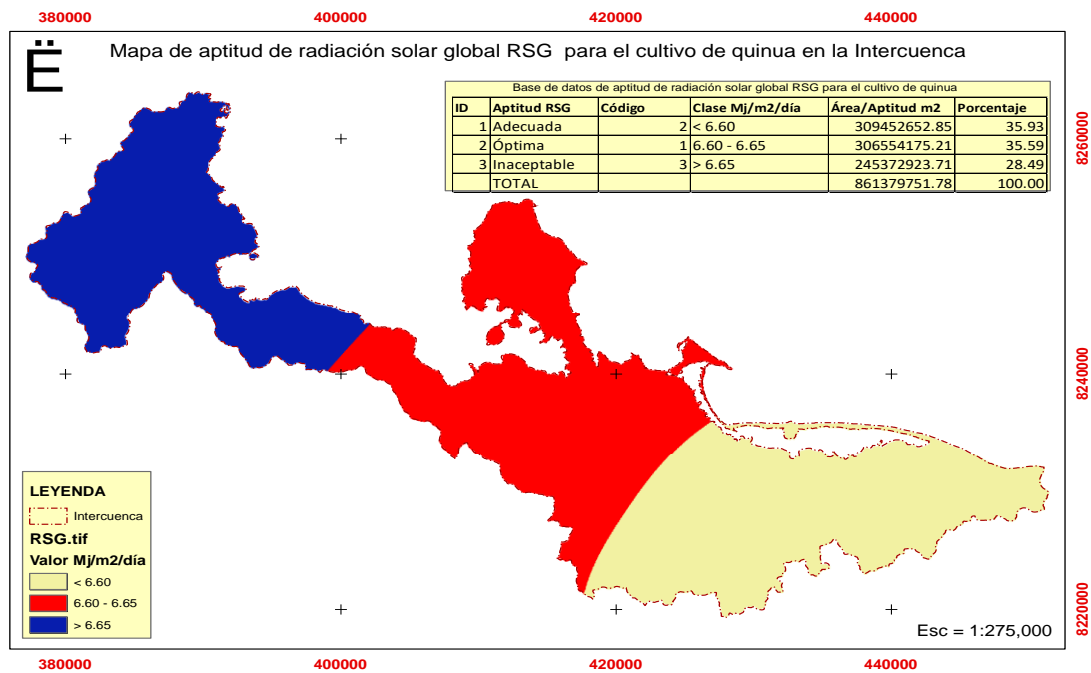
Tabla 17

Radiación Solar Global influyente en Mj/m²/día en el área de proyecto

ID	Aptitud RSG	Código	Clase Mj/m ² /día	Área/Aptitud m ²	Porcentaje
1	Adecuada	1	< 6.60	309452652.85	35.93
2	Óptima	2	6.60 - 6.65	306554175.21	35.59
3	Inaceptable	3	6.65 – 7.00	245372923.71	28.49
TOTAL				861379751.78	100.00

Figura 17

Radiación Solar Global RSG influyente en el área del proyecto



- **Modelamiento de Aptitud Topográfica para el cultivo sostenible de quinua**

El mapa de altitudes se generó a partir del DEM (modelo de elevación de terreno) en el software Arcgis10.8. Se clasificó en tres categorías; menores a 3900 msnm, entre 3901 a 4000 y mayores de 4000 msnm. Representa para la primera categoría el 71.32%, 13.09 y 15.595, respectivamente. Cada una de las categorías se denominan; óptima, adecuada e inaceptable para el cultivo de quinua. Siendo la óptima favorable para el

cultivo y está ubicada en el área adyacente al Lago Titicaca. La topografía del terreno es ligeramente inclinada, con profundidad de 20 cm, en promedio. Ver Tabla 18.

Según, Mujica (1993) en Perú, indica que la quinua tiene la capacidad de desarrollarse en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar, un rango más amplio en comparación con otros países, gracias a la diversidad de esta planta. En relación con la topografía, la homogeneidad se observa en aspectos como el color del suelo, el contenido de materia orgánica y el pH en las unidades mínimas de terreno, que se representan en píxeles de 30x30 metros. En la aptitud óptima de los cultivos de quinua favorece la pendiente del terreno menores a 25% y representa el 71.32%, en el laboreo se utiliza la maquinaria y la Yunta, seguido por la pendiente 25 a 50%. Ver Tabla 19, y Fig. 18.

Tabla 18

Aptitud de zonas altitudinales en la producción de cultivo sostenible de quinua

ID	Aptitud	Código Aptitud	Clase Altitud	Perímetro	Área Aptitud	Porcentaje
1	Óptima	1	< 3900	602847.7024	614403341.86	71.32
2	Adecuada	2	3901 – 4000	507953.2873	112731717.33	13.09
3	Inaceptable	3	> 4000	291305.0717	134291933.43	15.59
Total					861426992.63	100.00

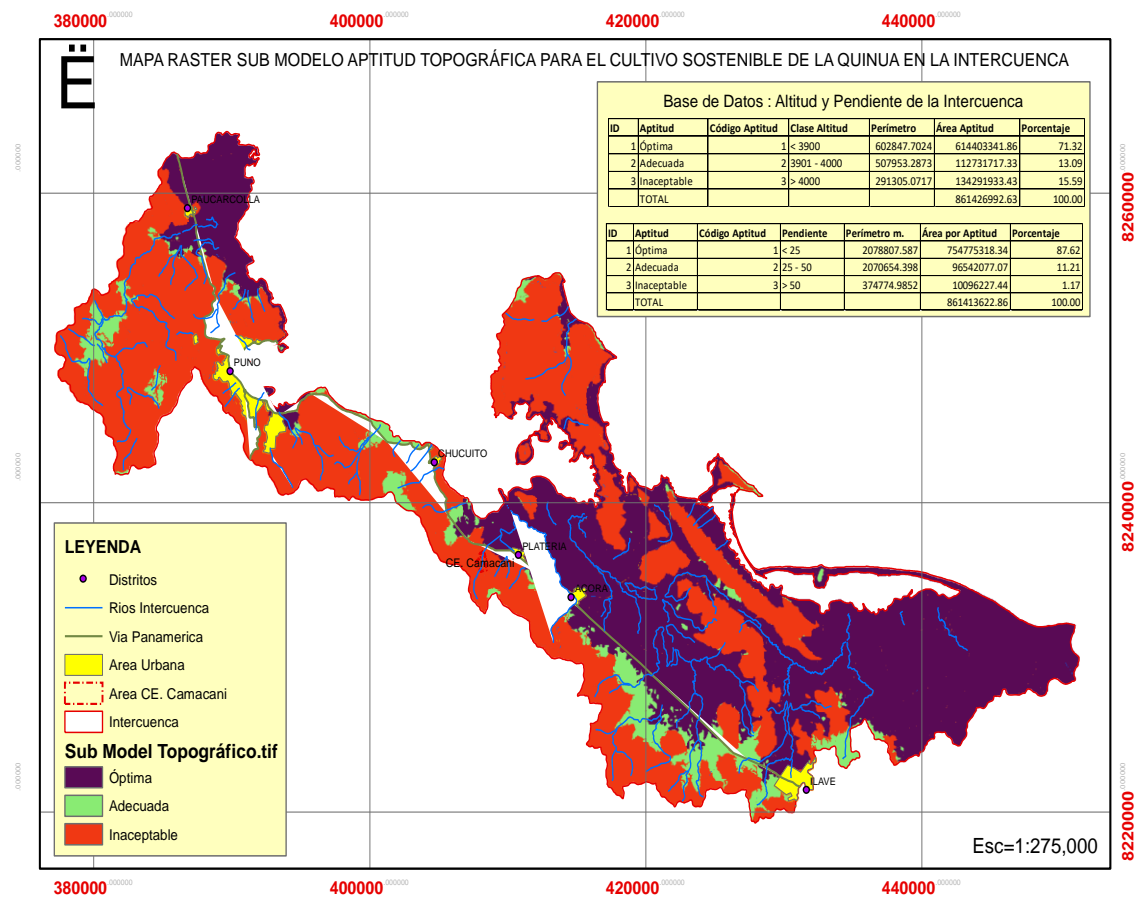
Tabla 19

Aptitud de pendientes de terreno en la producción de cultivo de quinua

ID	Aptitud	Código Aptitud	Tipo Pendiente	Perímetro m.	Área por Aptitud	Porcentaje
1	Óptima	1	< 25	2078807.587	754775318.34	87.62
2	Adecuada	2	25 – 50	2070654.398	96542077.07	11.21
3	Inaceptable	3	> 50	374774.9852	10096227.44	1.17
Total					861413622.86	100.00

Figura 18

Mapa topográfico en base a altitud y tipo dependiente de terreno.



- **Modelamiento de Aptitud Agroclimática de tierras para el cultivo sostenible de la Quinua**

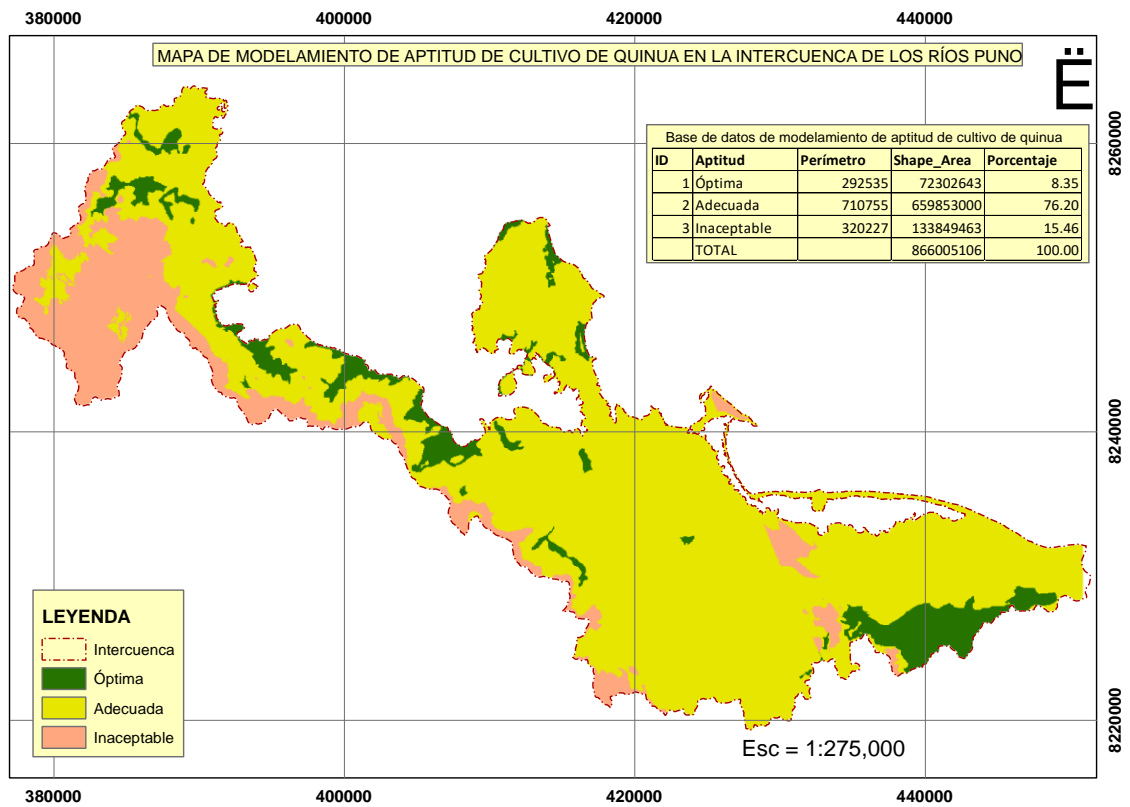
El comando de herramientas usadas en el proceso de generación de la capa final “Modelación Agroclimática de aptitud de las tierras de la Intercuenca de los ríos Puno”, fue el Arc Toolbox > Espacial Analyst tool > Overlay > Weighted Overlay (Máxima probabilidad ponderada). Las variables Agroclimáticas se ponderaron de la siguiente manera: para la variable CUMT un 45%, Agroclimática 35% y Topográfica 20%. De esta capa resultante se disminuyó las áreas que ocupan los elementos del mapa Base. Los resultados de la modelación fueron; óptima 7,230.2643 ha, representa el 8.35%, adecuada 65,985.3000 ha, con 76.20% y áreas no aceptables para el cultivo de quinua 13,384.9463

ha, hace el 15.46%. Estas zonas, están distribuidas en el espacio territorial aleatoriamente.

Ver Fig. 19.

Figura 19

Mapa de modelamiento de aptitud agroclimático para el cultivo sostenible de la quinua.





V. CONCLUSIONES

- La evapotranspiración del cultivo de quinua en sus diferentes etapas fenológicas en condiciones de secano en la estación experimental Camacani, se obtiene los siguientes resultados: Etapa inicial 2.18 mm/día, etapa de desarrollo 2.21 mm/día, etapa media temporada 3.54 mm/día y etapa final 2.61 mm/día; utilizando el método indirecto (Penman Monteith), para el cultivo de tres variedades de quinua. Según los valores obtenidos de evapotranspiración cultivo de quinua y la precipitación efectiva se logró estimar el rendimiento de las tres variedades de quinua, el mayor rendimiento que obtuvo es la variedad Pasankalla 1.09 t/ha, seguido la variedad Blanca de Juli 0.95 t/ha, y ultimo la variedad Salcedo INIA 0.91 t/ha. Los valores obtenidos, estadísticamente, no existen diferencias significativas.
- La oferta hídrica aprovechable en la intercuenca hidrográfica de Puno, analizando los valores promedios obtenidos de evapotranspiración de cultivo de quinua y precipitación efectiva de los once últimos años para cada etapa fenológica se logró conocer, en etapa de inicial, etapa de desarrollo y etapa de media temporada no requiere riego complementario, y en la etapa final se tiene la necesidad de riego complementario, la demanda de agua en este periodo final es de 3.31 mm/día y la precipitación efectiva es de 2.33 mm/día, por tanto, la deficiencia es 0.98 mm/día, en una hectárea representaría 9.8 m³/ha/día; con una frecuencia riego de 7 días, cada riego se deberá utilizar un volumen de 68.6 m³/ha. De lo cual se estaría utilizando eficientemente el agua.
- Las potencialidades agroclimáticas para la producción de cultivo de quinua en la intercuenca Puno, los resultados obtenidos son: La extensión total de la Intercuenca abarca 86,142.00 ha. En esta extensión, la aptitud óptima de cultivo de quinua, es



7,045.4840 ha, que representa el 8.18%. El área óptima de temperatura que influye favorablemente está entre 6 y 9 °C, ocupa una extensión de 7,857.1337 ha, que representa el 9.13% del área total de la Intercuenca. Las precipitaciones óptimas están entre 755 mm hasta 792 mm media anual, y las Isohalias de la RSG, corresponden a la zona con aptitud óptima, que influye favorablemente en la producción de los fotosintatos del cultivo de quinua y varía entre 6.60 a 6.65 $\text{Mj/m}^2/\text{día}$ la prueba estadística R^2 es 0.90 y es considerado como consistencia alta. La modelación de aptitud agroclimática de la Intercuenca Puno fue, óptima: 7,230.2643 ha, que representa el 8.35%. Estas zonas, están distribuidas en el espacio territorial aleatoriamente.



VI. RECOMENDACIONES

- Considerar los valores obtenidos de evapotranspiración de cultivo de quinua, determinados en el presente trabajo de investigación, para efectos de prever la óptima humedad de suelo en estados críticos de etapa fonológica de periodo vegetativo del cultivo para incrementar la producción de grano de quinua para la seguridad alimentaria de la población de intercuenca Puno.
- Prevenir un riego complementario para la etapa final de la fenología de cultivo de quinua para efectos de que pueda completar el tamaño de grano, de manera que se pueden obtener mayores rendimientos de grano de quinua.
- Los resultados de la zonificación de variables agroclimáticas de esta investigación deberían servir a los agricultores de la Intercuenca Puno, para tomar decisiones a la hora de la planificación de uso sostenible de las tierras para cultivo de quinua.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L., Smit, M., & Raes, D. (2006). Evapotranspiración del cultivo. In *organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación* (Vol. 45). <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Arapa, J. (2022). El coeficiente de cultivo (kc) en la investigación y aplicación en los cultivos andinos en el Perú. In *Revista Científica I+D Aswan Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.51892/rcidas.v2i1.17>
- Avilés Landívar, H. (2006). El valor del agua en la agricultura. *La Granja*, 5(1), 28. <https://doi.org/10.17163/lgr.n5.2006.05>
- Belizario, G. (2015). Efectos Del Cambio Climático En La Agricultura De La Cuenca Ramis, Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation*, 17(1), 49–55. <https://doi.org/10.18271/ria.2015.77>
- Charaja, A. (2017). Evapotranspiración de los cultivos papa, quínoa y alfalfa estimados mediante métodos empíricos aplicados a la cuenca del lago titicaca peruano [Universidad Nacional Del Altiplano Escuela de post grado]. In *Tesis*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Choquecallata., Vacher, J., Fellmann, T., & Imaña, E. (1990). Evapotranspiracion Maxima Del Cultivo De La Quinoa Por Lisimetria Y Su Relacion Con La Evapotranspiracion Potencial En El Altiplano Boliviano. *Congreso Internacional Sobre Cultivos Andinos*, 7., La Paz (BOL), 1991/02/04-08. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-11/38553.pdf
- Dale, T., Yahia, L., Fateh, A., Belhouchett, K., & Toumi, L. (2017). Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Update Publishing*, 1, 222. <https://doi.org/10.25081/jsa.2017.v1.67>
- García, J., Huahuachampi, J., & Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinoa QML01 (*Chenopodium Quinoa* Willd) en la Molina. *Anales Científicos*, 78(2), 200. <https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1057>



- Garcia, M., Raes, D., & Erik, J. (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management*, 60(2), 119–134. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00162-2)
- Garrafa, N. (2017). Demanda hídrica del cultivo de papa variedad canchan (*Solanum tuberosum*) con riego por goteo en el Centro Agronómico K'ayra - Cusco [Universidad Nacional de San Antonio de Abad]. In *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/2874/253T20171097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gomez, J. (2020). Análisis comparativo en la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos de papa, quinua y cebada mediante métodos indirectos - Cuenca Ilave [Universidad Nacional Del Altiplano]. In *Tesis*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la Región Andina de Colombia. *Cenicafe*, 57(4), 288–298. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/232/1/arc057%2804%29288-298.pdf>
- Limachi, E., Choque, V., & Canivillo, M. (2021). Propuest de programa para la optimizacion delos recursos hidricos en las zonas aridas de Tacna ,Peru. *Revista Universidadlo.sld.cu/pdf/rus/v13n4/2218-3620-rus-13-04-521.pdf*
- Mamani, M. (2018). *Comportamiento agronómico de diez cultivares de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) procedentes del Valle Altoandino, en zona árida*. [Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa Facultad De Agronomía Escuela]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/131b4739-ed51-43a4-a2a2-4f98bf49e690/content>
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2016). Guia del cultivo de la quinua. In *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Universida, Vol. 1). 2016. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>



- Mero, R. (2021). Demanda hídrica de los Cultivos Agrícolas de la Península de Santa Elena [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. In *Universidad Estatal Península de Santa Elena*. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/2100>
- Monterroso, A., & Gómez, J. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, 1–19. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- Núñez, G., Velázquez, D., Pelayo, F. J., & Barboza, P. (2019). Analysis of reference evapotranspiration behavior during the rainy season at five weather stations in the Lerma-Chapala basin. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(2), 147–159. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.06.014>
- Núñez, N. (2019, April 29). LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) Alternativa de seguridad alimentaria para zonas desérticas. *Ciencia & Desarrollo*, 19, 19–24. <https://doi.org/10.33326/26176033.2015.19.472>
- Porras, Z. (2015). Universidad Nacional Agraria La Molina Universidad Nacional Agraria La Molina" [Universidad Nacional Agraria La Molina]. In *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3271>
- Quispe, J., Quispe, U., Hinojosa, R., & Quispe, J. (2020). Determinación de coeficientes de uso consuntivo (Kc) en cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) por el método lisimétrico en el valle del Mantaro. *Puriq*, 2(3), 196–208. <https://doi.org/10.37073/puriq.2.3.88>
- Rigler, C., Sulser, T., & Robertson, R. (2009). Cambio climático el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. *Instituto Internacional de Investigación Sobre Políticas Alimentarias*, 98(8), 578–586. <https://doi.org/10.1007/s10273-018-2334-3>
- Rios, E., Cotler, E., Gonzales, I., & Pineda, R. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión* (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed.); 1st ed.). SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.researchgate.net/publication/280938710_Cuencas_hidrograficas_Fundamentos_y_perspectivas_para_su_manejo_y_gestion



- Rodríguez, S., Ramírez, R., Jarquín, D., Osorio, R., & Bravo, A. (2012). Evapotranspiración de referencia estimada con Fao-Penman-Monteith , Priestley-Taylor , Hargreaves y RNA *. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1535–1549. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n8/v3n8a5.pdf>
- Tanner, C. B., & Sinclair, T. R. (2015). Efficient water use in crop production: Research or re-search? *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*, 1–27. <https://doi.org/10.2134/1983.limitationsto efficientwateruse.c1>
- Tarazona, N. (2017). *Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (chenopodium quinoa willd), mediante el método del lisímetro* [Universidad Nacional Santiago de Mayol]. https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1938/T033_42275682_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yzarra, W., & López, F. (2011). *Manual de observaciones fenológicas*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>
- Zapana Churata, L. E. (2018). Respuestas a la crisis hídrica en zonas agrícolas y urbanas: Caso de estudio “Proyecto de Irrigación Majes Siguas I” Arequipa – Perú. *Agua y Territorio*, 12, 145–156. <https://doi.org/10.17561/at.12.3532>
- Lipa, G., & Goyzueta, Y. (2018). Zonificación y modelamiento agroecológico para el cultivo de café (Coffea Arábica L.) utilizando la tecnología de SIG y teledetección en el CIP Tambopata – Sandia – Puno. Universidad Nacional Del Altiplano, 102. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9805>
- Cervantes, E. (2012). Zonificación de tierras de plantaciones forestales y cultivos en Limpio. Puno: UNA Puno.
- Diaz, G. P. (2011). Zonificación Agroecológica del cultivo de papa (Solanum tuberosum) en el centro Centro - Norte de la sierra de Ecuador. Sangolque, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, Departamento Ciencias de la Vida.
- Diaz, G. P. (2011). Zonificación Agroecológica del cultivo de papa (Solanum tuberosum) en el centro Centro - Norte de la sierra de Ecuador. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, Departamento Ciencias de la Vida.



- Díaz, M. V. (2002). *Geoestadística Aplicada*. Cuba: Instituto de Geofísica, UNAM.
- Leal-Nares, O. A. (2010). Análisis y modelamiento espacial de información climática en la cuenca de Cuitzeo. *México: Investigaciones geográficas (72)*, 49-67.
- Mujica, A. (2001). *Influencia de la radiación solar en el cultivo de quinua*. Puno: UNA-Puno.
- Ortiz, F. (2012). *Zonificación de rodales de bosques nativos en la microcuenca de río Calacala*. Lima: UNFVR.
- SILVIA, F. e. (2017). *Caracterización agronómica de progenies de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Procedentes de autofecundaciones S5 de cruizas simples cercanas y distantes genéticamente*. Puno: UNA Puno.
- Tapia, M. (2017). *Los granos andinos en la historia*. Cuzco: Universidad Global del Cusco, Perú.



ANEXOS

ANEXO 1: Información meteorológica estudiadas**Tabla 14***Información meteorológica promedio mensual - estación Acora*

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día
Enero	4.9	15.4	78	188	6.4	20.5
Febrero	5.2	15.2	80	178	6.7	20.6
Marzo	4.9	15.2	76	166	7	20
Abril	3.1	15.1	72	192	7.7	19
Mayo	0.8	14.8	66	212	8.9	18.3
Junio	-0.9	14.6	63	200	9.2	17.5
Julio	-1.4	14.7	63	189	9.1	17.9
Agosto	-0.4	15.2	58	207	9.1	19.9
Septiembre	1.8	16	60	217	8.6	21.5
Octubre	3.1	16.6	53	201	8.6	23.1
Noviembre	4.1	17.5	54	221	8.4	23.5
Diciembre	4.9	16.5	63	211	7.4	22
Promedio	2.5	15.6	66	199	8.1	20.3

Tabla 15*Información meteorológica promedio mensual - estación Capachica*

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día
Enero	4.5	14.9	70	444	6.2	20.1
Febrero	4.8	14.8	74	422	6.6	20.5
Marzo	4.3	15	72	376	6.8	19.7
Abril	2.1	15.1	67	325	8.3	19.9
Mayo	-0.9	14.9	60	314	9.2	18.8
Junio	-3.4	14.4	59	308	9.3	17.7
Julio	-3.8	14.6	58	352	9.6	18.6
Agosto	-3	15.2	57	339	9.4	20.4
Septiembre	-0.2	15.7	59	468	9	22.1
Octubre	1.6	16.3	57	493	9	23.8
Noviembre	2.8	17.1	55	433	8.4	23.5
Diciembre	4.1	15.9	65	499	7.1	21.5
Promedio	1.1	15.3	63	398	8.2	20.5

Tabla 16*Información meteorológica promedio mensual - estación Ilave*

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día
Enero	4.4	15.4	76	312	6.3	20.3
Febrero	4.8	15.3	81	346	6.7	20.6
Marzo	4.8	15.5	81	354	6.8	19.7
Abril	4.4	15.7	74	251	6.4	17.1
Mayo	5.1	15.4	66	311	8.9	18.3
Junio	5.2	15	61	337	8.9	17.1
Julio	4.8	15.1	63	302	9.5	18.3
Agosto	5.6	15.6	62	363	9	19.7
Septiembre	5.4	16.1	64	380	8.9	21.9
Octubre	4.8	16.7	64	380	8.6	23.1
Noviembre	4.9	17.7	59	320	8.5	23.6
Diciembre	4.2	16.7	74	328	7.4	22.1
Promedio	4.9	15.8	69	332	8	20.2

Tabla 17*Información meteorológica promedio mensual - estación Juli*

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día
Enero	5.4	14.3	70	200	6.5	20.6
Febrero	5.6	14.3	73	192	6.2	19.8
Marzo	5.2	14.3	71	181	7.2	20.3
Abril	4	14.7	67	178	8.5	20.1
Mayo	1.6	14.2	55	175	9.2	18.7
Junio	0.3	13.8	54	168	9.3	17.5
Julio	0	13.4	54	185	9.3	18.1
Agosto	0.5	13.8	54	205	9.3	20.1
Septiembre	2.6	14.5	57	214	9.5	22.8
Octubre	3.7	15.4	56	232	8.7	23.3
Noviembre	4.8	16.1	53	236	8.8	24.1
Diciembre	5.6	15	64	239	7.6	22.4
Promedio	3.3	14.5	61	200	8.3	20.6

Tabla 18*Información meteorológica promedio mensual - estación Laraqueri*

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día
Enero	3	16.4	71	246	6.4	20.5
Febrero	3.3	16.2	75	258	6.7	20.6
Marzo	2	16.4	74	234	7	20
Abril	-1.2	16.7	68	199	7.7	19
Mayo	-5.4	16.8	59	176	8.9	18.3
Junio	-8	16.2	59	182	9.2	17.4
Julio	-8.5	16.2	56	185	9.1	17.8
Agosto	-7.2	17	51	204	9.1	19.9
Septiembre	-3.6	17.9	53	216	8.6	21.5
Octubre	-1.1	18.3	51	232	8.6	23.1
Noviembre	0.5	19.5	48	232	8.4	23.5
Diciembre	2.5	17.8	62	241	7.4	22.1
Promedio	-2	17.1	61	217	8.1	20.3

Tabla 19*Información meteorológica promedio mensual - estación Puno*

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día
Enero	6.1	16.1	71	190	6.2	20.1
Febrero	6.4	16	73	194	6.6	20.5
Marzo	6.2	15.8	72	180	6.9	19.8
Abril	4.3	16.1	66	181	7.8	19.1
Mayo	2.3	15.9	58	177	9.2	18.8
Junio	1.1	15.4	54	172	9.5	17.9
Julio	0.9	15.2	55	164	9.3	18.2
Agosto	0.9	16	55	187	9.4	20.3
Septiembre	3.2	16.9	59	191	9	22.1
Octubre	4.7	17.5	59	201	8.7	23.3
Noviembre	5.5	18.3	58	209	8.4	23.5
Diciembre	6.2	17.3	65	210	7.2	21.7
Promedio	4	16.4	62	188	8.2	20.4

Tabla 20

Información meteorológica promedio mensual - estación Taquile

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día
Enero	6.3	16.9	76	250	6.2	20.1
Febrero	6.1	16.6	76	257	6.7	20.6
Marzo	6.1	16.4	78	237	7.9	21.4
Abril	5.8	16.3	75	197	6.4	17.2
Mayo	6.5	15.8	72	175	9.2	18.8
Junio	3.9	15	72	184	8.9	17.2
Julio	3.6	14.9	73	185	9.5	18.4
Agosto	4.1	15.9	73	203	9.4	20.3
Septiembre	4	17	73	215	8.9	22
Octubre	4.8	17.9	70	230	8.3	22.7
Noviembre	6.3	18.8	69	234	8.4	23.5
Diciembre	6.1	18	72	241	7.2	21.7
Promedio	5.3	16.6	73	217	8.1	20.3

Tabla 21

Clasificación de tierras por Capacidad de Uso Mayor – Grupo Cultivo en Limpio (A)

ID	Grupo	Clase Tierras	Subclase	Descripción Clasificación de Capacidad de Uso Mayor CUM	Área ha	Código	Aptitud
1	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	1174.9029	1	Óptima
2	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	312.5276	1	Óptima
3	A-P	A3-P3	A3sc- P3sw	Cultivos Asociados calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	1023.3872	2	Adecuada
4	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	1808.1151	1	Óptima
5	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	3687.2416	1	Óptima
6	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	13.1338	1	Óptima
7	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	29.6134	1	Óptima
8	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	22.4743	1	Óptima
9	A	A3	A3sc	Cultivos en limpio de calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	2.0032	1	Óptima
Total					8073.3991		



Tabla 22

Temperaturas medias anuales de 9 estaciones agroclimáticas SENAMHI Puno

ID	COORD_X	COORD_Y	ALTITUD	ESTACION	CATEG	DISTRITO	TEM_MED	Tdeter
1	391618	8250023	3820	Puno	CP	Puno	8.9	8.5
2	410793	8274432	3828	Capachica	CO	Capachica	7.9	7.6
3	450843	8208469	3812	Juli	CO	Juli	8.2	7.7
4	385967	8213658	3900	Laraqueri	CO	Laraqueri	7.2	7.8
5	429200	8223485	3871	San Miguel	CO	Ilave	8.1	8.4
6	431020	8221195	3880	Ilave	CO	Ilave	8.1	8.5
7	399758	8251197	3808	Los Uros	CO	Puno	9.7	9.2
8	447586	8279422	3815	Isla Soto	CO	Conima	8.1	7.7
9	352948	8266710	3892	Lampa	CO	Lampa	8	8.5

Tabla 23

Precipitaciones medias anuales de 12 estaciones agroclimáticas SENAMHI

Id	Coord_x	Coord_y	Altitud	Estacion	Categoria	Distrito	Tem_med	Precip
1	391618	8250023	3820	Puno	CP	Puno	8.90	718.80
2	410793	8274432	3828	Capachica	CO	Capachica	7.90	795.80
3	425965	8261863	3850	Isla Taquil	CO	Amantanj	10.10	1216.00
4	450843	8208469	3812	Juli	CO	Juli	8.20	868.40
5	385967	8213658	3900	Laraqueri	CO	Laraqueri	7.20	742.80
6	413241	8231937	3935	Acora	CO	Acora	8.50	781.90
7	429200	8223485	3871	San Miguel	CO	Ilave	8.10	646.70
8	431020	8221195	3880	Ilave	CO	Ilave	8.10	700.40
9	399758	8251197	3808	Los Uros	CO	Puno	9.70	719.00
10	447586	8279422	3815	Isla Soto	CO	Conima	8.10	868.40
11	409104	8194347	3830	Isla Suana	CO	Anapia	10.10	846.02
12	352948	8266710	3892	Lampa	CO	Lampa	8.00	713.76

Tabla 24

Radiación Solar Global media de 8 Estaciones Agroclimáticas SENAMHI.

ID Estación	Coord. X	Coord. Y	Altitud Z	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Md. annual
1 Capazo	421788	8099330	4530	5.02	4.75	5.95	7.50	8.71	8.82	8.77	9.05	8.75	8.75	8.65	8.65	7.62
2 Ilave	431020	8221195	3880	4.30	4.26	4.94	6.35	7.80	8.15	8.16	7.91	7.05	7.00	7.06	5.31	6.53
3 Juli	450843	8208469	3812	4.30	4.26	4.94	6.35	7.80	8.15	8.16	7.91	7.05	7.00	7.06	5.31	6.53
4 Capachica	410793	8274432	3828	4.51	4.43	5.25	6.53	7.93	8.20	8.32	8.04	7.19	6.92	6.80	4.99	6.60
5 Laraqueñi	385967	8213658	3900	4.21	3.72	4.65	6.43	8.12	8.33	8.22	8.26	7.80	7.66	7.49	5.56	6.72
6 Puno	391618	8250023	3820	4.69	4.62	5.32	6.48	8.12	8.51	8.50	8.26	7.35	7.03	7.09	5.43	6.79
7 Acora	413241	8231937	3935	4.51	4.43	5.25	6.53	7.93	8.20	8.32	8.04	7.19	6.92	6.80	4.99	6.60
8 Camacani	408098	8236434	3840	4.51	4.43	5.25	6.53	7.93	8.20	8.32	8.04	7.19	6.92	6.80	4.99	6.60



ANEXO 2: Resultados de analisis de fertilidad de suelo



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

SOLICITANTE : SENAMHI.
INTERESADO :
DIRECCION :
PROCEDECENCIA : Puno – Camacani.
PRODUCTO : Suelo.
TIPO DE ANALISIS : Densidad Aparente, Capacidad de Campo y Punto de Marchitez.
N° DE ANALISIS : 03.
FECHA DE RECEPCIÓN : 08 de Noviembre del 2021.
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 12 de Noviembre del 2021.

N°	Clave Laboratorio	Clave Usuario	Densidad Aparente gr/cc	Capacidad de Campo %	Punto de Marchitez %
01	325D3	Camacani H21 = 34 cm	1.53	15.93	8.10
02	325D4	Camacani H-B = 31 cm	1.35	16.78	8.53
03	325D5	Camacani H-C = 84 cm	1.44	16.71	8.49

Referencias:

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones:

La muestra analizada de Suelos CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

ing° JORGE SAMHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
T: (051) 363 812
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe



ANEXO 3: Resultados de la densidad aparente, Capacidad de C, Punto de marchites



PERÚ
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Nombre: SENAMHI
 Proyecto:
 Procedencia:
 Fecha de Recepción: 08 de Noviembre del 2021. Fecha de Certificación: 19 de Noviembre del 2021.
 Caracterización de Propiedades Relativamente Permanente del Suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANALISIS MECANICO			CO ₂ Ca %	Mat. Org. %	N. TOTAL %	
			Arena	Arcilla	Limo				Textura
			%	%	%				
1	325D3	Camacani H 21cm	52.88	13.12	34.00	FA	0.00	1.87	0.069
2	325D4	Camacani HB 31 cm	50.88	17.12	32.00	F	0.00	2.00	0.074
3	325D5	Camacani HC 84 cm	54.88	13.12	32.00	FA	0.00	1.93	0.072
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Caracterización del Estado de Fertilidad y Condiciones Alterables del Suelo.

Nº	Suelo : Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P (ppm)	K (ppm)	Al	Ca	Mg	Na	K		
					me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g		
1	6.240	0.109	9.60	703.76	0.00	4.20	2.30	0.00	0.60	8.00	7.10
2	6.744	0.034	10.00	527.82	0.00	11.20	3.10	0.01	0.35	12.80	14.66
3	7.053	0.032	8.95	469.17	0.00	4.90	3.00	0.01	0.43	9.00	8.34
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

Métodos utilizados en el Laboratorio:
 Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones:
 La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:
 Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO



Ing^o JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
 T: (051) 363 812
 www.inia.gob.pe
 www.minagri.gob.pe



BICENTENARIO
PERÚ 2021

ANEXO 4: Panel fotográfico



Fotografía N° 1. Preparación de suelo para la instalación de cultivo de quinua.



Fotografía N° 2. Apertura de surcos para la siembra de las tres variedades de cultivo de quinua.



Fotografía N° 3. Abonamiento de cultivo de quinua a cada unidad experimental.



Fotografía N° 4. Emergencia de nuevas plantas instaladas de cultivo de quinua.



Fotografía N° 5. Crecimiento de las plantas en etapa inicial de la fase fenológica de 6
hojas.



Fotografía N° 6. Variedad pasankalla en la fase fenológica de floración.



Fotografía N° 7. Variedad Salcedo INIA en la fase fenológica inicio de grano lechoso.



Fotografía N° 8. Variedad pasankalla en la fase fenológica de inicio de grano lechoso.



Fotografía N° 9. Maduración de cultivo o etapa final.



Fotografía N° 10. Realización de la cosecha de granos de quinua.



ANEXO 5: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jose Luis Cotta Yerra,
identificado con DNI 71372320 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agronómica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Demanda Hídrica del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa willd.*)
y Zonificación Agroclimática de la Interacción Hidrográfica
de Puno ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 31 de mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Juan Luis Salamanca Berrios,
identificado con DNI 01834763 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agronómica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Demanda Hídrica del Cultivo de Quinua (Chenopodium
quinoa Willd) Zonificación Agroclimática de la intersección
Hidrográfica de Puno”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 31 de mayo del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 6: Autorización para el depósito de tesis al repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jose Luis Coila Yucra,
identificado con DNI 71372320 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agronómica
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Demanda Hídrica del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)
y Zonificación Agronómica de la Intercuenca Hidrográfica de
Puno ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 31 de mayo del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Juan Luis Salamanca Berrios,
identificado con DNI 01834763 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agronómica,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Demanda Hídrica del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Zonificación Agroclimática de intersección Hidrográfica de Puno”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 31 de mayo del 2024


FIRMA (obligatoria)

