

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**HUELLA HÍDRICA VERDE PARA PRODUCCIÓN DE LA PAPA
Y QUINUA PARA EL PERIODO 2008 – 2017 EN LA PROVINCIA
DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

DANIEL ZADAM CAUNA MENDOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**HUELLA HIDRICA VERDE PARA PRODUCCIÓN DE LA PAPA
Y QUINUA PARA EL PERIODO 2008 – 2017 EN LA PROVINCIA
DE PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:


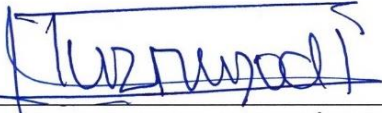


DANIEL ZADAM CAUNA MENDOZA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE	:	 <hr/> Dr. OSCAR RAÚL MAMANI LUQUE
PRIMER MIEMBRO	:	 <hr/> M.Sc. EDGAR VIDAL HURTADO CHÁVEZ
SEGUNDO MIEMBRO	:	 <hr/> M.Sc. ALCIDES HÉCTOR CALDERÓN MONTALICO
DIRECTOR / ASESOR	:	 <hr/> Dr. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA : Huella Hídrica Agrícola

LÍNEA: Recursos hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN 09 DE MAYO DEL 2019

DEDICATORIA

*Dedico está presente Investigación de tesis a mis queridos padres **Aurelio C.** y **Lidia M.**, y a mis Hermanos **Elvis J.** y **Nélida**, por brindarme la oportunidad de realizar mi proyecto de investigación para mi buen desenvolvimiento profesional competente y por el entusiasmo puesto en mi persona.*

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios Todopoderoso por haberme dado la existencia en esta maravillosa tierra.

A mis queridos padres y a mis hermanos que fueron el eje y motor de mi superación, por el apoyo económico, por la comprensión y ayuda en los momentos más difíciles de mi vida. Que me han enseñado a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni fracasar en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, con principios, valores, perseverancia y empeño y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

*Que mi centro de estudio sea el segundo hogar **Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola UNA – PUNO.***

Daniel Zadam Cauna Mendoza

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN	13
1.3. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.3.1. Interrogante general	13
1.3.2. Interrogantes específicos	13
1.4. OBJETIVOS	14
1.4.1. Objetivo general	14
1.4.2. Objetivos específicos	14
1.5. HIPÓTESIS	14
1.5.1. Hipótesis de la investigación	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1. MARCO TEORICO	15
2.1.1. Antecedentes	15
2.2. MARCO REFERENCIAL	19
2.2.1. Cultivo papa.....	19
2.2.2. Cultivo quinua.....	20
2.3. MARCO CONCEPTUAL	22
2.3.1. Evapotranspiración de referencia.....	22
2.3.2. Coeficiente del cultivo	23
2.3.3. Evapotranspiración del cultivo	24
2.3.4. Precipitación efectiva.....	25
2.4. HUELLA HÍDRICA	26
2.4.1. Concepto de la huella hídrica.....	26
2.4.2. Huella hídrica del cultivo.....	27
III. MATERIALES Y METODOS.....	28

3.1.	UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO	28
3.2.	MATERIALES	30
3.2.1.	Información meteorológica.....	30
3.2.2.	Información pluviométrica	30
3.3.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.3.1.	Estimación de la evapotranspiración de referencia.....	36
3.3.2.	Requerimiento hídrico de los cultivos	39
3.3.3.	Determinar la huella hídrica agrícola verde de los cultivos.....	40
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1.	ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA	41
4.1.1.	Validación de datos interpoladas en SIG (IDW)	42
4.1.2.	Coeficiente de cultivo	44
4.1.3.	Evapotranspiración del cultivo	45
4.1.4.	Precipitación efectiva.....	47
4.2.	REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO.....	48
4.2.1.	Requerimiento de agua del cultivo de papa	48
4.2.2.	Requerimiento de agua del cultivo de quinua.....	50
4.2.3.	Rendimiento del cultivo.....	51
4.3.	HUELLA HIDRICA DE LOS CULTIVOS.....	53
4.3.1.	Huella hídrica del cultivo de papa	53
4.3.2.	Huella hídrica del cultivo de quinua	55
4.3.3.	Discusión	56
V.	CONCLUSIONES	57
VI.	RECOMEDACIONES	58
VII.	REFERENCIA.....	59
VIII.	ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Rendimiento de cultivo de papa a nivel nacional.....	20
Figura 2: Rendimiento del cultivo de quinua a nivel nacional.	22
Figura 3: Esquema de la evapotranspiración del cultivo de referencia.	22
Figura 4: Curva generalizada del coeficiente del cultivo (Kc).	24
Figura 5: Esquema de la evapotranspiración del cultivo.	25
Figura 6: Ubicación política de la provincia de Puno y sus 15 distritos.....	29
Figura 7: Análisis visual de histograma de precipitación – Estación Puno	31
Figura 8: Análisis de doble masa – Estación patrón Laraqueri.	32
Figura 9: Secuencia de la interpolación del modelo IDW en SIG.....	38
Figura 10: Comparación de datos calibrados de ETo de referencia.	42
Figura 11: Diagrama de validación de datos calibrados de ETo mm/Día.	42
Figura 12: Diagrama de dispersión para la estimación de ETo.	43
Figura 13: Variación de la huella hídrica promedio del cultivo papa.....	54
Figura 14: Variación de la huella hídrica promedio del cultivo quinua.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precipitación efectiva Water Power Resources Service (WPRS).	26
Tabla 2: Ubicación geográfica de los distritos de la provincia de Puno.	28
Tabla 3: Ubicación política y geográfica de las estaciones meteorológicas.....	30
Tabla 4: Análisis estadístico de la prueba “T Student”.	36
Tabla 5: Comparación de la ETo programas vs Tesis 2019 (mm/día).	41
Tabla 6: Evapotranspiración de referencia (mm/mes).	44
Tabla 7: Coeficiente Kc cultivo papa.	44
Tabla 8: Valores del kc de la quinua - Patacamaya (1989/1990)	45
Tabla 9: Evapotranspiración real del cultivo de papa (mm).	46
Tabla 10: Evapotranspiración real del cultivo de quinua (mm).	47
Tabla 11: Resultados de la estimación de la precipitación efectiva (mm).	48
Tabla 12: Requerimiento de agua del cultivo papa (m ³ /has).	49
Tabla 13: Requerimiento de agua del cultivo quinua (m ³ /has).	51
Tabla 14: Rendimiento del cultivo de papa (Kg/has).	52
Tabla 15: Rendimiento del cultivo de quinua (Kg/Has).	53
Tabla 16: Huella hídrica verde del cultivo de papa (m ³ /tn).	54
Tabla 17: Huella hídrica verde del cultivo de quinua (m ³ /ton).	55
Tabla 18: Comparación de la huella hídrica respecto a otras investigaciones.	56

RELACIÓN DE ACRÓNIMOS

WPRS	: Water Power Resources Service.
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura y Riego.
INIA	: Instituto Nacional de Investigación Agraria.
HH	: Huella Hídrica.
SIG	: Sistema de Información Geográfica
IDW	: Distancia Inversa Ponderada (IntelliDraw)

RESUMEN

Esta investigación cuantifica la huella hídrica verde, en las actividades agrícolas para los cultivos de papa y quinua en la provincia de Puno. Los parámetros meteorológicos se obtuvieron de SENAMHI: Estaciones de Puno, Rincón de la Cruz Acora, Capachica, Taquile, Mañazo y Laraqueri, los distritos que no cuentan al menos con una estación meteorológica se estimaron en SIG (ArcMap 10.3) por el método de interpolación IDW. El objetivo principal es determinar de la huella hídrica verde para producción de la papa y quinua para el periodo 2008 – 2017 en la provincia de Puno. La metodología es, 1) Estimar la evapotranspiración de referencia en función al método indirecto Penman Montheit modificado, 2) Estimar el requerimiento hídrico de los cultivos papa y quinua. y 3) Se determinó la huella hídrica verde de los cultivos papa y quinua en el ámbito de la provincia de Puno. La evapotranspiración de referencia en global varía de 1315.91 a 1424 mm, respectivamente en promedio anual de 1378.42 mm, el coeficiente de cultivo (K_c) para esta investigación se asumió según las investigaciones realizados con anterioridad. La evapotranspiración real de los cultivos en global de papa y quinua es 645.97 mm y 614.66 mm, el requerimiento hídrico promedio global de los cultivos de papa es 5831.21 m^3/has y quinua es 5530.20 m^3/has , el rendimiento promedio global del cultivo de papa es 10085.80 Kg/has, y quinua es 1157.73 kg/has, la huella hídrica verde del cultivo papa en global es 586.41 m^3/ton y quinua es 4822.96 m^3/ton , para el ámbito de la provincia de Puno en condiciones de una agricultura en secano. La huella hídrica verde, según los resultados muestran un equilibrio entre el uso y la disponibilidad, además se encontró que la productividad de los dichos cultivos es alta frente a otros productos en términos productivos como socioeconómicamente.

Palabras Clave: Evapotranspiración, huella hídrica agrícola, Puno, papa y quinua.

ABSTRACT

This research quantifies the green water footprint, in agricultural activities for potato and quinoa crops in the province of Puno. The meteorological parameters were obtained from SENAMHI: Stations of Puno, Rincon de la Cruz Acora, Capachica, Taquile, Mañazo and Laraqueri, the districts that do not have at least one weather station were estimated in GIS (ArcMap 10.3) by the interpolation method IDW. The main objective is to determine the green water footprint for potato and quinoa production for the period 2008 - 2017 in the province of Puno. The methodology is, 1) Estimate the reference evapotranspiration based on the modified Penman-Monteith indirect method, 2) Estimate the water requirement of potato and quinoa crops, and 3) The green water footprint of potato and quinoa crops in the province of Puno was determined. The global evapotranspiration of reference varies from 1315.91 to 1424 mm, respectively on an annual average of 1378.42 mm, the crop coefficient (K_c) for this investigation was assumed according to previous research. The actual evapotranspiration of the global potato and quinoa crops is 645.97 mm and 614.66 mm, the global average water requirement of the potato crops is 5831.21 m³ / has and quinoa is 5530.20 m³ / has, the overall average yield of the potato crop is 10085.80 Kg / has, and quinoa is 1157.73 kg / has, the green water footprint of the potato crop in general is 586.41 m³ / ton and quinoa is 4822.96 m³ / ton, for the area of the province of Puno in conditions of an agriculture in dry land. The green water footprint, according to the results show a balance between use and availability, also found that the productivity of these crops is high compared to other products in productive terms as socioeconomically.

Keywords: Evapotranspiration, Agricultural Water Footprint, Puno, Potato and Quinoa.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestra región Puno, la medición de la huella hídrica agrícola y su análisis resulta sumamente útil, para informar de manera eficiente sobre el uso del agua, generar conciencia sobre la necesidad de un uso adecuado y fomentar el diálogo entre los distintos sectores de los gobiernos locales y de la población para llegar a propuestas de un mejor uso del agua.

Considerando que la papa y quinua son los cultivos alimenticios indispensables en la región de Puno, por ende, existe la necesidad de realizar un estudio de investigación sobre la medición de la huella hídrica verde de los cultivos mencionados, que nos permita cuantificar el volumen de agua requerido para la producción, debido a esto los cálculos se realizarán por el método indirecto Penman Montheit modificado de la provincia de Puno.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se prevé que la seguridad hídrica es una causa directa de graves conflictos, y que afectará en mayor medida a las poblaciones más vulnerables, como ya se constata en diversos países en la actualidad. En este contexto, se aprecia que el uso de indicadores como la huella hídrica es una herramienta que permite detectar impactos sobre el recurso hídrico, debido a los hábitos de consumo de la población en un marco geográfico en particular.

El desarrollo de las zonas rurales en nuestro país principalmente en la provincia de Puno, está íntimamente ligado a la agricultura por las condiciones geográficas, culturales, tradición, por ende, la complejidad de poder cuantificar la huella hídrica verde es una necesidad indispensable ya que el poblador rural se caracteriza por la producción de los alimentos antes mencionados, además la disponibilidad del recurso hídrico es de vital importancia.

El problema principal es la incertidumbre del poblador rural por la existencia de la perplejidad en sus quince distritos, con diferentes espacios y topografías según sea el caso, saber la huella hídrica verde en este marco es de mucha consideración, para así tomar conciencia frente a los cambios climáticos y la decadencia de la huella hídrica verde en la actualidad.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La determinación de la huella hídrica verde en la provincia de Puno, se justifica básicamente en que responde a la solución de la incertidumbre en la medición del mencionado recurso vital el agua, para contrarrestar los problemas sobre el cambio climático, que se aprecian en la actualidad, ya que la huella verde es una de los principales recursos más utilizados en las actividades de la población rural

La producción de alimentos y el uso de agua están debidamente relacionados de forma inherente, el agua siempre ha sido el principal factor que limita la producción agrícola en gran parte del mundo, donde la precipitación no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos, debido a esto es muy esencial contar con información adecuada que permita a los tomadores de decisión y a la población en general conocer el uso efectivo que se hace del recurso hídrico, y proponer políticas públicas que propicien un uso eficiente del mismo para el bienestar de la sociedad y el desarrollo económico del país (WWF, 2014).

1.3. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Interrogante general

¿Cómo es la huella hídrica verde para la producción de la papa y quinua para el periodo de 2008 al 2017 en la provincia de Puno?

1.3.2. Interrogantes específicos

1. ¿Cuánto es la evapotranspiración de referencia de los cultivos de papa y quinua para el período 2008 – 2017 por el método Penman Montheit modificado?
2. ¿Cuánto es el requerimiento hídrico para el cultivo de papa y quinua para el período 2008 – 2017 para la provincia de Puno?
3. ¿Cómo es la huella hídrica verde para el periodo de 2008 – 2017 en la provincia de Puno?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar de la huella hídrica verde para producción de la papa y quinua para el periodo 2008 – 2017 en la provincia de Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Estimar la evapotranspiración de referencia para los cultivos papa y quinua por el método indirecto Penman Monteith modificado para el periodo 2008 - 2017.
2. Estimar el requerimiento hídrico para el cultivo de papa y quinua para el periodo 2008 – 2017 en la provincia de Puno.
3. Determinar la huella hídrica verde para el periodo de 2008 – 2017, en la provincia de Puno.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis de la investigación

Con la determinación de la huella hídrica verde para producción de la papa y quinua para el periodo 2008 al 2017 en la provincia de Puno, se demuestra el requerimiento hídrico total de los cultivos de papa y quinua.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Antecedentes

Antecedentes a nivel internacional

En Colombia, *Gonzales (2016)* estimó la huella hídrica de los cultivos de papa y pastos para el periodo 2009 – 2014, para los dos grupos de agro ecosistemas analizados. Esto se complementó con el análisis cualitativo de los aspectos culturales que determinan el consumo de agua en los cultivos, y la estimación de la Estructura Agroecológica Principal (EAP) en fincas ubicadas en la MARU. Los agricultores arrendatarios sólo siembran papa y su principal objetivo es lograr que el cultivo sea rentable. Obtienen dos cosechas de papa al año y el valor promedio estimado de huella hídrica para este cultivo es de 430.2 m³/t. El valor estimado de huella hídrica para los cultivos manejados por arrendatarios es superior con respecto a los propietarios, quienes destinan parte de la cosecha para el autoconsumo y se preocupan por la protección del suelo y el agua en el territorio. Los propietarios obtienen una cosecha de papa al año y el valor promedio estimado de huella hídrica por ciclo de cultivo de papa es de 422.2 m³/t. Para el cultivo de pasto se estimó un valor 103,3 m³/t por ciclo.

Rodríguez, Ruiz de Galaterra, & Kruse (2014), mencionan que, para el desarrollo del estudio, el agua empleada para el riego de cultivos es extraída de pozos profundos, cuyos valores de extracción oscila de 80 a 120 m³/hora y adicionalmente que el sistema de riego es por aspersión.

Los resultados obtenidos después de la realización del estudio muestran que el valor de la huella hídrica fue igual a WF= 323.99 m³/t; Siendo el valor del componente azul, 78.25 m³/t, verde 104.44 m³/t y gris 141.30 m³/t. Estos resultados muestran el alto impacto del componente gris sobre la huella hídrica en la producción de papa, por lo cual explican los autores que es necesario implementar nuevas alternativas para el manejo de fertilizantes.

Gonzales (2011) en la República de Cuba realizó el cálculo de la Huella Hídrica de la cosecha de la papa en la Empresa Cultivos Varios Horquita estructurado en tres etapas fundamentales: En la primera etapa se determina el componente Verde y Azul de la Huella Hídrica del cultivo, en la segunda etapa se calcula la Huella gris a partir de la tasa

de aplicación de fertilizantes, plaguicidas y los rendimientos del cultivo analizado y en la tercera etapa se realiza una comparativa entre los resultados obtenidos en este cultivo y los estudios realizados en otros a nivel mundial. La Huella Hídrica del cultivo de la papa en Horquita es de $199.21 \text{ m}^3/\text{ton}$, internacionalmente de $287 \text{ m}^3/\text{ton}$. La composición de la Huella Hídrica del cultivo de la papa en Horquita difiere notablemente de la internacional.

Novoa, et al. (2016). Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 35-50. Se evaluaron los efectos de la variabilidad climática en el consumo de agua para la producción agrícola de cereales, a través del cálculo de la huella hídrica, metodología que consideró tres escenarios de precipitación: (a) año húmedo, (b) año normal y (c) año seco, y bajo dos condiciones de rendimiento (constante y disminución de 20%, proyectando el efecto de cambio climático), en tres secciones de la cuenca del río Cachapoal. Además, se calculó el agua virtual y la productividad aparente del agua para evidenciar el efecto de la variabilidad climática en la productividad del consumo del agua en el cultivo de cereales. El análisis de percentiles determinó que el año 2005 correspondió a húmedo, 2006 a normal y 2007 a seco. La huella hídrica de los cereales, bajo un rendimiento constante, fue mayor en el año húmedo con $1064 \text{ m}^3/\text{ton}$; en cambio, con una disminución del rendimiento, fue mayor en el año seco ($1633.9 \text{ m}^3/\text{ton}$). Para ambas condiciones, la mayor huella hídrica azul se estimó en un año seco y la mayor huella hídrica verde en un año húmedo. Sin embargo, no se observaron diferencias entre las secciones de la cuenca. En un año húmedo se habría exportado la mayor cantidad de agua virtual con $14325.000 \text{ m}^3/\text{año}$.

Motta (2015). En Colombia la cuantificación de la huella hídrica, análisis de resultados y formulación de alternativas. En la fase de diagnóstico se recopiló información que permitió el desarrollo del proceso de cálculo de la huella hídrica, además de ello se utilizó como herramienta información climatológica de la estación de El Rosal y el programa Cropwat 8.0 para el desarrollo de la fase 3 y 4. Una vez realizados los respectivos cálculos se obtuvo que el valor de la huella hídrica total para la producción de papa R12 del periodo comprendido entre Julio a noviembre del 2014 fue de $400.42 \text{ m}^3/\text{ton}$. Siendo el componente gris el que tuvo el mayor impacto sobre la huella hídrica total con un valor de $190.99 \text{ m}^3/\text{ton}$, seguido del componente verde y el azul con valores de $176.63 \text{ m}^3/\text{ton}$ y $32.80 \text{ m}^3/\text{ton}$ respectivamente.

Centro Nacional de Información de la Calidad (2012), menciona que, el valor final de la huella hídrica se calcula de diversas maneras dependiendo de la metodología que se emplee, puede ser la suma de los tres tipos de agua (azul, verde o gris), o la suma de la huella hídrica directa más la huella hídrica indirecta. Dependiendo del sector de actividad o del individuo o comunidad a la que se calcule la huella hídrica se emplean distintas unidades, m³/kg. o m³/año. La novedad que incluye la huella hídrica respecto a otras metodologías para contabilizar el agua es la medida de la misma a lo largo de la cadena de producción y la introducción del cálculo del agua gris y verde Producto Contenido de agua virtual Papa 280 lt/kg, Uva 608 lt/kg, Piña 255 lt/kg y Sandía 235 lt/kg.

Van Hofwegen (2004), estima que la liberalización del comercio de alimentos (y por ello de agua virtual) podría tener efectos negativos en el medio ambiente. Esto podría ocurrir en los países que utilizaran de modo exagerado o insostenible sus recursos hídricos con objeto de producir productos agrarios que pudieran vender en otros países. No es una hipótesis absurda ya que, en cierto modo, esto parece ser lo que ha ocurrido y no precisamente en un país pobre sino en los EE.UU. y más concretamente en el acuífero de Ogallala, también llamado de las High Plains. Este acuífero tiene una extensión algo mayor de 500 000 km², es decir, análoga a la extensión de toda España. En algunas de sus zonas, y especialmente en Tejas, viene siendo intensamente aprovechado desde hace unos sesenta años. En la zona 17 de Tejas se ha producido una auténtica «minería del agua subterránea». Se ha extraído un volumen anual (unos 6,00 km³) unas diez veces superior a la recarga interanual. El volumen de agua subterránea que a lo largo de milenios se había almacenado en este acuífero (en la zona de Tejas), está actualmente reducido aproximadamente a dos tercios del volumen inicial (Terrell *et al.*, 2002). Esta agua subterránea, cuya extracción es relativamente barata, se ha empleado fundamentalmente en la producción de algodón, cereales y forrajes para el ganado. Es decir, cultivos de no gran valor. Ahora bien, la producción de carne y productos cárnicos supera unos 6 000 millones de dólares al año y una parte de esa producción ha sido exportada. No puede olvidarse que los EE.UU. es el primer exportador mundial de productos agrarios y también de carne.

Antecedentes a nivel nacional.

El análisis de la huella hídrica del sector agropecuario del Perú se centró en 16 productos que caracterizan la producción, el consumo interno y la comercialización

(exportaciones e importaciones) nacionales: pollo y huevos, leche y alfalfa, **Papa**, arroz, caña de azúcar, ganado vacuno, maíz, soya, trigo, algodón, alcachofa, espárrago, uva, **Quinoa**, palta y café. Los cinco cultivos con mayor huella hídrica resultaron ser los del café, la papa, el arroz, la alfalfa y la caña de azúcar, siendo los tres últimos los de mayor requerimiento de agua azul y, a su vez, los de menor valor económico.

Sin embargo, los requisitos de agua azul y verde varían considerablemente por región y de acuerdo con el tipo de clima y con el rendimiento de la producción (*MINAGRI, 2015*).

Mallma. (2015) realiza una investigación para determinar la huella hídrica de los principales productos agrícolas que se comercializan desde la región Junín al mercado de la ciudad de Lima.

Los productos agrícolas considerados en la investigación son:

Papa, trigo, choclo, maíz grano, haba verde, haba grano, arveja verde, alcachofa, zanahoria, cebolla, ajo, cebada, **Quinoa** y olluco, siendo la huella hídrica total de 161.28 Hm³/año para los 14 cultivos estudiados. Para el cultivo de papa es de 290.92 m³/ton. y para el cultivo de quinua es de 5682.02 m³/ton.

Uso del SIG para la información espacial y no espacial.

Hijams D. Robert (2000), Los Sistemas de Información Geográfica – SIG, son un conjunto de métodos y herramientas que actúan en forma coordinada y lógica, para recolectar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y visualizar la información espacial y no espacial de los elementos considerados de nuestro entorno, con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios.

Hijams D. Robert (2000), La utilización del SIG en los procesos de la planificación física del territorio ha llevado a los países con experiencia a crear mecanismos que permitan trabajar sobre áreas de gran extensión, es así que se desarrolla la planificación regional permitiendo abarcar grandes extensiones de territorios. Los esquemas y metodologías son diversos, pero siempre influyen en el mismo objetivo, la planificación física del territorio.

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Cultivo papa

Según el Ministerio de Agricultura (2012), la papa (*Solanum tuberosum L.*) es considerada como uno de los principales cultivos del Perú, por ser alimento de primera necesidad, por su disponibilidad como producto alimenticio en todo el año y su diversidad en la gastronomía peruana. La papa se cultiva en 19 departamentos del Perú, desde el nivel del mar hasta los 4100 metros de altitud y constituye la base de la alimentación del poblador especialmente de la sierra. Este cultivo genera al productor andino mayores ingresos económicos que cualquier otro cultivo.

Las variedades de papa son sensibles a la falta de agua en el suelo y necesitan una irrigación frecuente y superficial. Un cultivo de papa de 120 a 180 días consume de 500 a 700 mm de agua, y la producción se reduce si se agota más del 50 % del total del agua disponible en el suelo durante el período de crecimiento. Se debe considerar que el exceso de agua en el suelo, provoca una falta de oxígeno, un desarrollo pobre de las raíces, la pudrición de los tubérculos recién formados y de los que se utilizan como semilla.

De acuerdo con las estadísticas de la FAO, la producción de Perú en el 2014 ocupó el lugar 14, dentro del conjunto de 150 países que siembran este cultivo; siendo el segundo país con mayor producción en América, después de Estados Unidos; y, el primero, en América del Sur. Ese mismo año el Perú ocupó el octavo lugar en el mundo respecto la superficie cosechada, superando países como Alemania, Francia, Polonia y Países Bajos, que se ubican dentro de los primeros 10 lugares como productores del mundo. No obstante, desde la perspectiva de productividad por ha, la ubicación del Perú se vio relegada al puesto 122, con un rendimiento promedio de 14778 kg/ha, inferior en 26.0%, respecto del promedio mundial, e inclusive menor que los rendimientos obtenidos por nuestros países vecinos, que oscilan entre 18449 Kg/ha (Ecuador), 20042 Kg/ha (Colombia), 27941 Kg/ha (Brasil) y 21675 Kg/ha (Chile). Los rendimientos en los países europeos como Francia, Alemania, Países Bajos; así como de los Estados Unidos de América superan las 45 mil Kg por ha (Ministerio de agricultura y riego, 2017).

En la figura 1, se muestra el rendimiento en toneladas por hectárea, alcanzado por cada departamento. Es evidente las asimetrías a nivel del país, ya que mientras en Arequipa se obtiene un rendimiento promedio de 33.5 t/has y en Ica 32.2 t/has, en las

regiones de Piura y Lambayeque, estos apenas llegan a 9.5 t/has y 6.6 t/has, respectivamente. Estas diferencias están relacionadas directamente con manejo del cultivo en áreas bajo riego o bajo seco; así, se tiene que, en Arequipa, Ica y Lima, que muestran los más altos rendimientos del país, casi toda la producción proviene de áreas bajo riego; mientras que, en las regiones de Huánuco, Junín, Ayacucho, Apurímac y Huancavelica, con rendimientos más bajos, la producción proviene en su mayor parte de áreas bajo seco y en una pequeña proporción de áreas bajo riego. En los casos de Piura y Lambayeque, que registran los rendimientos más bajos del país, toda la producción proviene exclusivamente de áreas bajo seco.

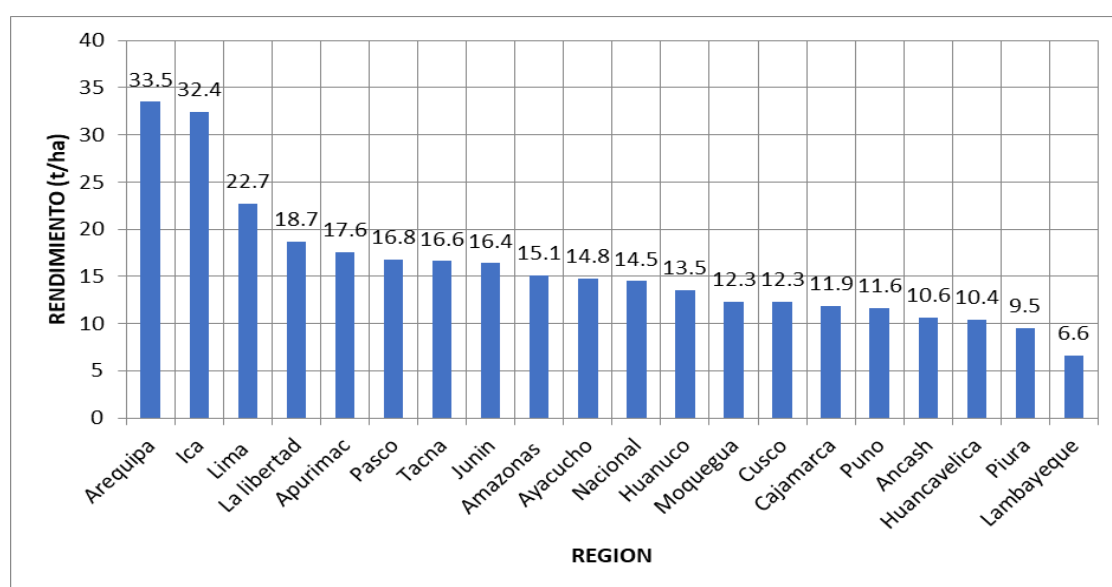


Figura 1: Rendimiento de cultivo de papa a nivel nacional.

Fuente: Revisión bibliográfica Según el Ministerio de Agricultura (2012).

2.2.2. Cultivo quinua

La quinua produce semillas nutritivas con un alto contenido proteico (de 12 hasta 20 %), en comparación con el maíz, arroz e incluso el trigo. Una composición equilibrada de aminoácidos hace que la calidad de la proteína sea comparable a la de la leche, convirtiéndola en sustituto eficaz de la carne y la leche; además, la quinua no contiene gluten, lo cual es una ventaja en la producción comercial de alimentos para consumo de celíacos (Álvarez *et al.*, 2009).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2012), así como la Organización Mundial de la Salud (OMS), han

calificado a la quinua como un alimento único, por su altísimo valor nutricional que permite sustituir las proteínas de origen animal, y por su contenido balanceado en proteínas y nutrientes. El altiplano peruano es el centro de origen y domesticación de este producto, el tamaño, color y sabor se diferencia según la variedad. El cultivo de la quinua se caracteriza por el predominio de pequeños productores con unidades agropecuarias menores a 3 ha, una alta variabilidad climática y uso de tecnología media o tradicional que se traduce en actividades agrícolas altamente diversificadas como condición de eficiencia económica que les permite disminuir el riesgo climático, de plagas y enfermedades.

El Ministerio de agricultura y riego (2013) menciona que las condiciones naturales de las zonas alto andinas, favorecen la producción de quinua, siendo las principales regiones productoras: Puno, Cusco, Junín, Apurímac y Ayacucho. La región Puno sigue concentrando el 80% de la producción de quinua a nivel nacional.

La principal zona productora de quinua en el 2016 fue Puno, con 35166 ton lo cual representó el 44.4% de la producción nacional. Le siguieron los departamentos de Ayacucho (21%), Apurímac (8.1%), Arequipa (7.8%), Cusco (5%) y Junín (4.8%), como se observa en el gráfico 2.

En Puno destacan las provincias de Azángaro (20.7%), El Collao (15.9%) y San Román (14.1%).

En Ayacucho destacan las provincias de Huamanga (41.5%), Cangallo (20.8%) y Vilcas Huamán (11.1%). En Apurímac, destacan las provincias de Andahuaylas (59.3%) y Cotabambas (10.5%). En la figura 2, se observa que en el año 2016 la zona productora de Arequipa lideró el ranking con 3.4 ton por hectárea. Le siguieron los departamentos de Tacna, Lambayeque, Lima con 2 t/has y Junín (1.9 t/ha). La última posición fue para el departamento de Huánuco que solo rindió 0.8 t/ha. El rendimiento promedio nacional fue 1.2 t/ha.

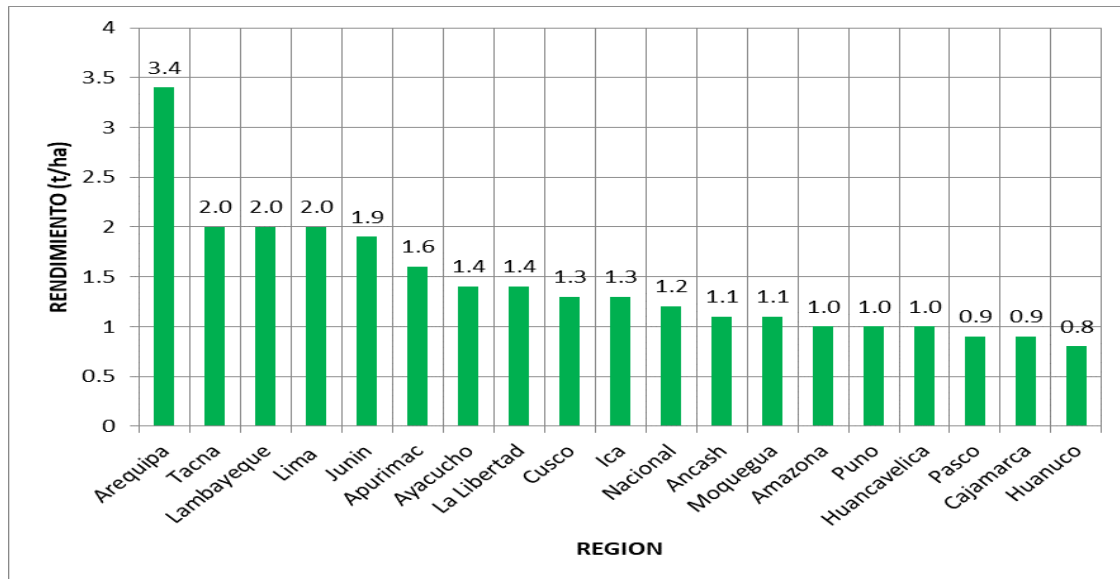


Figura 2: Rendimiento del cultivo de quinua a nivel nacional.

Fuente: Revisión bibliográfica según Ministerio de agricultura y riego (2013).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración potencial o de referencia se define como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas, las cuales son: una altura asumida de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0.23. También es necesario mencionar que los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. Se obtiene utilizando el método Penman - Monteith o con la evaporación del tanque evaporímetro Clase A. (Allen et al. 2006).



Figura 3: Esquema de la evapotranspiración del cultivo de referencia.

Los métodos para la estimación de la evapotranspiración de referencia o potencial son: métodos directos (lisímetros) o métodos indirectos (uso de fórmulas empíricas como Penman Monteith, tanque evaporímetro y otros).

a. Método indirecto Penman Monteith.

Según Allen *et al* (2006), este método fue estandarizado por investigadores de la FAO para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, de tal manera se uniformiza los diferentes métodos que existen para determinar la ETo, fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia que es un cultivo hipotético con una altura asumida de 0.12 m, con una resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0.23, que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado.

El cultivo o superficie de referencia fue introducido para obviar la necesidad de definir los parámetros únicos de evaporación para cada cultivo, y etapa de crecimiento del mismo. El cultivo de referencia es algún tipo de pasto, como la alfalfa, que es un cultivo muy bien estudiado con respecto a sus características aerodinámicas y superficiales y es aceptado ampliamente como superficie de referencia.

La ecuación de Penman Monteith modificado es una representación clara, precisa y simple de los factores físicos y fisiológicos que gobiernan el proceso de la evapotranspiración.

2.3.2. Coeficiente del cultivo

Vásquez *et al* (2017) mencionan que el coeficiente de cultivo, es un factor indicador de grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo el cual se requiere evaluar su consumo de agua. Dentro de los factores que determinan a los valores de Kc tenemos las características del cultivo fecha de siembra ritmo de desarrollo del cultivo duración del periodo vegetativo condiciones climáticas y la frecuencia de riego. El coeficiente Kc de cada cultivo tendrá una variación estacional en función de las fases de desarrollo del cultivo que son:

Fase 1, Fase inicial: Comprende el periodo de germinación y crecimiento inicial cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo, desde la siembra hasta el 10% de cobertura vegetal.

Fase 2, Fase de desarrollo del cultivo: Comprende desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa del orden de 70 – 80%

Fase 3, Fase de mediados del periodo (Maduración): Compreendida desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración que se hace evidente por la decoloración o caída de hojas.

Fase 4, Fase final del periodo vegetativo (cosecha): Comprende desde el final de la fase anterior hasta que llega a la plena maduración o cosecha.

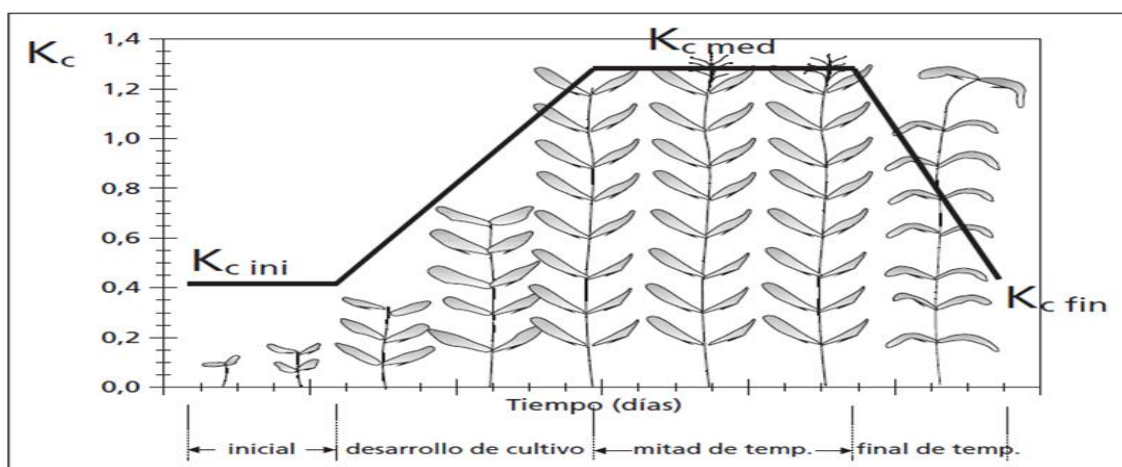


Figura 4: Curva generalizada del coeficiente del cultivo (K_c).

Fuente: Revisión bibliográfica según Vásquez et al (2017).

El coeficiente de cultivo es un coeficiente que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo del cual se busca evaluar su consumo de agua. Se combinan los efectos de la transpiración del cultivo y de la evaporación del suelo en un coeficiente único K_c , tal que integre las diferencias en la evaporación en el suelo y en la tasa de transpiración del cultivo, entre el cultivo y la superficie del pasto de referencia. Es una expresión del efecto promedio en el tiempo de la evapotranspiración del cultivo. Los valores de coeficiente de cultivo (K_c) para diferentes cultivos se encuentran tabulados y se presentan en la publicación de la FAO N° 56 y estos a su vez están basados en la publicación de FAO N° 24. (Allen et al. 2006).

2.3.3. Evapotranspiración del cultivo

Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades con buena fertilización, y que se desarrolla en parcelas amplias bajo

óptimas condiciones de suelo y agua que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo, por tanto, la necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva (Allen et al. 2006).

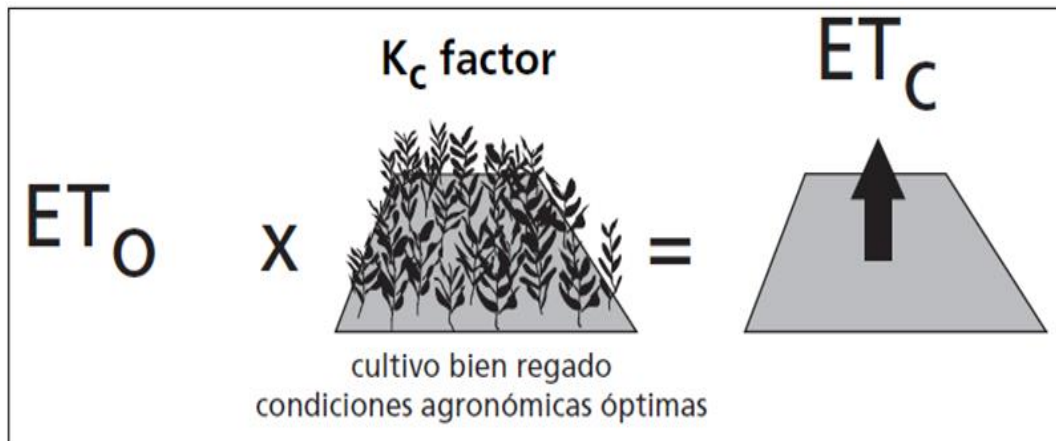


Figura 5: Esquema de la evapotranspiración del cultivo.

Fuente: Según (Allen et al. 2006).

2.3.4. Precipitación efectiva

Durante el proceso de almacenamiento hídrico del reservorio suelo, la precipitación pluvial constituye un alto porcentaje (en algunos casos el total del contenido de agua en el suelo); pero parte de la lluvia de la que dispone la planta para su desarrollo es únicamente una fracción de esta; la otra parte se pierde por escorrentía, percolación profunda o evaporación. En este sentido, al volumen de agua de lluvia parcial utilizado por las plantas para satisfacer sus correspondientes necesidades hídricas para su normal desarrollo se le ha definido como precipitación efectiva. Existen diversos métodos empíricos para estimar la precipitación efectiva, como el Water Power Resources Service, Bureau of Reclamation y el Servicio de Conservación de Suelos (Vásquez et al, 2017).

La ecuación que considera es el siguiente:

$$PP \text{ efect.} = 0.60 PP \text{ total} - 10 \text{ (para } PP \text{ total} < 70 \text{ mm/mes)} \dots\dots\dots(1)$$

$$PP \text{ efect.} = 0.80 PP \text{ total} - 24 \text{ (para } PP \text{ total} > 70 \text{ mm/mes)} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

PP efect : precipitación efectiva

PP total : precipitación total

El método del Water Power Resources Service (WPRS – USA), considera la distribución de la precipitación efectiva de acuerdo a la siguiente tabla 1.

Tabla 1: Precipitación efectiva Water Power Resources Service (WPRS).

Incremento de la Precipitación (mm)	% de la precipitación efectiva (PE)
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
> 155	5

Fuente: Water Power Resources Service (WPRS – USA).

2.4. HUELLA HÍDRICA

2.4.1. Concepto de la huella hídrica

El concepto de huella hídrica, fue introducido por primera vez por Arjen Hoekstra, en el Instituto para Educación en Agua de la UNESCO en el 2002, y fue luego desarrollado por la Universidad de Twente en los Países Bajos en la Red de Huella Hídrica (WFN por sus siglas en inglés), este concepto de huella hídrica fue propuesto como un indicador alternativo a la medición de uso de agua (WWF, 2013).

Thaler et al., (2012), define a la huella hídrica como el volumen de agua dulce utilizada directa e indirectamente, para producir un bien o un servicio bajo las condiciones del lugar de producción, el volumen de agua referido, corresponde a la suma del agua incorporada en cada una de las fases o etapas que integran el sistema de producción, así como etapas subsiguientes de comercialización, distribución y consumo.

Cuando se hace referencia a la huella hídrica de un individuo o comunidad, se cuantifica el volumen total de agua dulce requerido para producir bienes y servicios,

consumidos por un individuo o una comunidad definida. Se expresa en términos de unidades de volumen de agua incorporada por unidad de masa producida (m^3/t), unidades de volumen de agua incorporadas por unidad de tiempo ($m^3/año$) o en unidades de volumen de agua incorporadas por unidad de producto ($m^3/unidad$) (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica es un indicador que permite identificar el volumen de agua requerido, sea directa o indirectamente, a través de la cadena de suministro, para elaborar un producto. Este indicador se puede utilizar para analizar la eficiencia del consumo de agua en relación a la disposición del recurso en un área geográfica determinada (MINAGRI, 2015).

2.4.2. Huella hídrica del cultivo

La huella hídrica del cultivo (HH cultivo), según Hoekstra y Chapagain (2008), es la huella hídrica del crecimiento del cultivo y debe ser evaluado a partir de la suma de sus tres componentes principales los cuales son diferenciados en colores: verde, azul y gris. Como resultado, la huella hídrica del cultivo se obtiene con la siguiente ecuación: $HH_{cultivo} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris}$.

2.4.2.1. *Huella hídrica verde.*

La huella hídrica verde corresponde al agua proveniente de la precipitación y acumulada en el suelo. Hace referencia a la reducción en la disponibilidad de agua verde por reducción del volumen disponible debido a la apropiación que hace el hombre mediante una actividad (Lovarelli et al., 2016).

La huella hídrica verde se refiere al uso humano de los flujos de precipitaciones en la superficie de la tierra, en la medida en que no se pierde por filtro o río abajo, sobre todo para los cultivos o la producción forestal (Arjen et al, 2011).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

La ubicación geográfica de la presente investigación se encuentra en la región de Puno, se presenta a continuación

Tabla 2: Ubicación geográfica de los distritos de la provincia de Puno.

N°	DISTRITOS	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m)
		LATITUD SUR	LONGITUD SUR	
1	Puno	15°50'15"	71°01'18"	3827
2	Acora	15°58'89"	69°47'49"	3867
3	Amantani	15°39'12"	69°43'05"	3818
4	Atuncolla	15°41'03"	70°08'40"	3822
5	Capachica	15°38'18"	69°49'15"	3860
6	Chucuito	15°53'15"	69°53'21"	3871
7	Coata	15°34'00"	69°56'51"	3814
8	Huata	15°36'42"	69°58'12"	3848
9	Mañazo	15°47'54"	70°20'28"	3926
10	Paucarcolla	15°44'30"	70°03'18"	3847
11	Pichacani	16°08'46"	70°03'42"	3975
12	Plateria	15°56'39"	69°49'51"	3830
13	San Antonio	16°05'58"	70°16'57"	4725
14	Tiquillaca	15°47'42"	70°11'03"	3885
15	Vilque	15°45'48"	70°15'19"	3860

Fuente: SENAMHI - Puno

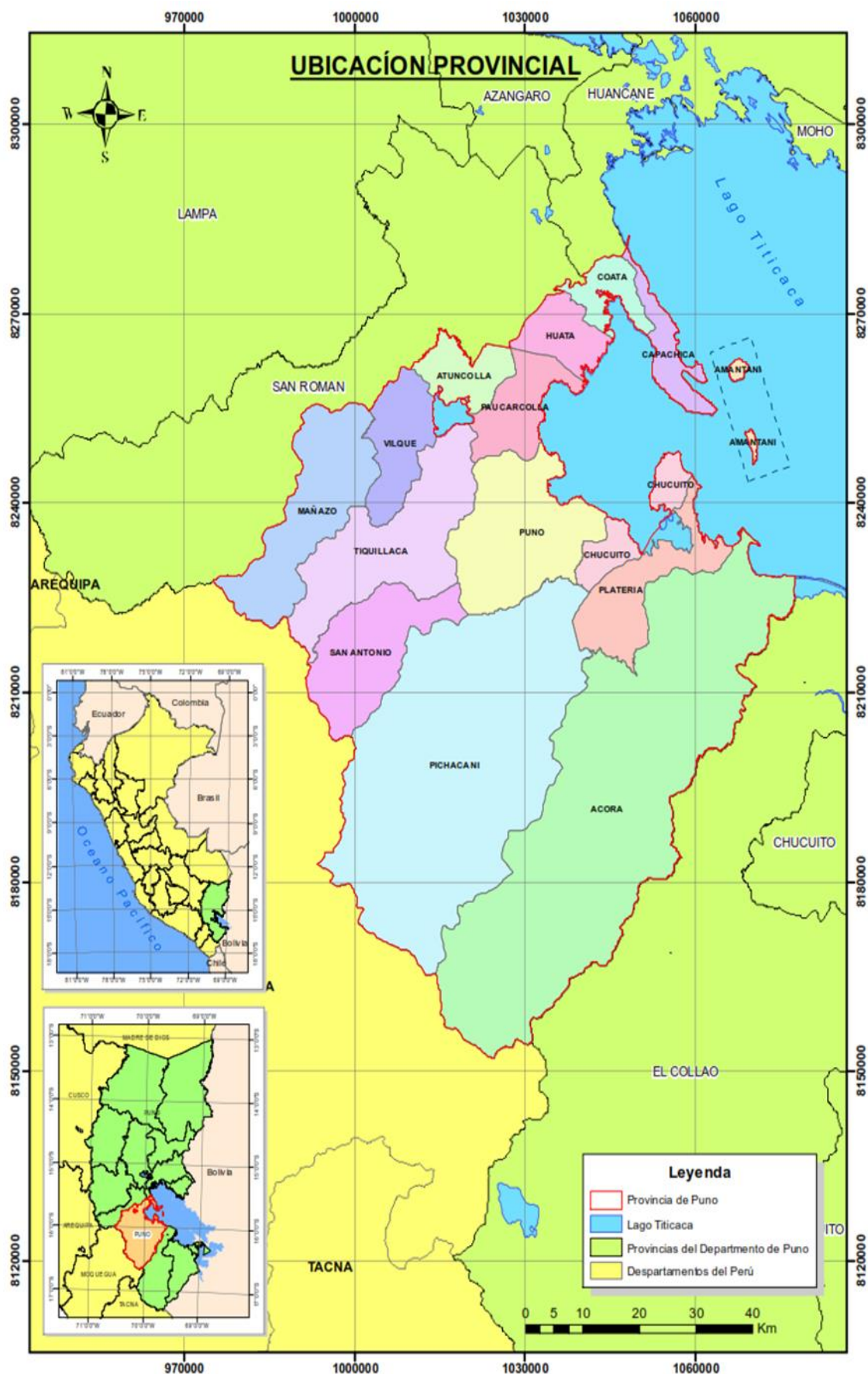


Figura 6: Ubicación política de la provincia de Puno y sus 15 distritos.

3.2. MATERIALES

a) Equipos y Software: Microsoft office, ArcMap 10.3, Cropwat 8.0 y Sevap.

3.2.1. Información meteorológica.

La información meteorológica promedio mensual y anual de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media mensual, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol, se obtiene del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Puno (SENAMHI), cuya ubicación política y geográfica se presenta en la tabla 3.

Tabla 3: Ubicación política y geográfica de las estaciones meteorológicas

ESTACIÓN	UBICACIÓN			COORDENADAS		
	REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Puno	Puno	Puno	Puno	15°49'34.5"	70°00'43.5"	3812
R.C. Acora	Puno	Puno	Acora	15°59'26.1"	69°48'39.0"	3935
Capachica	Puno	Puno	Capachica	15°36'22.9"	69°49'55.7"	3828
Mañazo	Puno	Puno	Mañazo	15°48'00"	70°03'59.7"	3920
Laraqueri	Puno	Puno	Pichacani	16°09'16"	70°03'59.7"	3900
Taquile	Puno	Puno	Amantani	15°43'13.7"	69°41'27.6"	3805

Fuente: SENAMHI - Puno

3.2.2. Información pluviométrica

La información pluviométrica total mensual y anual, se obtiene del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Puno (SENAMHI), de las estaciones mencionados en la tabla 3. Cuya ubicación política y geográfica, en series históricas tienen un periodo de registro de 37 años (1980 al 2017), los mismos se presentan en las Tablas 1 al 6 del Anexo A.

El tratamiento de los datos meteorológicos se realiza mediante el siguiente procedimiento:

a. Análisis visual de hidrogramas de precipitación

Consiste en analizar visualmente la información histórica un hidrograma ploteada en coordenadas cartesianas, en el eje de las abscisas se plotea el tiempo (en años o meses) y en el eje de las ordenadas la variable precipitación mensual. La apreciación visual de estos gráficos permite observar la distribución de las variables en estudio con respecto al

tiempo, e indicar el periodo o periodos dudosos, lo cual se puede reflejar como saltos o tendencias.

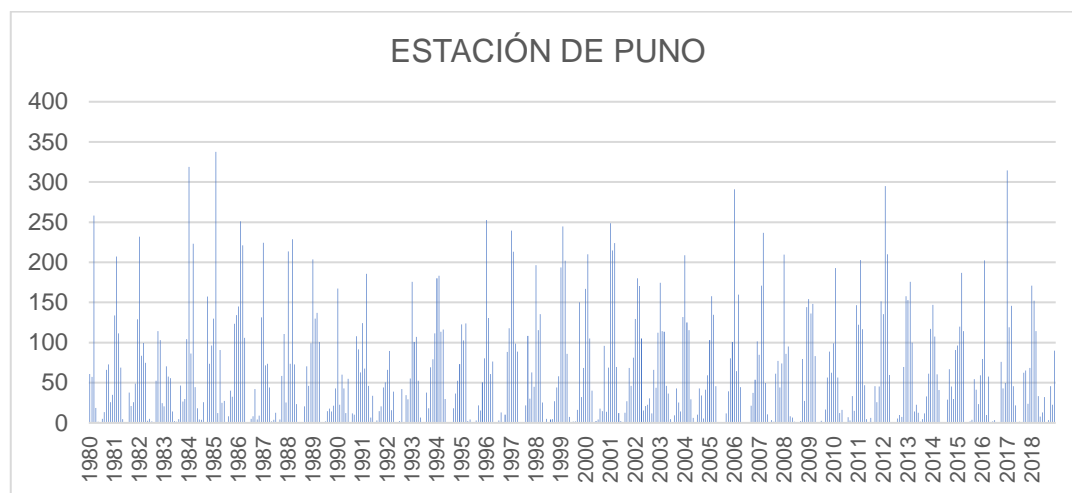


Figura 7: Análisis visual de histograma de precipitación – Estación Puno

Fuente: Elaboración propia según SENAMHI – Puno.

b. Análisis de doble masa

El análisis de doble masa o de dobles acumulaciones es una herramienta que sirve para detectar la inconsistencia de la información de precipitación total anual, mediante los puntos de quiebres que se presentan en los diagramas respectivos.

El procedimiento para realizar este análisis es el siguiente:

- Obtener la información de precipitación total anual original de dos o más estaciones de registro.
- Calcular las precipitaciones anuales acumuladas de cada estación y el promedio de las precipitaciones anuales acumuladas de todas las estaciones.
- Plotear los valores obtenidos en el paso anterior en sistema de coordenadas cartesianas, en el eje de abscisas el promedio de las precipitaciones anuales acumulados y en el eje de ordenadas las precipitaciones anuales acumuladas de cada estación en estudio.
- En estos gráficos se define los quiebres que pueden ser significativos o no para su posterior análisis estadístico.

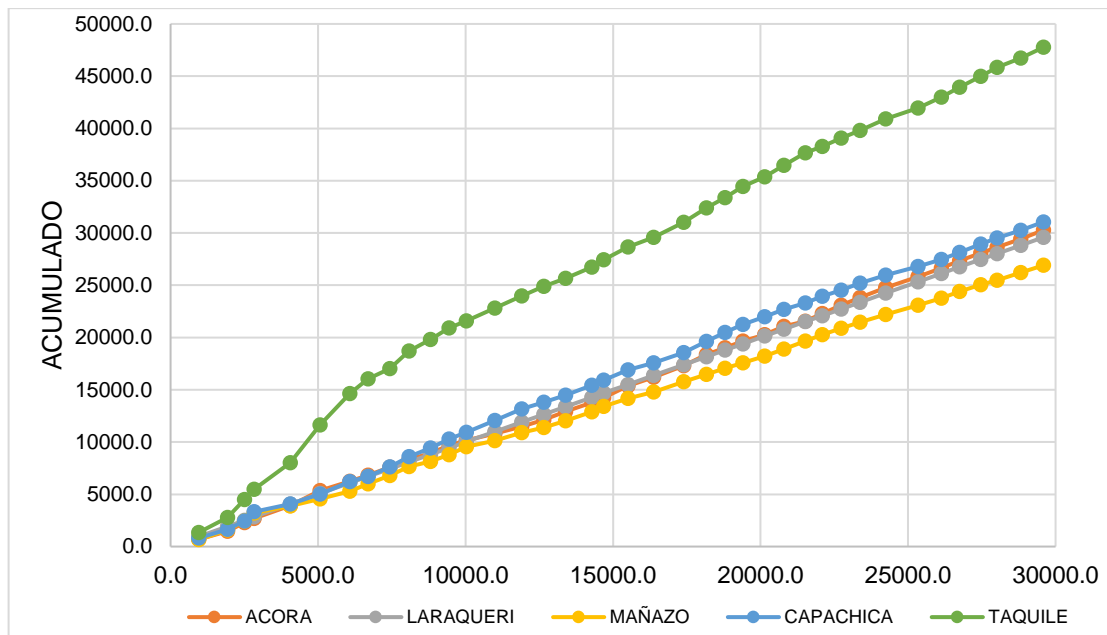


Figura 8: Análisis de doble masa – Estación patrón Laraqueri.

Fuente: Elaboración propia SENAMHI – Puno.

c. Análisis estadístico

Una vez obtenidos los hidrogramas de precipitación y las líneas de doble masa, se identifica los periodos de posible corrección y los periodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede a analizar estadísticamente la consistencia de la media, como en la desviación estándar.

Consistencia de la media:

La consistencia de la media se realiza mediante la prueba estadística “T” de Student, se analiza si los valores promedios de los periodos seleccionados son estadísticamente iguales o diferentes con un nivel de significancia de 95 %, siguiendo el siguiente procedimiento:

Prueba Estadística “T”: Student

1). Planteamiento de las hipótesis:

$$H_p : \mu_1 = \mu_2 \text{ (media poblacional)}$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha : 0.05$$

2). Cálculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios:

$$S_d = S_p * \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)} \dots\dots\dots(3)$$

$$S_p = \sqrt{\frac{((n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2)}{(n_1+n_2-2)}} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

S_d : Desviación estándar de las diferencias de los promedios.

S_p : Desviación estándar ponderada.

n_1 : Número de datos del primer periodo

n_2 : Número de datos del segundo periodo

S_1^2 : Varianza del primer periodo.

S_2^2 : Varianza del segundo periodo.

3). Cálculo del valor de T_c , según:

$$T_c = \frac{[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (u_1 - u_2)]}{S_d} \dots\dots\dots(5)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

T_c = T calculado.

$\mu_1 - \mu_2 = 0$, por hipótesis.

4). Hallar el valor de “ T_t ” de las tablas de T de Student con: $\alpha. = 0.05$ y G.L.= n_1+n_2-2

Donde:

G.L = grados de libertad.

T_t = T tabulado.

T_C = T calculado.

5). Conclusión:

Si $(T_c) \leq T_t(95\%)$, entonces la media del primer periodo es igual a la media del segundo periodo, estadísticamente.

Si $(T_c) > T_t(95\%)$, entonces la media del primer periodo no es igual a la media del segundo periodo, estadísticamente; en consecuencia, se debe corregir la información del periodo con menor número de datos.

Consistencia de la desviación estándar:

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza mediante la prueba estadística “F” de Fisher, si las desviaciones estándar (S_1 y S_2) de las sub muestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

Prueba estadística F:

1). Planteamiento de las hipótesis:

$H_p : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (varianzas poblacionales)

$H_a : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$\alpha : 0.05$

2). Cálculo de F_c , según:

$F_c = S_1 / S_2$ si $S_1 > S_2$ (7)

$F_c = S_2 / S_1$ si $S_2 > S_1$(8)

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (x_1 - \bar{x})^2 \dots\dots\dots(9)$$

3). Determinar el valor de F_t , en las tablas con: $\alpha = 0.05$, $GLN. = n_1-1$ y $GLD = n_2-1$

Donde:

F_c = valor de F calculado

F_t = valor de F tabular

α = nivel de significación

GLN = grados de libertad del numerador

GLD = grados de libertad del denominador.

4). Conclusiones:

Si $F_c \leq F_t$ (95%) $\rightarrow S_1(x) = S_2(x)$; estadísticamente.

Si $F_c > F_t$ (95%) $\rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$; estadísticamente, en este caso se debe corregir la información.

Corrección de la información.

Si los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, entonces la información original no se corrige por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en la recta de doble masa presenta pequeños quiebres. En caso contrario se debe corregir los datos de las sub muestras con las siguientes ecuaciones.

Para corregir el primer periodo, se emplea la siguiente ecuación:

$$X'(t) = \left(\frac{X_t - \bar{X}_1}{S_1} \right) * (S_2 + \bar{X}_2) \dots\dots\dots(10)$$

Para corregir el segundo periodo:

$$X'(t) = \left(\frac{X_t - \bar{X}_2}{S_2} \right) * (S_1 + \bar{X}_1) \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

$X'(t)$ = valor corregido de la información

X_t = valor a ser corregido.

En la tabla 4, se muestra el desarrollo del tratamiento estadístico para los datos precipitación siguiendo el procedimiento de las ecuaciones 3 al 9.

Tabla 4: Análisis estadístico de la prueba “T Student”.

ESTACION	Análisis de Saltos			Media			DEVSTA		
	Nº DATOS	PROM	DESVTA	Tc	Tt	DIF. SIG.	Fc	Ft	DIF. SIG.
Puno	240	61.271	68.337	-0.11	1.965	NO	1.028	1.242	NO
	228	61.963	67.397						
Acora	336	64.179	72.723	-0.24	1.965	NO	1.073	1.281	NO
	132	65.984	70.193						
Laraqueri	48	58.933	76.911	-0.46	1.965	NO	1.064	1.478	NO
	420	64.177	74.572						
Mañazo	168	60.361	66.126	0.724	1.965	NO	1.061	1.258	NO
	300	55.825	64.193						
Capachica	60	67.675	68.473	-0.13	1.965	NO	1.243	1.418	NO
	408	69.001	76.344						
Taquile	156	166.837	89.888	-0.1	1.965	NO	1	1.264	NO
	312	84.205	89.888						

Fuente: Elaboración propia

3.3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la presente investigación para determinar la huella hídrica verde se seguirá conforme a los objetivos específicos y la hipótesis de afirmación planteada, además los distritos que no cuentan con información meteorológica se estimarán en **SIG** (ArcMap 10.3) por el método de interpolación **IDW** en los mapas Isotermas e Isoyetas, la secuencia de esta investigación se describen a continuación:

3.3.1. Estimación de la evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia para el presente caso se desarrollará por el método indirecto de Penman Montheit modificado, para su validación se estimará con dos programas al menos como: Cropwat 8.0 y Sevap, ambos programas utilizan la metodología de FAO, para su determinación es necesario datos climáticos mensuales de

temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento e insolación, según (Allen *et al.* 2006).

Este método utiliza la siguiente ecuación:

$$ET_0 = c[W * Rn + (1 + w) * f(u) * (e_a - e_d)] \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

ET₀ = Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (mm/día)

W = Factor del Efecto de la Radiación sobre la ET₀ a diferentes temperaturas y altitudes

Rn = Radiación Neta traducida en evapotranspiración de agua en mm/día

f(u) = Función relativa del viento

e_a - e_d = Diferencia entre presión de vapor de saturación y Presión de Vapor Real (milibares)

c = Factor de ajuste o de corrección.

La ecuación empírica 13, por su complejidad requiere del programa llamado CROPWAT 8.0 y SEVAP, que ha sido elaborado por la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), siendo los programas para validar los resultados obtenidos para ambos casos se utiliza la ecuación 13 respectivamente.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1+0.34 u_2)} \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

ET₀ : Evapotranspiración de referencia (mm día-1)

Rn : Radiación neta en la superficie del cultivo. (MJ m-2 día-1)

Ra : Radiación extraterrestre (mm día-1)

G : Flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)

T : Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1})

e_s : Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a : Presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor (kPa)

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

γ : Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

3.3.1.1. Método de interpolación

Es un método que se usa para generar nuevos valores en base a los datos conocidos (estaciones meteorológicas SENAMHI), en el mundo de los SIG estos métodos son usados para estimar la distribución de ciertas temáticas como precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento.

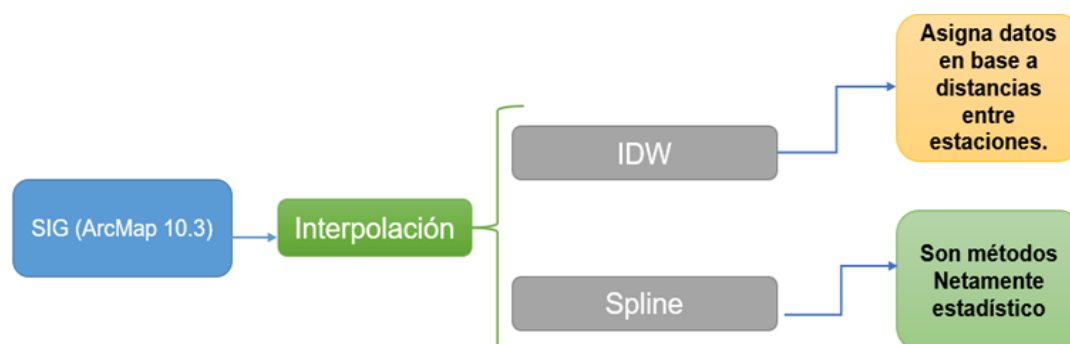


Figura 9: Secuencia de la interpolación del modelo IDW en SIG.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2. Coeficiente de cultivo.

Los valores de coeficiente de cultivo (K_c) para los cultivos de papa y quinua, se encuentran tabulados y se presentan en la publicación de la FAO N° 56 de la Serie de Riego y Drenaje.

3.3.1.3. *Evapotranspiración de cultivo.*

La evapotranspiración del cultivo que ocurre en la superficie cultivada se mide en diferentes métodos directos e indirectos, en la presente investigación se utilizara el método indirecto por lo tanto se considera que las necesidades de agua de los cultivos están representadas por la suma de la evaporación directa desde la superficie más la transpiración de los cultivos, por lo cual el ET_c en esta investigación se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o y el coeficiente del cultivo K_c :

$$ET_c = K_c * ET_o \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

ET_c : evapotranspiración del cultivo (mm/mes),

K_c : coeficiente del cultivo (adimensional),

ET_o : evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/mes).

3.3.2. Requerimiento hídrico de los cultivos

El Requerimiento Hídrico para el cultivo papa y quinua en la provincia de Puno durante el periodo 2008 al 2017 se determina con la siguiente ecuación 15:

$$RAC = 10 * \sum_{i=0}^n ET_c \dots\dots\dots(15)$$

Donde:

RAC = Requerimiento de agua verde del cultivo, en m³/ha

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, mm/mes.

n = Periodo vegetativo, meses.

3.3.2.1. *Rendimiento del cultivo (RC)*

El rendimiento de los cultivos varía según los años de producción por campaña y métodos de utilización, lo cual para el desarrollo de esta investigación se utilizará la información de agencia agraria Puno (Dirección de Estadística Agraria e Informática).

3.3.3. Determinar la huella hídrica agrícola verde de los cultivos

La investigación se realiza bajo condiciones de una agricultura en secano, sin riego en consecuencia, solo se va a determinar huella hídrica agrícola verde para los productos de papa y quinua en la provincia de Puno, no se va a determinar la huella hídrica azul porque no se usa agua de riego, ni la huella hídrica gris porque no se usa agua para lavado de contaminantes. La huella hídrica verde de los cultivos se va a determinar con la siguiente ecuación 16.

$$HH_{Verde\ del\ Cultivo} = \frac{RAC}{RC} \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

HH verde cultivo = Huella hídrica verde (m³/tn)

RAC = Requerimiento de agua verde del cultivo (m³/ha)

RC = Rendimiento del cultivo (tn/ha).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se desarrolló en hoja Excel por el método indirecto Penman Monteith modificado, considerando la información más reciente de los últimos 10 años.

Para estimar los valores de la evapotranspiración de referencia por el método de indirecto Penman Monteith modificado, por cada campaña agrícola se utilizó las estaciones meteorológicas ya antes mencionados los cuales corresponden a la provincia de Puno, así mismo se evaluó cada parámetro calculado, se validó con los programas siguientes: Cropwat 8.0 y Sevap, que los mismos son válidos por la FAO, tal como muestra en el objetivo de investigación que es el método indirecto más apropiado.

En la tabla 5, se presenta la comparación de datos calibrados para estimar la evapotranspiración de referencia en mm/día, programas vs tesis 2019, lo cual amerita dar un mejor detalle en los cálculos de la determinación de evapotranspiración de referencia, para la comparación de los de los resultados para el desarrollo de los objetivos.

Tabla 5: Comparación de la ETo programas vs Tesis 2019 (mm/día).

Estaciones	METODOS (mm/dia)		
	CROPWAT	SEVAP	TESIS - 2019
Puno	3.43	3.46	3.87
Acora	3.33	3.34	3.85
Laraqueri	3.11	3.15	3.61
Mañazo	3.35	3.00	3.77
Capachica	3.22	3.26	3.91
Taquile	3.22	2.85	3.72

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, existe una diferencia de valores calculados en programa vs software tesis 2019, los programas en su mayoría limitan la digitalización adecuada de los datos, llegando a redondeos o truncamiento de valores aun rango determinado, denegando el ingreso libre los valores obtenidos de la información meteorológica, mientras el desarrollo en software Excel tesis 2019 los datos son desarrollados de forma detallada y adecuada superando las limitaciones en la digitalización de datos.

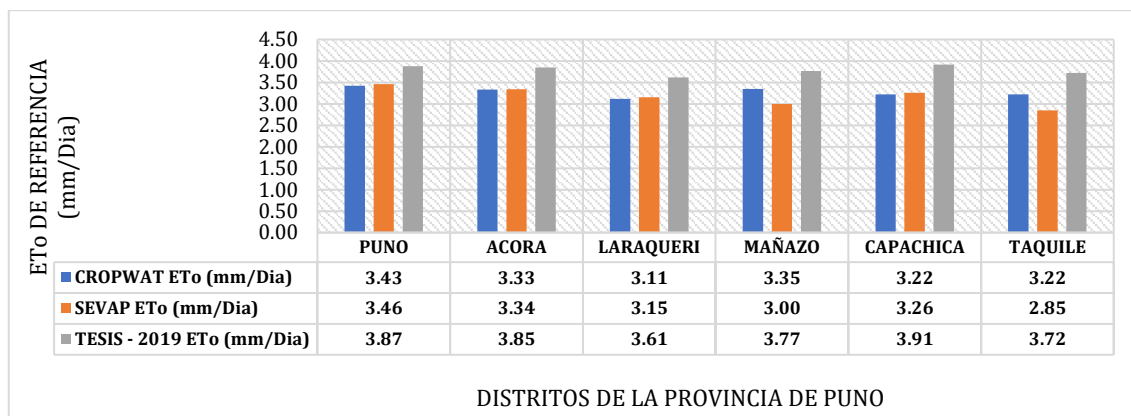


Figura 10: Comparación de datos calibrados de ETo de referencia.

En la figura 11, la variación de los resultados es homogénea para ambos programas mientras para la tesis 2019 tiene un alto índice de variabilidad frente a los programas de validación, siendo los datos estimados con coeficiente de correlación $R^2 = 0.971$ no muestra una significancia estadísticamente, se observa en la.

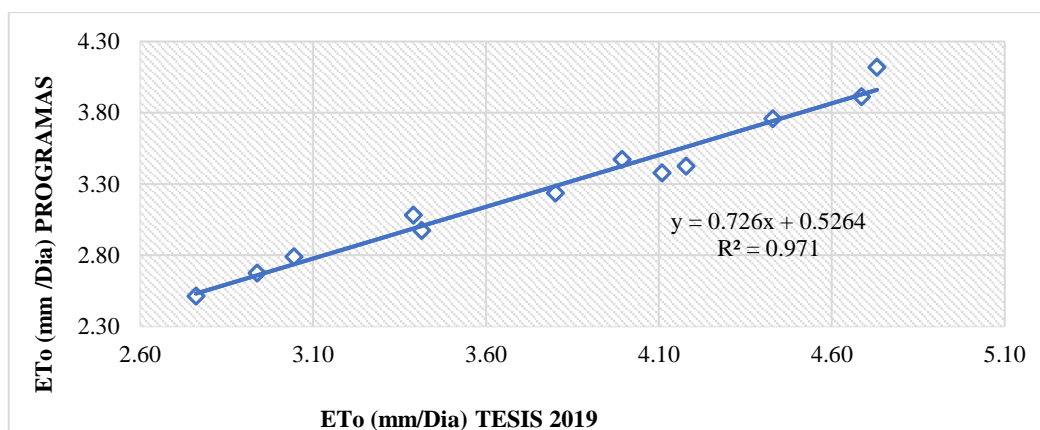


Figura 11: Diagrama de validación de datos calibrados de ETo mm/Dia.

4.1.1. Validación de datos interpoladas en SIG (IDW)

La validación del modelo en **SIG** por el método **IDW** es el proceso a demostrar que se están simulando apropiadamente los procesos físicos dominantes en un sitio específico, para estimar la evapotranspiración de referencia para los distritos que no cuentan al menos con una estación meteorológica, siendo capaz de realizar predicciones que satisfagan los criterios de precisión previamente establecidos

En la figura 12, se presenta la validación estadística de los parámetros meteorológicos estimados en SIG con respecto a los parámetros de SENAMHI, la relación de los ambos resultados tiene una coherencia similar o igual a los datos reales,

por lo tanto, se afirma debe que el uso del dicho modelo es válido para el desarrollo del objetivo.

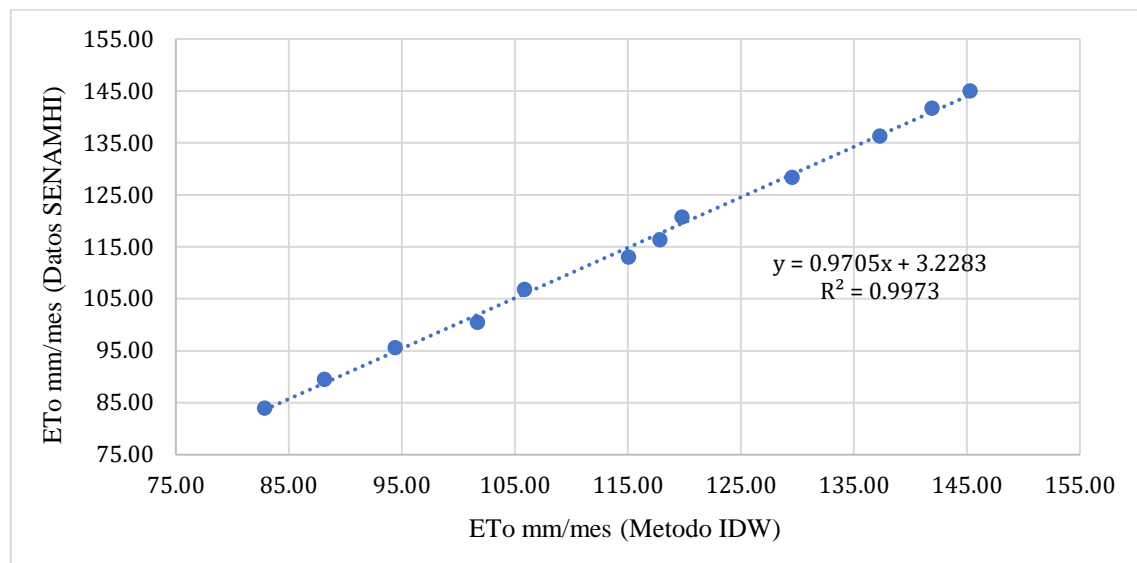


Figura 12: Diagrama de dispersión para la estimación de ET₀.

En la tabla 6, se presentan los resultados de la estimación de la Evapotranspiración de referencia (ET₀), mediante el método de Penman Monteith modificado para la provincia de Puno conforme a la ecuación (12).

Puno varía de 86.157 a 143.626 mm, que corresponden a los meses de junio y noviembre respectivamente, con una evapotranspiración de referencia anual de 1410.060 mm, Rincón de la Cruz Acora varía de 88.772 a 144.727 mm, que corresponden a los meses de junio y noviembre respectivamente, con una evapotranspiración de referencia anual de 1401.292 mm, Capachica varía de 83.130 a 155.964 mm, que corresponden a los meses de junio y octubre respectivamente, y una evapotranspiración de referencia anual de 1424.561 mm, Mañazo varía de 85.038 a 142.615 mm, que corresponden a los meses de junio y noviembre respectivamente, y una evapotranspiración de referencia anual de 1372.048 mm, Laraqueri varía de 75.316 a 141.378 mm, que corresponden a los meses de junio y octubre respectivamente, y una evapotranspiración de referencia anual de 1315.906 mm, Taquile varía de 78.623 a 138.159 mm, que corresponden a los meses de junio y noviembre respectivamente, y una evapotranspiración de referencia anual de 1353.84 mm.

Tabla 6: Evapotranspiración de referencia (mm/mes).

DISTRITOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Puno	133.70	117.44	121.27	104.92	96.65	86.16	92.20	109.35	122.18	141.77	143.63	140.79	1410.06
Acora	128.42	113.05	115.69	103.55	98.87	88.77	92.75	109.69	123.85	144.64	144.73	137.29	1401.29
Laraqueri	125.55	110.70	112.87	95.64	87.70	75.32	81.43	98.65	113.87	141.38	138.71	134.10	1315.91
Taquile	128.46	114.88	119.05	101.18	91.68	78.62	82.96	100.49	115.25	147.35	138.16	135.75	1353.84
Mañazo	127.54	111.85	116.39	99.89	95.37	85.04	89.31	107.21	120.40	140.51	142.62	135.93	1372.05
Capachica	133.54	122.46	121.64	104.94	96.12	83.13	90.30	109.64	123.21	155.96	143.68	139.94	1424.56
Atuncolla	127.59	112.05	116.04	100.11	95.68	84.28	91.44	107.60	120.05	143.96	141.67	135.21	1375.69
Chucuito	128.60	113.05	115.94	100.85	96.01	85.14	89.70	107.19	121.52	143.58	140.87	136.55	1378.99
Coata	132.03	117.64	119.85	103.11	95.68	83.16	89.88	107.91	122.63	153.39	143.46	140.11	1408.84
Huata	128.76	113.71	117.37	101.17	94.96	83.76	89.48	106.12	120.28	146.10	142.18	136.09	1379.98
Paucarcolla	126.44	111.08	115.20	99.06	95.29	84.36	89.24	107.36	120.71	143.08	140.13	135.00	1366.95
Plateria	128.02	112.38	115.50	102.06	98.13	87.78	91.33	108.16	122.80	144.58	142.99	136.31	1390.04
San Antonio	128.46	113.03	115.67	99.20	93.62	80.78	86.71	103.70	118.31	143.59	140.70	136.20	1359.96
Tiquillaca	127.59	112.12	115.59	99.28	96.48	82.40	88.32	105.97	119.86	143.38	141.22	135.67	1367.89
Vilque	127.85	111.92	115.85	99.11	94.63	83.85	89.08	107.01	120.46	143.43	141.52	135.46	1370.19

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Coeficiente de cultivo

Chino, H. (2006) determinación del coeficiente de cultivo (Kc) por los métodos experimental é empíricos, metodología propuesta por la FAO los Kc's asumidos varían de 0.52 a 1.20 con un promedio de 0.89 los cuales representan en la investigación correspondiente.

Tabla 7: Coeficiente Kc cultivo papa.

Fase fenológica	Ocurrencia de fase en días	Kc Asumido
Inicial	25	0.52
Desarrollo	37	0.89
Media (floración)	47	1.2
Maduración	48	0.96

Fuente: Revisión bibliográfica tesis Chino, H. (2006)

Choquecallata, José, et al. (1991) derivado de los resultados de su tesis: “Evapotranspiración máxima del cultivo de la quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el Altiplano boliviano”, en donde afirma que el Kc de la quinua varía según la fase fenológica de la siguiente manera:

Tabla 8: Valores del kc de la quinua - Patacamaya (1989/1990)

Fase fenológica	Kc
Cuatro hojas	0.58
Inicio de panojamiento	0.63
Panojamiento	0.73
Inicio de floración	0.9
Floración o antesis	1.01
Floración o antesis	1.08
Inicio grano lechoso	1.14
Fin de grano lechoso	1.00
Grano pastoso	0.78
Promedio	0.87

Fuente: Choquecallata, J., et al (1991)

4.1.3. Evapotranspiración del cultivo

En la tabla 9, se presentan los resultados de la estimación de la Evapotranspiración del cultivo de papa para los distritos de la provincia de Puno según la ecuación (14).

Puno varia de 74.69 a 140.93 mm, para todo el periodo vegetativo de 666.88 mm, Acora 75.26 a 135.65 mm, para todo el periodo vegetativo de 647.99 mm, Laraqueri 72.13 a 132.84 mm, todo el periodo vegetativo de 626.54 mm, Taquile 71.84 a 137.85 mm, para todo el periodo vegetativo de 646.79 mm, Mañazo 74.16 a 134.22 mm, para todo el periodo vegetativo de 640.86 mm, Capachica 74.71 a 146.95 mm, para todo el periodo vegetativo de 672.47 mm.

Atuncolla 73.67 a 134.46 mm, para todo el periodo vegetativo de 639.85 mm, Chucuito 73.25 a 135.66 mm, para todo el periodo vegetativo de 643.13 mm, Coata 74.60 a 141.17 mm, para todo el periodo vegetativo de 661.97 mm, Huata 73.93 a 136.45 mm, para todo el periodo vegetativo de 646.16 mm, Paucarcolla 72.87 a 133.30 mm, para todo el periodo vegetativo de 634.97 mm, Plateria varia de 74.36 a 134.86 mm, para todo el periodo vegetativo de 643.49 mm, San Antonio 73.16 a 135.63 mm, para todo el periodo vegetativo de 640.74 mm, Tiquillaca varia de 73.44 a 134.55 mm, para todo el periodo vegetativo de 638.84 mm, Distrito de Vilque 73.59 a 134.31 mm, para todo el periodo vegetativo de 638.86 mm.

Para toda la provincia de Puno la variación de la evapotranspiración del cultivo papa corresponde a los meses de noviembre y febrero respectivamente con un promedio de 645.97 mm.

Tabla 9: Evapotranspiración real del cultivo de papa (mm).

N°	DISTRITOS	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	Puno	74.69	125.31	94.26	140.93	130.98	100.73	666.88
2	Acora	75.26	122.19	90.54	135.65	124.95	99.41	647.99
3	Laraqueri	72.13	119.34	88.51	132.84	121.90	91.82	626.54
4	Taquile	71.84	120.82	90.56	137.85	128.58	97.13	646.79
5	Mañazo	74.16	120.98	89.92	134.22	125.70	95.89	640.86
6	Capachica	74.71	124.55	94.14	146.95	131.37	100.74	672.47
7	Atuncolla	73.67	120.34	89.95	134.46	125.33	96.10	639.85
8	Chucuito	73.25	121.53	90.66	135.66	125.21	96.81	643.13
9	Coata	74.60	124.70	93.08	141.17	129.43	98.99	661.97
10	Huata	73.93	121.12	90.78	136.45	126.76	97.12	646.16
11	Paucarcolla	72.87	120.15	89.14	133.30	124.42	95.10	634.97
12	Platería	74.36	121.31	90.25	134.86	124.74	97.98	643.49
13	San Antonio	73.16	121.22	90.57	135.63	124.92	95.23	640.74
14	Tiquillaca	73.44	120.75	89.95	134.55	124.84	95.31	638.84
15	Vilque	73.59	120.56	90.13	134.31	125.12	95.15	638.86
	Promedio	73.80	122.20	91.32	138.07	127.24	97.62	645.97

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10, se presentan los resultados de la estimación de la Evapotranspiración del cultivo de quinua, para los distritos de la provincia de puno.

Puno 82.23 a 133.26 mm, para todo el periodo vegetativo de 629.00 mm. En el distrito de acora 83.89 a 128.00 mm, para todo el periodo vegetativo de 614.48 mm, Laraqueri 82.00 a 125.13 mm, para todo el periodo vegetativo de 598.89 mm, Taquile 85.47 a 128.03 mm, para todo el periodo vegetativo de 615.41 mm, Mañazo 81.50 a 127.12 mm, para todo el periodo vegetativo de 608.15 mm, Capachica 90.46 a 133.09 mm, para todo el periodo vegetativo de 642.14 mm.

Atuncolla 83.50 a 127.17 mm, para todo el periodo vegetativo de 609.02 mm, Chucuito varia de 83.28 a 128.17 mm, para todo el periodo vegetativo de 611.27 mm, Coata 88.97 a 131.59 mm, para todo el periodo vegetativo de 632.57 mm, Huata varia de 84.74 a 128.33 mm, para todo el periodo vegetativo de 615.21 mm, Paucarcolla 82.99 a 126.01 mm, para todo el periodo vegetativo de 604.55 mm, Plateria 83.86 a 127.59 mm, para todo el periodo vegetativo de 611.38 mm, San Antonio 83.28 a 128.03 mm, para

todo el periodo vegetativo de 610.54 mm, Tiquillaca 83.16 a 127.42 mm, para todo el periodo vegetativo de 608.47 mm y Vilque varia de 83.19 a 127.42 mm, para todo el periodo vegetativo de 608.78 mm.

Para toda la provincia de Puno la variación de la evapotranspiración del cultivo quinua corresponden a los meses de octubre y enero respectivamente con un promedio de 614.66 mm.

Tabla 10: Evapotranspiración real del cultivo de quinua (mm).

Nº	DISTRITOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
1	Puno	82.23	90.48	102.78	133.26	125.66	94.59	629.00
2	Acora	83.89	91.18	100.22	128.00	120.96	90.24	614.48
3	Laraqueri	82.00	87.39	97.89	125.13	118.45	88.04	598.89
4	Taquile	85.47	87.04	99.10	128.03	122.92	92.86	615.41
5	Mañazo	81.50	89.85	99.23	127.12	119.68	90.78	608.15
6	Capachica	90.46	90.52	102.16	133.09	131.03	94.88	642.14
7	Atuncolla	83.50	89.25	98.71	127.17	119.89	90.51	609.02
8	Chucuito	83.28	88.75	99.68	128.17	120.96	90.43	611.27
9	Coata	88.97	90.38	102.28	131.59	125.88	93.48	632.57
10	Huata	84.74	89.57	99.34	128.33	121.67	91.55	615.21
11	Paucarcolla	82.99	88.28	98.55	126.01	118.86	89.86	604.55
12	Plateria	83.86	90.09	99.50	127.59	120.25	90.09	611.38
13	San Antonio	83.28	88.64	99.43	128.03	120.94	90.22	610.54
14	Tiquillaca	83.16	88.97	99.04	127.16	119.97	90.16	608.47
15	Vilque	83.19	89.16	98.89	127.42	119.76	90.36	608.78
	Promedio	84.17	89.30	99.79	128.41	121.79	91.20	614.66

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Precipitación efectiva

En la tabla 11, se presentan los resultados de la estimación de la precipitación efectiva para las estaciones meteorológicas Puno 19.13 a 170.35 mm, que corresponden a los meses de octubre y marzo, respectivamente y una precipitación efectiva total de 528.40 mm. Acora 37.35 a 245.68 mm, que corresponden a los meses de octubre y marzo, respectivamente y una precipitación efectiva total de 639.58 mm. Laraqueri 22.23 a 149.63 mm, que corresponden a los meses de octubre y febrero, respectivamente y una precipitación efectiva total de 605.12 mm. Taquile 95.84 a 235.11 mm, que corresponden a los meses de octubre y marzo, respectivamente y una precipitación efectiva total de 1117.35 mm para esta estación se hizo corrección de la información siguiendo las ecuaciones 3 al 9. Mañazo 23.22 a 132.90 mm, que corresponden a los meses de octubre

y febrero, respectivamente y una precipitación efectiva total de 571.56 mm. Capachica la precipitación efectiva varía de 50.85 a 208.28 mm, que corresponden a los meses de octubre y marzo, respectivamente y una precipitación efectiva total de 755.90 mm, Atuncolla con una precipitación efectiva total de 591 mm, Chucuito 726 mm, Coata 629 mm, Huata 610 mm, Paucarcolla 622 mm, Plateria 708 mm, San Antonio 645 mm, Tiquillaca 618 mm y Vilque con una precipitación efectiva total de 525 mm.

En ella se puede apreciar que en la estación que por cada distrito varía según el comportamiento climático y topográfico de cada zona, que corresponden a la provincia de Puno.

Tabla 11: Resultados de la estimación de la precipitación efectiva (mm).

N°	DISTRITOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	PUNO	19.13	45.73	57.77	123.75	76.50	170.35	35.18	528.40
2	ACORA	37.35	54.62	79.37	106.68	61.32	245.68	54.55	639.58
3	LARAQUERI	22.23	37.40	90.75	132.70	149.63	148.70	23.73	605.12
4	TAQUILE	95.84	110.32	145.87	196.22	223.89	235.11	110.10	1117.35
5	MAÑAZO	23.22	45.52	98.36	129.22	132.90	114.62	27.72	571.56
6	CAPACHICA	50.85	66.05	110.50	127.08	120.25	208.28	72.90	755.90
7	ATUNCOLLA	3.00	63.00	111.00	135.00	150.00	105.00	24.00	591.00
8	CHUCUITO	57.00	51.00	102.00	174.00	141.00	135.00	66.00	726.00
9	COATA	33.00	60.00	105.00	156.00	141.00	108.00	26.00	629.00
10	HUATA	32.00	57.00	98.00	153.00	138.00	105.00	27.00	610.00
11	PAUCARCOLLA	30.00	60.00	108.00	150.00	147.00	102.00	25.00	622.00
12	PLATERIA	54.00	54.00	93.00	177.00	141.00	125.00	64.00	708.00
13	SAN ANTONIO	3.00	60.00	132.00	156.00	168.00	90.00	36.00	645.00
14	TIQUILLACA	3.00	63.00	129.00	147.00	162.00	84.00	30.00	618.00
15	VILQUE	1.00	3.00	126.00	132.00	156.00	83.00	24.00	525.00

Fuente: Elaboración propia

4.2. REQUERIMIENTO HIDRICO DEL CULTIVO

4.2.1. Requerimiento de agua del cultivo de papa

En la tabla 12, se muestran los resultados de la estimación del requerimiento de agua verde del cultivo de papa en la provincia de Puno fue según la ecuación (15).

Puno 701.13 a 1332.77 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 6159.56 m³/has, Acora 697.96 a 1295.22 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5877.72 m³/has, Laraqueri de 683.89 a 1178.74 m³/has, para todo el ciclo vegetativo del cultivo de papa

de 5682.49 m³/has, Taquile 608.11 a 1154.63 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5446.36 m³/has, Mañazo 696.08 a 1209.28 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5860.31 m³/has, Capachica 681.09 a 1349.29 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 6019.65 m³/ha. Atuncolla 673.70 a 1194.55 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5810.45 m³/has, Chucuito de 681.54 a 1215.58 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5762.27 m³/has, Coata 686.00 a 1270.71 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 6023.70 m³/has, Huata 682.33 a 1226.52 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5883.62 m³/has, Paucarcolla 668.69 a 1186.01 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5757.70 m³/has, Plateria 689.57 a 1207.56 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5780.94 m³/has, San Antonio 671.37 a 1183.33 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5765.39 m³/has, Tiquillaca de 671.37 a 1187.47 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5773.35 m³/has y Vilque 732.93 a 1187.06 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5864.58 m³/has. Para toda la provincia de Puno la variación del requerimiento hídrico para el cultivo papa corresponde a los meses de noviembre y febrero respectivamente con un promedio de 5831.21 mm.

Tabla 12: Requerimiento de agua del cultivo papa (m³/has).

Nº	DISTRITOS	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	Puno	701.13	1195.29	818.87	1332.77	1139.40	972.10	6159.56
2	Acora	697.96	1142.51	798.71	1295.22	1003.80	939.52	5877.72
3	Laraqueri	683.89	1102.70	752.41	1178.74	1070.30	894.45	5682.49
4	Taquile	608.11	1062.31	709.41	1154.63	1050.67	861.23	5446.36
5	Mañazo	696.08	1111.43	769.94	1209.28	1142.37	931.21	5860.31
6	Capachica	681.09	1134.99	814.37	1349.29	1105.43	934.48	6019.65
7	Atuncolla	673.70	1092.41	764.52	1194.55	1148.25	937.02	5810.45
8	Chucuito	681.54	1113.29	732.62	1215.58	1117.11	902.13	5762.27
9	Coata	686.00	1141.97	774.78	1270.71	1186.34	963.90	6023.70
10	Huata	682.33	1113.17	754.79	1226.52	1162.58	944.23	5883.62
11	Paucarcolla	668.69	1093.48	741.37	1186.01	1142.16	925.99	5757.70
12	Plateria	689.57	1120.14	725.55	1207.56	1122.36	915.76	5780.94
13	San Antonio	671.63	1080.20	749.66	1188.33	1159.24	916.33	5765.39
14	Tiquillaca	671.37	1078.50	752.49	1183.47	1164.42	923.10	5773.35
15	Vilque	732.93	1079.60	769.34	1187.06	1168.17	927.48	5864.58
	Promedio	681.73	1110.80	761.92	1225.31	1125.51	925.93	5831.21

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Requerimiento de agua del cultivo de quinua

En la tabla 13, se presentan los resultados de la estimación del requerimiento de agua verde del cultivo de quinua en la provincia de Puno siguiendo el procedimiento de la ecuación (15).

Puno 775.58 a 1208.84 m³/has, para todo el ciclo vegetativo del cultivo de 5796.79 m³/has, Acora 656.7 a 1173.28 m³/has, para todo el ciclo vegetativo del cultivo de quinua de 5559.81 m³/has, Laraqueri 731.7 a 1118.59 m³/has, para todo el ciclo vegetativo del cultivo de quinua de 5407.5 m³/has, Taquile 693.5 a 1084.08 m³/has, para todo el ciclo vegetativo del cultivo de quinua de 5146.89 m³/has, Mañazo 791.76 a 1141.93 m³/has, para todo el ciclo vegetativo del cultivo de quinua de 5537.68 m³/has, Capachica 740.5 a 1203.86 m³/has, para todo el ciclo vegetativo del cultivo de papa de 5738.43 m³/ha.

Atuncolla 800.1 a 1136.66 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5523.23 m³/has, Chucuito 769.3 a 1107.71 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5452.71 m³/has, Coata 826.8 a 1159.86 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5722.71 m³/has, Huata 810.5 a 1130.35 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5569.06 m³/has, Paucarcolla 796.6 a 1110.14 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5448.47 m³/has, Plateria de 775.9 a 1098.94 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5469.74 m³/has, San Antonio de 812.2 a 1124.34 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5496.44 m³/has, Tiquillaca de 817.6 a 1124.63 m³/has, todo el ciclo vegetativo de 5496.73 m³/has y Vilque de 820.63 a 1142.23 m³/has, para todo el ciclo vegetativo de 5586.81 m³/has.

La variación de requerimiento hídrico del cultivo quinua para todos los distritos corresponden a los meses de marzo y enero respectivamente.

Tabla 13: Requerimiento de agua del cultivo quinua (m³/has)

N°	DISTRITOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL
1	Puno	803.13	859.12	970.02	1208.84	1180.1	775.58	5796.79
2	Acora	801.55	857.16	922.84	1173.28	1148.26	656.72	5559.81
3	Laraqueri	797.77	836.47	888.14	1118.59	1034.84	731.69	5407.50
4	Taquile	758.81	760.09	845.11	1084.08	1005.29	693.51	5146.89
5	Mañazo	791.76	852.96	893.94	1141.93	1063.88	793.21	5537.68
6	Capachica	853.74	839.14	911.09	1203.86	1190.09	740.51	5738.43
7	Atuncolla	831.95	829.54	876.06	1136.66	1048.89	800.13	5523.23
8	Chucuito	775.77	836.5	894.81	1107.71	1068.62	769.3	5452.71
9	Coata	856.66	843.81	917.8	1159.86	1117.78	826.8	5722.71
10	Huata	815.37	838.73	895.44	1130.35	1078.69	810.48	5569.06
11	Paucarcolla	799.86	822.83	877.48	1110.14	1041.6	796.56	5448.47
12	Plateria	784.56	846.86	902.05	1098.94	1061.46	775.87	5469.74
13	San Antonio	829.8	826.4	862.27	1124.34	1041.4	812.23	5496.44
14	Tiquillaca	828.61	826.72	861.42	1124.63	1037.71	817.64	5496.73
15	Vilque	830.91	888.61	862.87	1142.23	1041.56	820.63	5586.81
	Promedio	810.68	837.66	892.09	1137.70	1077.34	774.72	5530.20

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Rendimiento del cultivo

En la tabla 14, se presentan los resultados de la estimación del rendimiento del cultivo de papa durante las campañas 2008/09 al 2016/17 en los distritos de Puno, Paucarcolla, Atuncolla, Acora, Chucuito, Plateria, Huata, Coata, Capachica, Tiquillaca, Vilque, Mañazo, Pichacani, San Antonio de Esquilache y Amantani, los mismos que fueron obtenidos del Ministerio de Agricultura, Oficina de Información Agraria Puno. En ella se puede apreciar que en promedio el rendimiento de la papa varía de 7442.59 a 11231.6 kg/has, que corresponden a los distritos de San Antonio de Esquilache y Capachica, respectivamente y un rendimiento promedio en la provincia de Puno de 10085.802 kg/has.

Tabla 14: Rendimiento del cultivo de papa (Kg/has).

CAMPAÑA	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	PROMEDIO
Acora	9890.4	10533	11558	12456	11439	11679	11719	9563.6	10528	11040.82
Amantani	9000	9150	9140.6	9750	10234	10280	11477	10250	10064	9927.3
Atuncolla	8388.2	9650	10229	10053	11537	10350	9572	9180.4	10145	9900.42
Capachica	10049	10813	11218	13120	12148	11820	11149	10144	10625	11231.6
Chucuito	8738.5	9734.5	10707	11108	10719	10937	11535	10041	10749	10474.43
Coata	8935	9657	10210	9713.6	10254	10450	11243	9025	10279	9973.97
Huata	8200	9371.4	9716	10392	10446	10485	10200	9825	10040	9852.91
Mañazo	9534.4	10376	11561	11371	12249	11781	11331	9634.3	10087	10880.43
Paucarcolla	8960	9924.5	10341	11061	11508	10950	10497	9730.3	9701.5	10297
Pichacani	8942.9	8612.9	9115.2	8461.5	10280	9847.6	9827.9	9158.1	9712.9	9328.78
Plateria	9106.3	10121	10592	12061	11481	11416	11527	9684.3	10914	10766.81
Puno	8800	10514	11047	10498	10478	10834	11680	9679.4	10785	10479.4
San Antonio	7333.3	6250	7750	7250	7200	7600	8000	7200	8400	7442.59
Tiquillaca	8146.2	8961.5	9500	9550	10557	9850	9850	9027.8	10644	9565.19
Vilque	9005.6	9650	9515.8	10194	11124	11204	10310	9835	10289	10125.38
Promedio	8868.6	9554.5	10147	10469	10777	10632	10661	9465.2	10198	10085.802

Fuente: AGENCIA AGRARIA PUNO (Dirección de Estadística Agraria e Informática).

<https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agricola/>

En la tabla 15, se presentan los resultados de la estimación del rendimiento del cultivo de quinua durante las campañas 2008/09 al 2016/17 en los distritos de Puno, Paucarcolla, Atuncolla, Acora, Chucuito, Plateria, Huata, Coata, Capachica, Tiquillaca, Vilque, Mañazo, Pichacani y Amantani, los mismos que fueron obtenidos del Ministerio de Agricultura, Oficina de Información Agraria Puno.

En ella se puede apreciar que en promedio el rendimiento del cultivo de quinua varía de 1097.6 a 1208.88 kg/has, que corresponden a los distritos de Pichacani y Mañazo, respectivamente y un rendimiento promedio del cultivo de quinua la provincia de Puno de 1157.731 kg/has.

Tabla 15: Rendimiento del cultivo de quinua (Kg/Has).

CAMPAÑA	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	PROMEDIO
Acora	1187.83	1292.68	1349.45	1359.54	991.953	1249.42	1205.41	963.909	1105.71	1189.54
Amantani	1160.00	1148.15	1206.90	1172.41	1137.93	1230.77	1203.13	977.50	1000.00	1137.42
Atuncolla	1046.67	1254.55	1247.06	1268.75	979.487	1210.26	1155.56	965.384	1042.80	1130.06
Capachica	1210.00	1191.84	1328.00	1308.00	982.142	1236.67	1200.00	968.421	1167.79	1176.98
Chucuito	1200.00	1280.00	1366.67	1257.14	990.909	1209.09	1218.18	1008.51	1144.00	1186.06
Coata	1100.00	1211.76	1300.00	1236.84	1078.05	1190.91	1177.6	978.181	1069.77	1149.23
Huata	1053.85	1206.67	1240.00	1226.67	1035.29	1258.82	1131.58	975.609	1015.87	1127.15
Mañazo	1254.05	1302.70	1350.00	1302.56	1088.89	1121.95	1214.81	1083.95	1161.04	1208.88
Paucarcolla	1152.00	1276.92	1300.00	1300.00	1080.6	1174.36	1148.72	983.333	1013.51	1158.83
Pichacani	1070.00	1171.43	1247.86	1196.58	984.00	1096.55	1094.12	916.666	1101.19	1097.60
Plateria	1179.17	1214.81	1309.68	1183.87	915.151	1196.97	1155.22	922.222	1202.86	1142.22
Puno	1247.37	1266.67	1320.00	1280.00	1004.17	1126.53	1200.00	977.049	1106.67	1169.83
Tiquillaca	1083.33	1238.89	1278.95	1220.00	990.697	1106.38	1144.68	978.723	1113.04	1128.30
Vilque	1220.83	1349.09	1300.00	1382.14	1180.33	1236.67	1148.28	972.413	1065.38	1206.13
Promedio	1154.65	1243.30	1296.04	1263.89	1031.40	1188.95	1171.23	976.562	1093.55	1157.73

Fuente: AGENCIA AGRARIA PUNO (Dirección de Estadística Agraria e Informática).
<https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agricola/>

4.3. HUELLA HIDRICA DE LOS CULTIVOS

4.3.1. Huella hídrica del cultivo de papa

En la tabla 16, se presentan los resultados según la ecuación (16) de la estimación de la huella hídrica verde del cultivo de papa considerando una agricultura en secano, durante las campañas agrícolas 2008/09 al 2016/17 en los distritos de Puno, Paucarcolla, Atuncolla, Acora, Chucuito, Plateria, Huata, Coata, Capachica, Tiquillaca, Vilque, Mañazo, Pichacani, San Antonio de Esquilache y Amantani. En ella se puede apreciar que, en promedio para los 15 distritos de la provincia de Puno, la huella hídrica del cultivo de papa durante el periodo 2008/09 al 2016/17 varía de 548.74 a 661.06 m³/ton, que corresponden a las campañas agrícolas 2012/13 y 2008/09, respectivamente y en toda la provincia de Puno una huella hídrica promedio de 586.41 m³/ton.

Tabla 16: Huella hídrica verde del cultivo de papa (m³/tn).

CAMPAÑA	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17
Puno	699.95	585.86	557.59	586.74	587.83	568.55	527.36	636.36	571.15
Acora	594.29	558.01	508.56	471.87	513.82	503.25	501.54	614.59	558.28
Pichacani	635.42	659.76	623.41	671.57	552.77	577.04	578.20	620.49	585.04
Amantani	605.15	595.23	595.84	558.60	532.16	529.82	474.55	531.35	541.17
Mañazo	614.65	564.81	506.92	515.39	478.42	497.46	517.17	608.28	580.98
Capachica	599.06	556.71	536.63	458.83	495.54	509.29	539.90	593.42	566.56
Atuncolla	692.69	602.12	568.06	577.99	503.65	561.40	607.03	632.92	572.73
Chucuito	659.41	591.94	538.18	518.74	537.56	526.88	499.53	573.86	536.07
Coata	674.17	623.76	590.01	620.13	587.46	576.43	535.77	667.45	586.04
Huata	717.51	627.83	605.56	566.16	563.22	561.14	576.83	598.84	586.02
Paucarcolla	642.60	580.15	556.80	520.55	500.31	525.82	548.52	591.73	593.48
Plateria	634.83	571.21	545.79	479.30	503.53	506.40	501.53	596.94	529.68
San Antonio	786.19	922.46	743.92	795.23	800.75	758.60	720.67	800.75	686.36
Tiquillaca	708.72	644.24	607.72	604.54	546.87	586.13	586.13	639.51	542.40
Vilque	651.22	607.73	616.30	575.27	527.21	523.42	568.82	596.30	569.96
Promedio	661.06	619.45	580.09	568.06	548.74	554.11	552.24	620.18	573.73

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 13, se presenta en forma gráfica la variación de la huella hídrica verde del cultivo de papa por campaña agrícola y por distritos de la provincia de Puno, el comportamiento de la huella hídrica en los distritos Puno, Paucarcolla, Atuncolla, Acora, Chucuito, Plateria, Huata, Coata, Capachica, Tiquillaca, Vilque, Mañazo, Pichacani y Amantani, son similares durante las campañas agrícolas 2008/09 al 2016/17, mientras que en el Distrito de San Antonio es mucho mayor.

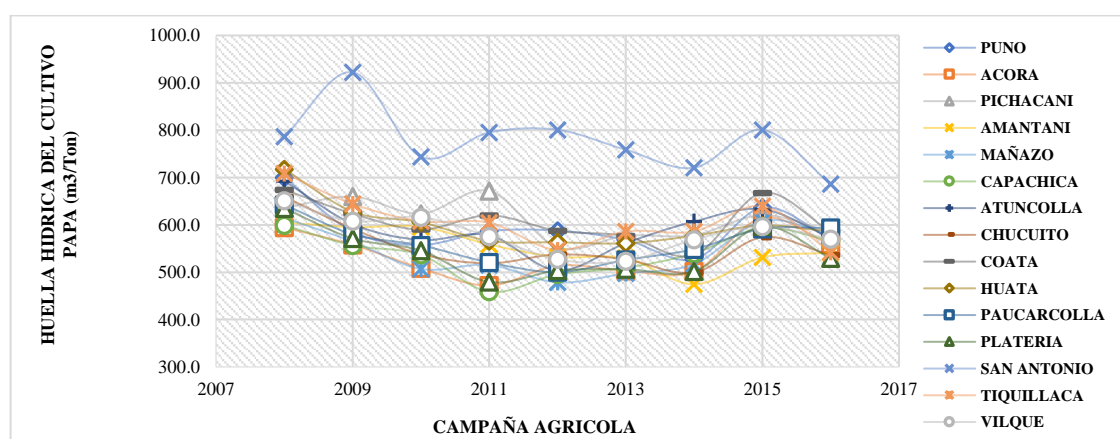


Figura 13: Variación de la huella hídrica promedio del cultivo papa.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Huella hídrica del cultivo de quinua

En la tabla 17, se presentan los resultados según la ecuación (16) de la estimación de la huella hídrica verde del cultivo de quinua considerando una agricultura en secano, durante las campañas agrícolas 2008/09 al 2016/17 en los distritos de Puno, Paucarcolla, Atuncolla, Acora, Chucuito, Plateria, Huata, Coata, Capachica, Tiquillaca, Vilque, Mañazo, Pichacani y Amantani. En ella se puede apreciar que, en promedio para los 15 Distritos de la Provincia de Puno, la huella hídrica del cultivo de papa durante el periodo 2008/09 al 2016/17 varía de 4269.17 a 5666.91 m³/ton, que corresponden a las campañas agrícolas 2010/11 y 2015/16, respectivamente y en toda la provincia de Puno una huella hídrica del cultivo de quinua promedio de 4822.96 m³/ton.

Tabla 17: Huella hídrica verde del cultivo de quinua (m³/ton).

CAMPAÑA	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17
Puno	4880.17	4484.31	4295.66	4263.78	5843.82	4639.58	4809.00	6013.84	5242.58
Acora	4792.94	4842.42	4606.70	4742.19	4885.89	4517.35	4621.14	5687.79	5559.81
Pichacani	5166.40	4310.33	4336.21	4262.07	5520.75	4468.06	4679.57	5601.40	5185.55
Amantani	4253.63	4318.45	3875.67	3934.93	5240.47	4161.91	4289.08	5314.72	4407.40
Mañazo	4614.73	4326.31	4051.96	4404.98	5588.48	4580.04	4545.86	5490.95	4840.63
Capachica	5216.75	4735.60	4414.18	4639.58	5322.98	4818.53	4872.99	5866.43	5364.19
Atuncolla	5241.02	4577.26	4454.22	4502.64	5334.94	4387.61	4881.00	5661.32	5436.93
Chucuito	4348.07	4185.69	4039.04	4186.14	5007.59	4860.03	4488.51	5030.41	4696.41
Coata	4967.63	4481.64	4402.08	4402.08	5295.88	4873.05	4981.83	5819.71	5646.41
Huata	5204.73	4754.08	4462.88	4654.14	5659.61	5078.71	5090.00	6075.34	5057.31
Paucarcolla	4620.61	4485.02	4160.16	4602.25	5953.63	4551.89	4716.38	5907.98	4529.61
Plateria	4385.03	4318.22	4143.74	4273.23	5447.05	4855.39	4558.12	5598.22	4942.54
Tiquillaca	5073.64	4436.59	4297.63	4505.28	5548.05	4967.94	4801.73	5615.93	4938.21
Vilque	4502.44	4074.40	4228.25	3976.96	4656.96	4444.80	4786.95	5652.67	5159.39
Promedio	4804.84	4452.17	4269.17	4382.16	5379.01	4657.49	4723.01	5666.91	5071.93

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14, se presenta en forma gráfica la variación de la huella hídrica del cultivo de papa por campaña agrícola y por distritos de la provincia de Puno, el comportamiento de la huella hídrica en los distritos Puno, Paucarcolla, Atuncolla, Acora, Chucuito, Plateria, Huata, Coata, Capachica, Tiquillaca, Vilque, Mañazo, Pichacani y Amantani, son similares durante las campañas agrícolas 2008/09 al 2016/17, mientras que en el distrito de San Antonio de Esquilache no se cultiva la quinua.

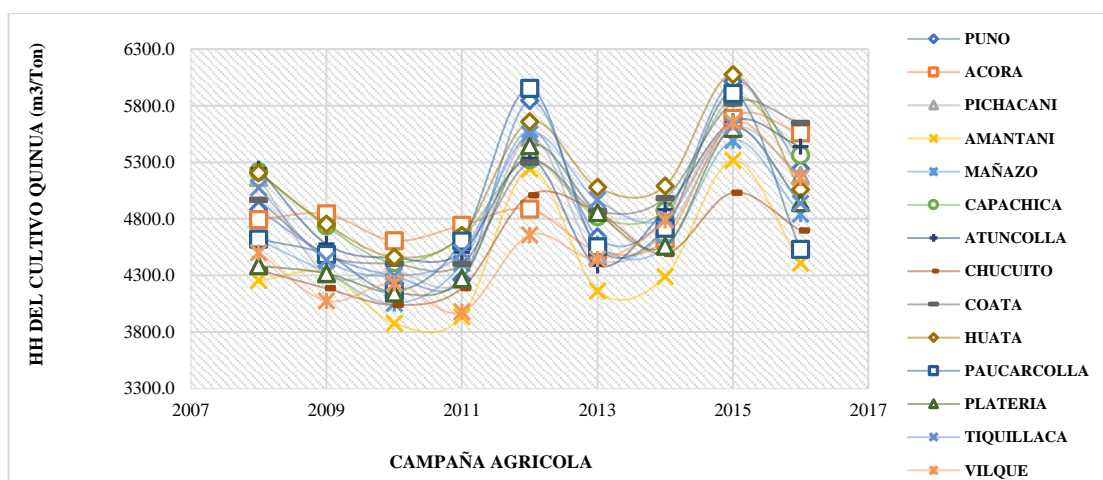


Figura 14: Variación de la huella hídrica promedio del cultivo quinua.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Discusión

En las tablas 16 y 17, se presentan resultados de la huella hídrica verde en la provincia de Puno, valores comparados según (Gonzales, 2016; Rodríguez, et al., 2014; Gonzales, 2011, Motta, 2015 y Mallma 2015) y sometidos a prueba de t, muestran significancia a un nivel de confianza al 5%.

En la tabla 18 se muestra la comparación de valores calculados de la huella hídrica por el método indirecto Penman Montheit modificado son: 586.41 y 4822.96 m³/ton, respectivamente, los resultados obtenidos de la presente investigación son mayores a los resultados de los antecedentes comparados, es debido a que la información utilizada de los antecedentes bibliográficos no es confiable.

Tabla 18: Comparación de la huella hídrica respecto a otras investigaciones.

Cultivo	Tesis 2019	Mallma (2015)	Gonzales (2016)	Motta (2015)
	m3/Ton	m3/Ton	m3/Ton	m3/Ton
Papa	586.41	290.29	430.20	400.42
Quinua	4822.96	5682.02	-	-

Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

En la presente investigación se determinó la huella hídrica verde para producción de papa y quinua para el periodo 2008 – 2017, papa 586.41 m³/ton y quinua 4822.96 m³/ton, los resultados muestran un equilibrio entre el uso y la disponibilidad, además se encontró que la productividad de los dichos cultivos es alta frente a otros productos tanto en términos productivos como socioeconómicamente.

1).- la evapotranspiración de referencia para los cultivos papa y quinua por el método indirecto Penman Monteith modificado para el periodo 2008 - 2017. fue 1378.42 mm/año en promedio, con un valor mínimo de 1315.91 mm/año y máximo de 1424.56 mm en la provincia de Puno.

2).- El requerimiento hídrico para el cultivo papa es de 5831.21 m³/has en promedio, con valores extremos de 5446.36 y 6159.56 m³/hás. Y el requerimiento hídrico del cultivo quinua es de 5530.20 m³/hás, en promedio, siendo el mínimo y el máximo 5146.89 a 5796.79 m³/has, respectivamente, en la provincia de Puno.

3).- La huella hídrica verde para el cultivo papa, fue de 586.41 m³/ton en promedio, siendo el valor mínimo 548.74 y el máximo 661.06 m³/ton, durante las campañas agrícolas de 2008 al 2017. Y la huella hídrica verde del cultivo quinua, fue de 4822.96 m³/ton en promedio, siendo el valor mínimo 4269.17 y máximo 5666.91 m³/ton, durante las mismas campañas agrícolas del cultivo papa.

VI. RECOMEDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

- ✓ Estimar el coeficiente de cultivo mediante métodos directos en campo y comparar con los estimados en esta investigación.
- ✓ Estimar la evapotranspiración de cultivo mediante métodos directos y comparar con los estimados en esta investigación (Lisímetros, Evapotranspirometro de thornthwite, Atmometro de livingstone y método gravimétrico)
- ✓ Realizar modelamientos en SIG con otros modelos para comparar los resultados conforme a la información meteorológica para los parámetros llevado en proyecto, para validar la información aportada.
- ✓ Utilizar las teledetecciones para determinar la evapotranspiración potencial para una agricultura de precisión.

VII. REFERENCIA

- Allen, G. R. (2006). *Allen, G Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie Cuadernos Técnicos. FAO 298 p. Roma - Italia.*
- Arjen Y. Hoekstra, A. K. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. DC, Water Footprint Network: Earthscan. London Washington .*
- Centro Nacional de Información de la Calidad (CNIC). *La Huella Hídrica. Asociación Española para la Calidad. 2012. Madrid, pp-5*
- Chino, H. (2006). “*Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) por los métodos experimental e empíricos*” *Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería Agrícola. Puno - Perú.*
- Choquecallata, J. J. (1991). “*Evapotranspiración máxima del cultivo de la quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el Altiplano boliviano*”. *Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. Pág. 66. La Paz - Bolivia.*
- DRA. (2017). *Dirección de Estadística Agraria e Informática. <https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agricola/>. Puno - Perú.*
- FAO. (2016). *Guía del cultivo de la quinua. FAO-Universidad Nacional Agraria La Molina. 130 pág. Lima - Perú.*
- Gonzales, L. (2011). *Cálculo de la huella hídrica en un cultivo de papa en la empresa de cultivos varios Horquita. Universidad de Cienfuegos, Facultad de ciencias económicas y empresariales. Trabajo de diploma Ingeniería Industrial. República de Cuba.*
- Gonzales, M. (2016). *Análisis comparativo de la Huella Hídrica en agroecosistemas de la microcuenca Alto Rio Ubaté. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.*

- Hijmans D. Robert J. (2000). “*El uso de Información Geográfica en la planificación del manejo de los Recursos Naturales*”, *Internacional Potado Center CIP – CONDESAN*. Lima - Perú.
- Hoekstra, A. C. (2011). *The Water Footprint Assesment Manual*. Londres: Earthscan, Ed. (2nd ed.).
- Hoekstra, A. y. (2008). *The water footprint of food*. *Water for Food*, 49–60. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5> .
- Lovarelli, D. B. (2016). *Water Footprint of crop productions: A review*. *Science of The Total Environment*, 548-549, 236–251. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.022>.
- Mallma, T. (2015). *Huella Hídrica de los productos agrícolas de la región de Junin comercializadas en la ciudad de Lima*. Lima - Perú: Universidad Nacinal Agraria La Molina.
- MINAGRI. (2015). *Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario*. Lima - Peru.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2017). *Análisis económico de la producción nacional de quinua*. *Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria*. Lima - Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2017). *Papa: características de la producción nacional y de la comercialización en Lima metropolitana*. *Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria*. Lima - Perú.
- Ministerio de Agricultura. (2013). *Quinua: Principales aspectos de la cadena productiva*. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima, P. (2013). *Ministerio de Agricultura. Quinua: Principales aspectos de la cadena productiva*. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima - Perú.
- Ministerio de Agricultura. (2006). *Estadísticas de producción de papa por departamento*. *Oficina de Información Agraria (OIA)*. Lima - Perú.

- Ministerio de Agricultura. (2012). *La Papa, Principales aspectos de la cadena productiva. Dirección General De Competitividad Agraria*. Lima - Perú: 1ra Edición: agosto 2012.
- Ministerio de Agricultura. (2012a). *Quinoa: Perú campo fértil para sus inversiones y desarrollo de sus exportaciones. Dirección General de Competitividad Agraria*. Lima - Perú.
- Motta, D. (2015). *Evaluación de huella hídrica en la producción de un cultivo de papa R12 ubicado en el municipio El Rosal Cundinamarca, Universidad de la Salle Facultad de ingeniería Programa de ingeniería ambiental y sanitaria*. Bogotá - Colombia.
- Novoa, V. R. (2016). *Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal*. Chile: Tecnología y Ciencias del Agua, 7(2), 35-50.
- Thaler, S. Z. (2012). *Considerations on methodological challenges for water footprint calculations*. Water Science y Technology, 65(7), 1258–1264.
- Vásquez A., V. I. (2017). *Fundamentos de la ingeniería de riego*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 438 p y 442 p.
- Van Hofwegen, P. (2004). *Virtual Water Trade- Conscious Choices. Synthesis E-Conference. World water Council. 4th World Water Forum*.
- WWF. (2013). *Estado del arte de la medición de la huella hídrica a nivel nacional e internacional*. Perú: World Wildlife Fund.
- WWF. (2014). *Informe planeta vivo 2014 Resumen World Wildlife Fund*. Colombia.

<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>.

<file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-DeterminacionDeLaDemandaHidricaDelCultivoDeQuinoaQ-6232144.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo A: Serie histórica de precipitación media mensual.

Anexo B: Estimación de la evapotranspiración de referencia.

Anexo C: Estimación de la precipitación efectiva.

Anexo D: Información meteorológica.

Anexo E: Mapas de Interpolación (Mapas de Isotermas para los Datos de Humedad Relativa Temperatura Media Mensual y Velocidad de Viento), (Mapas de Isoyetas para la Precipitación), para los Distritos de: Atuncolla, Chucuito, Coata, Huata, Paucarcolla, Plateria, San Antonio, Tiquillaca y Vilque.

Anexo F: Cuadros de Interpolación.

8.1. Anexo A: Serie histórica de precipitación media mensual

Tabla A.1: Precipitación total mensual (mm) - estación Puno

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	60.8	57.3	258.4	18.5	1.3	0.1	4.9	13.5	66.1	72.8	25.8	34.9	614.4
1981	133.9	207.3	111.3	68.9	4.7	0	0	37.8	21.1	25.6	49	129	788.6
1982	232.1	83.5	99.7	75	2.6	5.2	1.9	0	52.6	114.4	103	24.5	794.5
1983	20.7	70.4	57.6	55.5	14.2	2.3	1.5	4.8	46.4	26.7	29.8	104.2	434.1
1984	318.9	86.2	223	44.4	18.3	4.2	3.7	25.7	0	157.5	73.8	96.2	1052
1985	130	337.6	12.3	90.7	24.9	27.3	0	8.2	40.1	32.7	123.5	134.2	961.5
1986	145.1	251.1	221.2	105.8	0.1	0	5.2	8.4	42	4.2	9.2	131.6	923.9
1987	224.3	71.5	73.8	44.2	1.7	3.8	12.5	0	4.3	58.4	110.8	25.4	630.7
1988	213.4	73.5	228.9	72.9	23.3	0	0.3	0	20.5	70.5	46.2	99.1	848.6
1989	203.8	130	137.1	100.9	0	0.4	1.7	14.7	17.6	14.2	21.4	42.9	684.7
1990	167.2	22.4	59.9	43	12.1	54.7	0	11.8	10.1	107.9	91.7	63	643.8
1991	124.1	67.7	185.8	46.2	6.8	33.6	0	3	14.7	20.4	44.2	50.3	596.8
1992	66	89.7	15.7	38.8	0	0.5	2.3	42.2	0	34.4	29.4	55.1	374.1
1993	175.6	100.7	107	52.5	6.6	1.1	0	37.9	18	69.1	79.2	111.5	759.2
1994	180	183.1	113.3	116.2	29.9	0.4	0	0	18.3	36.6	52.6	73.2	803.6
1995	122.7	102.9	124	2.1	4.1	0	0	3	21.9	15.3	50.3	80.2	526.5
1996	252.7	130.5	60.8	76.3	0	0	2.9	12.8	0.8	10.4	88.3	118	753.5
1997	239.6	213.2	98.6	88.6	0.9	0	0	21.9	108.2	30.1	62.9	44.9	908.9
1998	196.4	115.5	135.3	25.4	0	4.9	0	4.3	4.5	26.9	43.9	58	615.1
1999	193.7	244.5	202	86	7.5	0	1.5	1.9	16.1	150.3	32	68.4	1004
2000	167.1	210	105.1	40.3	0.4	2.3	4.2	17.9	14.6	95.8	13.9	69	740.6
2001	248.7	214.6	224.1	69.8	12.2	2.2	0	12.5	27.1	68.4	46.2	81	1007
2002	129.6	180	170.6	105.3	15.4	21.1	22.7	30.6	11.6	65.9	43.8	112.2	908.8
2003	174.5	114.4	113.4	46.1	36.7	4.8	0.2	9.6	42.9	25.4	14.3	131.8	714.1
2004	208.9	125.2	115.5	29.2	6.2	0	10.2	43	34.3	5.6	41.2	59.1	678.4
2005	103.3	157.9	134.6	45.7	0.4	0	0	0	11.8	39.5	80.5	100.8	674.5
2006	291.1	64.3	159.6	44.6	0.9	0	0	0.6	21.2	37.4	53.8	101.5	775
2007	84.8	171	236.7	49.7	10.6	0	3.3	1.6	61.3	77	44.2	74.1	814.3
2008	209.7	85.8	95	8.4	6.8	1.4	0.2	0.8	2.4	79.4	27.2	144.2	661.3
2009	154	136.1	148.3	83	0.4	0	2.5	0	16.4	56.4	88.9	62.5	748.5
2010	99.3	192.8	56.3	12.3	16.1	0	0	7.1	2.9	33.4	15	146.7	581.9
2011	122.4	202.9	116.5	46.8	4.8	0	6.4	0.2	45.8	25.7	45.3	151.3	768.1
2012	135.4	294.8	209.9	59.5	0	0.2	0	5.6	9.8	7.6	69.5	157.8	950.1
2013	153	175.8	100	14.3	22.4	12.5	1.5	4.5	11.6	32.9	61.4	117.1	707
2014	147	107.7	60.5	40.8	0.1	0	0.2	28.9	66.9	45.2	29.8	90.6	617.7
2015	96.4	120	187	114.1	0.2	0	1.8	4	54.5	41.5	23.2	59.4	702.1
2016	79.7	202.6	9.8	57.5	0.5	2	3.4	0	0.3	76	43	49.7	524.5
2017	314.3	119.2	145.7	45.5	21.7	1	1.6	0	62.3	65.2	23.9	68.5	868.9
PROM	166	145	129	56.4	8.27	5.1	3.3	10.7	26.3	51.3	50.1	87.5	739.6

Fuente: SENAMHI.

Tabla A.2: Precipitación total mensual (mm) - estación r.c. Acora

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	114	58.9	219.2	17.6	7.4	1.6	3.5	9.5	38.5	118.5	32.9	66	687.6
1981	168.8	202.7	126.7	43.3	7	0.9	0.1	17.4	19.2	35.7	38.9	116.3	777
1982	242	92.7	109.9	38.6	7	2.8	0.8	2.4	40.9	146.4	101.8	33.8	819.1
1983	69.4	62.2	45.5	29.6	10.5	2.9	1.6	3.5	22.7	30.7	27.7	84.3	390.6
1984	306.8	261.4	191.2	20.1	10.9	10.9	1.5	8.7	3.1	192.9	148.8	89.3	1246
1985	230.7	309	171.5	63.2	71.4	67.7	2.3	19.5	60.6	42.6	208.9	193.3	1441
1986	163.7	219.4	188.1	132.8	8.8	0	0.2	14.9	5.5	32.9	17.5	84.1	867.9
1987	206.5	87.2	74.6	21.2	3.5	9.3	9	0.2	0	32.4	108	50.9	602.8
1988	197.4	51.2	219.2	96	13.2	0	3.4	0	39.4	10	21.9	90.8	742.5
1989	201.7	173.9	142.6	82.9	0	0	2.8	14.2	37	19.3	26	45.3	745.7
1990	101.1	56.5	54.8	11	12.3	67.6	0	16.4	13.1	134.5	27.8	131.4	626.5
1991	104.9	43.8	270.6	71	14.6	43.5	7.7	9.9	13.7	45.7	49.2	60.2	734.8
1992	122.9	84.9	63.8	45	0	3	3.2	35.7	3	23.2	58.4	45.5	488.6
1993	178.9	29.7	109.1	37.4	6.5	0.5	0	37.9	27.5	51.1	82.4	70.9	631.9
1994	117.4	103.2	80.7	84.4	17.8	0.5	0	0.5	1.6	30.8	62.1	192.4	691.4
1995	112	113.9	170.9	5.2	6.3	0	0.1	1.5	13.7	12.3	70.9	136.9	643.7
1996	202.4	185.9	95.7	45.9	0.5	0	20.8	7.1	12.5	6.8	92.8	100.1	770.5
1997	227	158.4	105.2	55.8	6.7	0	0	40.3	87.1	47.4	91.2	53.1	872.2
1998	103.3	161.3	46.3	45.3	0	2.5	0	0.7	3.2	5.6	53.4	34.9	456.5
1999	217.9	214.8	275	69.2	5.1	0	0	1.5	37.8	190.3	36.8	79.4	1128
2000	239.5	164.3	134.6	28.8	2.8	6.5	5.8	20.2	7.4	99.8	7.3	123.3	840.3
2001	356	222.9	202.1	65.2	9.6	3.2	10.5	19.3	15.8	58	33.8	96	1092
2002	108.2	240.7	220.5	148.8	20.9	19.8	42	13.2	10.7	62.8	80.7	106	1074
2003	165.1	78.9	168.5	14.8	23.4	0.5	0	10.3	53.6	14.8	18.2	87.3	635.4
2004	284.1	135.5	50.6	20.2	10.8	2	19.8	37.5	15.2	2.5	21.4	62.3	661.9
2005	123.1	145.5	75.7	21.6	8.8	0	0	0	25.2	56.5	57.5	89.2	603.1
2006	328.3	81.2	136.2	32.8	3.2	3	0	8.9	28.7	26.5	74.6	81.3	804.7
2007	87.4	113.4	107	29.4	0	0.4	0	0.2	10.8	3.1	49.2	87.8	488.7
2008	259.3	101.8	97	6.7	8.5	3.8	3	4	2.4	81.4	17.5	139.2	724.6
2009	133.6	135.9	130	69.7	0	0	3.8	0	29.6	95.7	124.2	78.7	801.2
2010	213.8	161.7	96.9	26.5	18.3	0	0	8.6	4.8	68.3	0	126.3	725.2
2011	117.2	290.3	163.4	23.1	26.4	0	8.8	0	59.8	25.6	45	192.1	951.7
2012	155.3	308.9	175.7	106.4	0	0	0	16	15.3	27.3	29.4	220.4	1055
2013	179.7	179.1	94	4.5	20.9	15	29.4	16.9	13.7	47.2	58.1	161.8	820.3
2014	206.6	88.9	94.6	22.3	0	0	2.2	40.1	72.8	62.2	23.2	93.2	706.1
2015	161.3	180	19.6	133.3	5	0	2.8	13.9	29.5	83.2	51.3	46.6	726.5
2016	74.5	169.6	26.8	90	7.2	2.8	9.6	5.9	16.1	41.7	40.3	64.5	549
2017	217.1	99.2	125.3	33.8	61.8	3.8	6.3	0	61.7	40.9	28.6	115.3	793.8
PROM	178.6	147.4	127.8	50.45	11.52	7.456	6.264	11.81	24.44	56.98	54.73	98.83	776.3

Fuente: SENAMHI.

Tabla A.3: Precipitación total mensual (mm) - estación Laraqueri

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	239.5	58.4	229.5	8	0	0	4	15.7	40.2	87.5	30.1	244.1	957
1981	244.1	277	125.5	54	1.9	0	0	30.2	32.4	18	22.5	161.5	967.1
1982	157.3	88.9	85.2	26.9	0	0	0	4.3	36.7	64.6	88.1	23.5	575.5
1983	97.8	78.1	18.7	8.4	0	1.6	0	0.5	17.1	13.4	15.8	77.8	329.2
1984	321.2	232.1	220.8	38.8	18.7	33.6	0	17.6	1.8	67.8	156.9	115.6	1225
1985	135.2	190.9	105.3	140.6	24.4	13.4	0	0	44	7.8	148.7	204.2	1015
1986	159.3	283.3	238.3	100.7	8.4	0.2	0	9.4	11.7	1.8	43.7	151.2	1008
1987	280.9	77.1	74.3	26.2	0	0	36.5	6.5	8.6	23.5	57	28.5	619.1
1988	199.5	45.1	179.1	130.7	9.6	2.5	0	0	5.9	44.6	13.2	101.4	731.6
1989	225.5	130.9	129	77.3	3.5	5.3	2.4	5.4	4.8	0	26.1	44.6	654.8
1990	135.7	36.7	80.8	11	15.3	55.3	0	15.7	9.5	99.4	141.5	128.5	729.4
1991	130.1	131	148.2	27.6	2.9	43.6	0	0.6	21.8	28.5	30.1	64	628.4
1992	120.7	100	59.5	39.5	0	3.9	15.8	31.9	0	61.9	48.9	102.1	584.2
1993	206.4	66.2	133.8	61	14.1	1.5	0	34.6	18.3	123.4	126.8	176.9	963
1994	206.8	197.2	148.8	110	14.8	1.5	1.5	0	5.9	8.7	74.3	140.1	909.6
1995	140.5	205.5	150.2	12.1	0	0	0	0	11.1	3.4	59.3	171	753.1
1996	277.3	127.4	0	52.6	20.2	0	0	52	12	4.7	96.3	97.5	740
1997	187.9	240.2	114.6	29.3	1	0	0	21.8	94.9	22.6	122	49.9	884.2
1998	87.7	94.3	88.8	31	0	10	0	0	0	28.3	44	25.1	409.2
1999	132.7	170.7	240.7	73.9	19.5	0	0	11.9	6.7	92.5	1.1	71.1	820.8
2000	250.3	236.7	126.3	12.5	5.3	1.4	0	10.1	6.5	66.7	7.1	139.5	862.4
2001	368.5	267.6	139.4	78.2	13.1	0	3.5	4.7	12.1	24.5	44.5	67.8	1024
2002	68.9	214.8	163	74.8	22.6	4.6	25.9	15	10.9	44.3	68.9	63	776.7
2003	148.6	123.4	124	28.2	12.6	0	0	5.6	19.1	6.1	24.3	128.4	620.3
2004	228.3	146.8	71.8	22.5	0	1.8	11.1	43.9	6.1	0	14.1	61.4	607.8
2005	115.1	280.3	79.3	42.5	0	0	0	0	19.1	39	37.5	127.8	740.6
2006	240.8	96.5	88.3	32.7	6.3	3.4	0	12.9	34	18.7	53.5	68.6	655.7
2007	109.3	96.8	168.9	48	4.9	0	0	11	45.8	57.8	71.4	110.6	724.5
2008	190.9	105	73.6	0	0	0	0	4.5	2.3	35.9	15.6	143.5	571.3
2009	71.4	173.4	107.9	67.2	0	0	5.1	0	11.1	15	86.7	102.1	639.9
2010	165	187.4	41.4	40.6	19	0	T	2.6	3.4	34.3	4.1	144.8	642.6
2011	155	239.9	120.8	48.3	3.4	0	5.3	0.2	9.6	35.7	47.3	202.3	867.8
2012	203.9	286.7	160.5	94.9	0.6	0	0.5	9.2	15.5	18.1	69.3	229.7	1089
2013	247.1	175	66.9	23.8	6.3	26.9	18.7	17.2	0.9	17.5	7.2	191.7	799.2
2014	181.5	91.3	54.1	29.8	0.5	0	2.8	23.5	62.9	60.4	35.5	77.2	619.5
2015	160.1	92.4	144.1	128.4	3.5	0	6.8	7.9	15.2	45	56.1	51.9	711.4
2016	96	187.7	23.1	87.9	0	3	9	5.5	0	53.5	23.3	64.3	553.3
2017	271.4	169.1	122.2	37.2	10.5	0	10.6	0	32.4	54.8	14.2	85.2	807.6
PROM	182	159	116	51.5	6.91	6.22	4.99	11.1	17.8	38.4	53.2	111	758.7

Fuente: SENAMHI.

Tabla A.4: Precipitación total mensual (mm) - estación Mañazo

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	93.6	54.9	122.8	2.1	0	0	0	2.4	28.9	100.2	226.2	27.1	658.2
1981	269.55	259.01	133.63	44.15	13.55	3.65	2.92	21.99	33.82	12.88	11.06	118.07	924.3
1982	213.45	262.22	126.89	33.8	10.49	3.34	2.72	24.13	23.37	19.6	31	118.28	869.3
1983	123.8	193.23	157.97	28.46	13.26	0	3.43	0.57	19.98	25.85	54.78	133.8	755.1
1984	110.95	150.81	158.61	33.49	0.16	0	4.66	6.43	17.42	9.45	70.8	107.07	669.9
1985	92.6	169.6	147.23	30.38	2.21	0.3	3.42	4.45	3.07	22.49	94.8	115.21	685.8
1986	149.39	129.81	145.52	29.3	3.54	0.84	1.25	9.33	12.85	35.35	91.7	113.79	722.7
1987	173.74	136.34	140.34	27.37	5.47	1.3	0.97	11.78	21.25	44.24	80.92	73.43	717.2
1988	170.69	186	131.46	24.57	8.16	1.76	2.35	12.25	29.33	45.72	99.59	89.72	801.6
1989	197.7	240.54	142.57	38.52	10.85	2.26	3.57	15.77	23.38	10.51	24.99	128.44	839.1
1990	104.7	61.3	34	27.6	11.1	47.4	0	26.1	23.4	21.4	39.5	105	501.5
1991	142.43	139.2	108.89	35.26	6.86	2.31	1.81	6.58	14.27	28.69	52.42	99.45	638.2
1992	175.91	197.68	111.99	35.42	11.6	17.3	2.67	20.74	24.9	11.11	25.26	125.46	760
1993	142.43	61.3	25.4	86.2	0.9	0	0	13.7	7.6	71.3	56.6	132.5	597.9
1994	182.4	138.6	131.6	95.3	6.1	1.4	0	0	4	2.4	87.4	104.6	753.8
1995	89.6	114	131.8	5.1	0	0	0	0	14.7	6.8	24.8	95.1	481.9
1996	215.5	142	50.8	20.8	1.2	0	0.5	15.3	2.3	9.1	73.8	135.3	666.6
1997	192.1	197.1	152.1	84.5	1.3	0	0	23.5	47.9	22.6	68.5	44.6	834.2
1998	179.8	138.2	77.5	25.1	0	3.8	0	1.9	0	34.8	51.3	25.4	537.8
1999	109.1	134.4	179	83.8	9.3	0	0	4.8	21.4	90.2	8.3	103.9	744.2
2000	143.5	190	75.1	17.6	6.3	0	0	3.8	8.6	73.3	9.3	107.3	634.8
2001	361.1	231.4	151.8	72.1	5.4	0	1.2	10.5	1.9	31.7	34.3	69.8	971.2
2002	77.3	161.2	106.2	68.3	21.2	8.7	12.4	6.8	9.7	77.2	70.7	98.5	718.2
2003	136.7	78.8	139.4	23.4	14.1	3.7	0	1.6	20.1	9.1	35.3	96.8	559
2004	183.3	133.7	89.7	38	0	1.1	10.8	23.3	19.6	3.4	11.8	30.5	545.2
2005	88.5	220.3	63	53	0	0	0	0	5.5	22.1	71.5	114.6	638.5
2006	219.8	92.6	108.6	30.7	1.2	0	0	1.8	28.5	22.8	62.5	103.1	671.6
2007	111.7	100.1	224.1	71.9	11.4	0	2.5	6.7	22.4	30.8	77.6	113.6	772.8
2008	231.1	103	70.2	0	5.5	0	0	1.2	1.2	27.9	4.1	154.5	598.7
2009	99.7	137.3	109.3	33.5	1.5	0	3	0	4.1	8.1	86.9	136.2	619.6
2010	116.9	173.4	77.3	25.2	15.9	0	0	0	0	24.4	35.5	105.5	574.1
2011	84.3	190.3	89.2	41.6	5.2	0	4.2	0	4.4	11.4	92.8	209.4	732.8
2012	158.3	250.3	163.1	62.7	0	0	0	2.2	1.5	2.3	61.2	181.4	883
2013	181.5	174.9	85.1	8.2	2.9	10.8	15.4	2.1	6.2	38.9	42.3	98.3	666.6
2014	166	51.3	55.8	68.7	1.2	0.2	0.8	27.7	43	43.4	69.3	113.2	640.6
2015	157.3	106.9	90.4	145.9	1.9	0	5.8	6.8	23	34.7	33.8	41.6	648.1
2016	36.4	130.2	19.7	99.6	1.4	1.5	4.1	0	3.5	64	10.6	52.9	423.9
2017	179.1	131.8	106.7	31.5	14.4	7.1	6.1	0	43.6	54.4	81.9	99.5	756.1
PROM	154.4	151.5	111.6	44.2	5.783	3.404	3.144	8.108	15.91	32.16	56.7	103.1	690

Fuente: SENAMHI.

Tabla A.5: precipitación total mensual (mm) - estación Capachica

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	166.7	180.3	109.3	13	15.5	2.5	0.9	5.5	40.8	21.2	125.8	132.1	813.6
1981	182.2	186	113.1	18.6	0.1	1.2	2.1	2	31	54.4	113	115.1	818.8
1982	159.2	163.1	102.3	34.7	3.1	2.9	2.7	5.5	39.1	34.3	126.5	131.2	804.6
1983	182	199.1	121.6	36.8	8.4	0.5	0	1.3	43.1	32.8	124.1	147	896.7
1984	213.4	175.2	114.6	12.6	9.5	2.4	0	0	0	39.2	81.9	78	726.8
1985	116.6	126.7	93.4	84.9	41	18.5	4.8	0	3.5	83.1	166.7	216.6	955.8
1986	326.1	295.2	190	131	0.4	0	0	14.9	37.1	20.2	49	123	1187
1987	233.4	18.9	74.8	19.2	2.2	14.6	19.4	0	28.4	28.5	24	32.6	496
1988	110	167.2	171.2	24.4	26.8	0	2.5	0	37.7	123.6	79.2	190.1	932.7
1989	248.3	179.3	244.4	29.6	0	20.4	1.2	0	13.9	31.4	66.4	123.4	958.3
1990	215.7	87	47.9	94.6	11.2	40.8	0	31.5	12.3	74.5	54.7	159.9	830.1
1991	122.7	113.1	227.6	96.6	5.8	38	0.5	0	11.5	62.5	74.5	103	855.8
1992	157.7	145	32.5	51	0	6	5	70	0.5	40.5	89	49	646.2
1993	284	123.5	293	39	1	0.5	0	38.7	25.3	34	124.8	159.5	1123
1994	300	308.3	179	120.8	4.5	0	2.7	4.5	5.5	15.3	38.8	139.6	1119
1995	140.2	141.7	150.3	1.8	8.4	0	0.5	4.5	18.2	15.9	40.7	133	655.2
1996	244.9	111.3	47.1	34.5	14.9	0	4.4	26.1	5.6	22	70.4	88.5	669.7
1997	255.3	217.4	132.2	79.4	2.5	0	0	22.9	59.3	35.6	103.1	41.3	949
1998	102.2	124.5	136.4	36.2	0	8.2	0	0	1.8	12.4	57.4	12.1	491.2
1999	184.8	229	236.1	91.5	0.9	0	0	0	42.9	76.4	30.6	64.7	956.9
2000	157	145	169.1	9.5	20	0	1	35.2	10.7	84.1	0	68.8	700.4
2001	214.1	172.7	219.4	75.4	9	2.6	12.2	31	29	73.3	35.7	106.5	980.9
2002	111.5	232.7	163.8	85.9	12	2	16.7	13.7	62.4	146.1	89.7	109.2	1046
2003	250.8	147.2	174.6	36.1	18.3	6.8	2.4	3.4	43.7	31.5	25.6	138	878.4
2004	202.4	182.9	105.6	48.9	6.2	0.8	12.7	23.7	39.8	17.2	29.2	91.1	760.5
2005	113.8	216.4	101.1	21.1	0	0	0	2.6	34.6	74.9	67.7	108.7	740.9
2006	265.1	65.7	131.5	33.7	0.6	6.2	0	9.2	32	25.9	75.4	62	707.3
2007	76.5	34.7	160.9	47.2	4.2	0	3.2	6.4	41.5	9	75.3	128.9	587.8
2008	208.6	77.6	124.9	0	0	0	0	0	0	44	12.4	176.7	644.2
2009	94.9	162.3	91.1	52.6	0.8	0	3.5	0	6.8	31.7	72.1	72.5	588.3
2010	178.6	181.8	38.9	41.8	8.1	0	0	4.6	3.2	30.5	0	185.4	672.9
2011	116.9	227.1	102.7	14.5	2.3	0	6.6	0	26.3	6.5	57.8	205.4	766.1
2012	181.3	233.7	152.7	25.1	0	3.4	0	13.3	1.2	11	36.8	178.9	837.4
2013	158.7	23.6	158.4	12.9	7.7	5.1	9.2	11.6	12.2	58.1	33.3	166.1	656.9
2014	170.2	85.4	105.1	37.9	0	0	1.2	28.3	80.9	53.7	19.9	95.2	677.8
2015	160.2	124.7	190.5	101.6	2	0	5	3.4	38.3	64.9	42.4	62.1	795.1
2016	111	197.6	29.2	62.1	3.7	0.4	5.9	0	21.2	74.1	16.1	73.4	594.7
2017	166.5	86.5	135.2	66	42.2	0	7.5	0	79.4	63.1	33.2	64.3	743.9
PROM	181	155	136	47.6	7.89	5.19	4.36	10.9	26.4	46.9	61.4	113	796.4

Fuente: SEBAMNHI.

Tabla A.6: Precipitación total mensual (mm) – estación Taquile

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	202.36	170.4	356.68	101.4	98.512	94.262	113.78	120.34	157.18	156.34	103.71	165.42	1840
1981	232.27	245.49	198.68	145.69	108.8	94.262	94.262	117.3	170.14	155.24	130.1	182.42	1875
1982	333.17	139.81	238.3	200.84	103.86	133.51	104.49	99.352	195.54	196.06	167.67	129.94	2043
1983	128.84	142.12	218.83	191.08	117.04	103.44	101.19	94.262	110.95	160.27	104.97	170.93	1644
1984	365.76	496.1	227.96	140.39	109.74	108.43	112	96.571	160.17	218.47	162.37	259.71	2458
1985	435.97	482.77	401.34	182.68	170.09	119.24	94.262	114.67	166.41	201.94	206.76	450.77	3027
1986	447.09	538.29	429.25	283.53	132.62	94.262	94.262	100.09	120.87	106.65	109.74	251.26	2708
1987	392.47	123.86	182.84	141.54	112.1	141.07	111.37	94.262	111.32	117.77	218.68	119.13	1866
1988	211.75	113.36	178.74	155.13	155.5	94.262	110.27	103.71	160.12	115.25	120.13	135.61	1654
1989	247.12	163.95	250.11	254.2	109.85	101.5	97.673	99.772	150.93	170.82	166.67	200.73	2013
1990	270.62	140.23	113.15	107.07	122.23	153.82	95.574	113.94	108.9	129.31	149.78	205.45	1710
1991	227.6	251.79	216.31	135.77	104.49	123.54	94.262	95.836	102.76	124.12	110.42	127.42	1714
1992	214.37	158.02	109.95	101.03	94.262	99.404	103.23	117.09	96.623	111.37	122.44	146.89	1475
1993	239.6	150.5	147.3	149.7	131.8	11.4	0	46.1	35	55.4	99.4	174.9	1241
1994	208.3	273.1	286.8	117.8	0	0.7	26.5	0	17.7	26.8	65	129.6	1152
1995	102.1	140.2	291.5	33.1	2.9	0.2	5	11	14.9	11	110	201.2	923.1
1996	252.1	117.9	69.8	20	0.5	0.2	10.3	21.4	11.4	20.5	110.2	137.8	772.1
1997	211.2	272.5	173.5	86.5	18.6	0	0	25.3	83.9	29.1	116	50	1067
1998	201.6	109.8	139.1	80.2	0	21.7	0	0.9	0	23.3	101	12.6	690.2
1999	228.9	174.1	354.6	185.2	15.3	0	0	2.2	55.5	114.7	22.4	99.1	1252
2000	198.1	229.4	178	0.8	15.2	0	4	53.5	14.6	99.8	19.5	98.5	911.4
2001	380.4	269.6	195.6	104.5	47.6	28.1	11.7	55	68.5	108.1	45	117.1	1431
2002	236.9	317.9	266	138.5	61.1	6.8	12.8	20.8	35.6	93.4	104	84.9	1379
2003	255.7	145.9	199	43.7	38.2	6.8	4.4	2.2	44	51.4	8.5	184.6	984.4
2004	361.2	212	119.1	67.5	9.8	6.9	17.1	44.9	53.7	8.1	63.9	103.5	1068
2005	223.9	229.1	98.5	45.9	0.00	0.00	0	0	29.8	64.8	76.3	161.9	930.2
2006	341.5	120.5	227.4	124.5	2.8	2.10	2.8	4.6	24.4	20.7	108.1	97.8	1077
2007	165.4	150.7	378.8	106.7	31.2	0	1.3	10.6	78	23.2	130.3	143.7	1220
2008	149.4	105.3	68.9	3.1	6.6	0.4	2.3	0	0.9	78.1	14.7	158.1	587.8
2009	124.7	255.9	126.8	32.5	0	0	6.7	0	27.7	32	91.6	101.8	799.7
2010	227.9	225.4	39.2	64.9	5.5	6.5	0	8.3	8.9	9.5	7.5	155.7	759.3
2011	153.3	304.6	212.3	17.8	6.5	0	20.8	0	67.8	27.7	53.5	232.7	1097
2012	176.4	280.2	227.3	76.8	0	4	0	10	3.7	31	60.4	165.4	1035
2013	203.6	226.7	194.4	13.8	22.4	10.6	17.7	8	16.5	76.9	30.1	217.2	1038
2014	289.6	232.4	86.9	53.1	8.9	0	5	27.9	93.3	50.3	30.5	60.4	938.3
2015	196.5	154.3	228.9	224.6	2.3	2.2	8.9	5.8	50	65.1	66	34	1039
2016	131.4	322.1	24.4	178.6	0.5	0	5.7	1.6	4.9	44.9	31.4	113.7	859.2
2017	192.9	108.8	169.8	62.2	46.1	0.4	2.2	0	118.7	81.6	25	96.4	904.1
PROM	240.4	218.1	201.1	109.2	52.04	40.83	40.17	44.42	71.18	84.62	89.03	147.8	1339

Fuente: SENAMHI.

8.2. Anexo B. Estimación de la evapotranspiración de referencia

Tabla B.1. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Puno.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	4.480	4.196	4.352	4.629	4.866	5.177	5.129	5.389	5.467	5.106	6.326	5.428
Función del Viento " $f(u)$ "	0.772	0.748	0.725	0.732	0.713	0.697	0.734	0.730	0.769	0.786	0.781	0.800
Factor "1-w"	0.328	0.330	0.332	0.344	0.359	0.368	0.372	0.362	0.347	0.332	0.318	0.322
Factor "W"	0.672	0.670	0.668	0.656	0.641	0.632	0.628	0.638	0.653	0.668	0.682	0.678
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.905	4.829	4.418	3.817	3.245	2.844	3.083	3.665	4.303	5.085	4.996	4.909
Factor de Corrección "c"	0.974	0.982	0.978	0.953	0.937	0.919	0.921	0.938	0.954	0.967	0.962	0.961
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de Referencia (mm/MES)	133.70	117.44	121.27	104.92	96.65	86.16	92.20	109.35	122.18	141.77	143.63	140.79

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.2. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Rincón de la Cruz Acora.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.519	3.198	3.160	3.940	4.451	4.655	4.351	4.740	5.387	5.106	5.954	4.379
Función del Viento " $f(u)$ "	0.825	0.811	0.783	0.856	0.893	0.856	0.893	0.874	0.898	0.872	0.898	0.923
Factor "1-w"	0.341	0.341	0.344	0.352	0.368	0.381	0.388	0.377	0.359	0.344	0.331	0.335
Factor "W"	0.659	0.659	0.656	0.648	0.632	0.619	0.612	0.623	0.641	0.656	0.669	0.665
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.935	4.874	4.477	3.834	3.234	2.883	3.131	3.682	4.262	5.119	5.007	4.946
Factor de Corrección "c"	0.977	0.986	0.985	0.940	0.910	0.896	0.903	0.918	0.924	0.954	0.942	0.954
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de Referencia (mm/MES)	128.42	113.05	115.69	103.55	98.87	88.77	92.75	109.69	123.85	144.64	144.73	137.29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.3. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Laraqueri.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.235	2.979	3.046	3.168	3.593	3.337	3.530	3.911	4.466	5.106	5.572	4.395
Función del Viento " $f(u)$ "	0.772	0.748	0.725	0.732	0.713	0.697	0.734	0.730	0.769	0.786	0.781	0.800
Factor "1-w"	0.346	0.344	0.351	0.368	0.400	0.420	0.428	0.411	0.380	0.354	0.342	0.339
Factor "W"	0.654	0.656	0.649	0.632	0.600	0.580	0.572	0.589	0.620	0.646	0.658	0.661
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.941	4.873	4.452	3.857	3.277	2.939	3.154	3.730	4.308	5.137	5.042	4.938
Factor de Corrección "c"	0.989	0.998	0.994	0.969	0.946	0.936	0.932	0.944	0.955	0.963	0.962	0.971
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	125.55	110.70	112.87	95.64	87.70	75.32	81.43	98.65	113.87	141.38	138.71	134.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.4. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Taquile.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.126	3.376	3.432	3.268	3.162	2.932	2.765	2.940	3.323	5.106	4.108	3.872
Función del Viento " $f(u)$ "	0.772	0.748	0.725	0.732	0.713	0.697	0.734	0.730	0.769	0.786	0.781	0.800
Factor "1-w"	0.324	0.327	0.325	0.332	0.342	0.352	0.355	0.348	0.332	0.320	0.306	0.314
Factor "W"	0.676	0.673	0.675	0.668	0.658	0.648	0.645	0.652	0.668	0.680	0.694	0.686
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	5.000	4.898	4.522	3.964	3.429	3.053	3.277	3.875	4.501	5.060	5.206	5.044
Factor de Corrección "c"	0.996	0.996	0.995	0.980	0.977	0.971	0.976	0.990	0.997	1.006	1.003	0.988
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	128.46	114.88	119.05	101.18	91.68	78.62	82.96	100.49	115.25	147.35	138.16	135.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.5. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Mañazo.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	4.075	3.695	4.051	4.061	4.797	4.798	4.686	5.001	5.443	5.106	6.204	4.998
Función del Viento " $f(u)$ "	0.655	0.646	0.639	0.669	0.709	0.713	0.716	0.746	0.758	0.802	0.795	0.732
Factor "1-w"	0.341	0.345	0.344	0.355	0.365	0.382	0.384	0.374	0.356	0.340	0.329	0.332
Factor "W"	0.659	0.655	0.656	0.645	0.635	0.618	0.616	0.626	0.644	0.660	0.671	0.668
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.900	4.831	4.409	3.832	3.222	2.882	3.117	3.672	4.275	5.101	4.994	4.915
Factor de Corrección "c"	0.994	1.002	0.993	0.969	0.936	0.918	0.928	0.936	0.951	0.952	0.956	0.975
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	127.54	111.85	116.39	99.89	95.37	85.04	89.31	107.21	120.40	140.51	142.62	135.93

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.6. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Capachica.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.654	3.401	3.600	3.846	3.854	3.643	3.702	4.028	4.170	5.106	4.886	4.137
Función del Viento " $f(u)$ "	1.119	1.107	1.019	0.956	0.923	0.877	0.963	1.049	1.152	1.212	1.208	1.177
Factor "1-w"	0.346	0.347	0.348	0.359	0.384	0.402	0.404	0.395	0.370	0.354	0.345	0.347
Factor "W"	0.654	0.653	0.652	0.641	0.616	0.598	0.596	0.605	0.630	0.646	0.655	0.653
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.911	4.849	4.437	3.845	3.291	2.952	3.186	3.742	4.356	5.136	5.044	4.937
Factor de Corrección "c"	0.931	0.939	0.941	0.924	0.914	0.909	0.901	0.899	0.908	0.913	0.914	0.919
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	133.54	117.65	121.64	104.94	96.12	83.13	90.30	109.64	123.21	155.96	146.46	139.94

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.7. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Chucuito.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.522	3.210	3.235	3.729	4.334	4.500	4.350	4.666	5.058	5.106	5.489	4.451
Función del Viento " $f(u)$ "	0.783	0.772	0.748	0.772	0.795	0.760	0.795	0.795	0.842	0.842	0.830	0.842
Factor "1-w"	0.337	0.338	0.343	0.352	0.363	0.379	0.383	0.374	0.355	0.341	0.328	0.331
Factor "W"	0.663	0.662	0.657	0.648	0.637	0.621	0.617	0.626	0.645	0.659	0.672	0.669
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.949	4.882	4.484	3.847	3.259	2.896	3.109	3.696	4.307	5.107	5.031	4.956
Factor de Corrección "c"	0.985	0.992	0.990	0.959	0.931	0.917	0.922	0.934	0.944	0.959	0.963	0.967
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	128.60	113.05	115.94	100.85	96.01	85.14	89.70	107.19	121.52	143.58	140.87	136.55

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.8. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Paucarcolla.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.437	3.013	3.330	3.636	4.517	4.610	4.525	4.916	5.196	5.106	5.474	4.440
Función del Viento " $f(u)$ "	0.690	0.702	0.667	0.702	0.725	0.720	0.737	0.760	0.783	0.830	0.807	0.772
Factor "1-w"	0.338	0.341	0.341	0.352	0.364	0.380	0.382	0.371	0.354	0.338	0.327	0.330
Factor "W"	0.662	0.659	0.659	0.648	0.636	0.620	0.618	0.629	0.646	0.662	0.673	0.670
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.950	4.893	4.482	3.857	3.268	2.886	3.121	3.674	4.311	5.102	5.027	4.956
Factor de Corrección "c"	1.000	1.006	1.001	0.972	0.940	0.922	0.929	0.937	0.952	0.960	0.968	0.978
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	126.44	111.08	115.20	99.06	95.29	84.36	89.24	107.36	120.71	143.08	140.13	135.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.9. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Atuncolla.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.459	3.110	3.330	3.750	4.494	4.480	4.480	4.720	4.956	5.106	5.633	4.388
Función del Viento " $f(u)$ "	0.748	0.725	0.713	0.690	0.720	0.720	0.795	0.783	0.795	0.853	0.842	0.795
Factor "1-w"	0.337	0.339	0.341	0.348	0.359	0.380	0.380	0.373	0.355	0.337	0.329	0.330
Factor "W"	0.663	0.661	0.659	0.652	0.641	0.620	0.620	0.627	0.645	0.663	0.671	0.670
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.949	4.892	4.484	3.872	3.284	2.922	3.149	3.708	4.328	5.096	5.016	4.957
Factor de Corrección "c"	0.991	1.001	0.994	0.974	0.945	0.925	0.922	0.937	0.955	0.958	0.959	0.975
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	127.59	112.05	116.04	100.11	95.68	84.28	91.44	107.60	120.05	143.96	141.67	135.21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.10. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Coata.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.569	3.629	3.484	3.674	3.843	3.727	3.762	4.016	4.278	5.106	4.736	4.124
Función del Viento " $f(u)$ "	1.040	1.005	0.923	0.900	0.877	0.830	0.900	0.958	1.063	1.110	1.145	1.156
Factor "1-w"	0.343	0.345	0.345	0.356	0.377	0.394	0.396	0.387	0.362	0.350	0.349	0.340
Factor "W"	0.657	0.655	0.655	0.644	0.623	0.606	0.604	0.613	0.638	0.650	0.651	0.660
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.924	4.838	4.463	3.860	3.320	2.968	3.203	3.755	4.359	5.126	5.044	4.950
Factor de Corrección "c"	0.945	0.949	0.959	0.938	0.924	0.919	0.915	0.918	0.923	0.931	0.924	0.925
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	132.03	117.64	119.85	103.11	95.68	83.16	89.88	107.91	122.63	153.39	143.46	140.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.11. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Huata.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.474	3.252	3.380	3.685	4.108	4.140	4.132	4.370	4.650	5.106	5.316	4.270
Función del Viento " $f(u)$ "	0.830	0.818	0.772	0.783	0.783	0.767	0.800	0.807	0.865	0.900	0.923	0.877
Factor "1-w"	0.339	0.340	0.341	0.352	0.367	0.383	0.386	0.376	0.356	0.343	0.334	0.333
Factor "W"	0.661	0.660	0.659	0.648	0.633	0.617	0.614	0.624	0.644	0.657	0.666	0.667
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.945	4.880	4.485	3.860	3.298	2.929	3.169	3.720	4.341	5.112	5.029	4.959
Factor de Corrección "c"	0.978	0.984	0.985	0.959	0.937	0.923	0.926	0.939	0.948	0.955	0.950	0.964
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	128.76	113.71	117.37	101.17	94.96	83.76	89.48	106.12	120.28	146.10	142.18	136.09

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.12. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Vilque.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.459	3.115	3.318	3.650	4.337	4.364	4.390	4.708	4.991	5.106	5.672	4.414
Función del Viento " $f(u)$ "	0.760	0.725	0.702	0.695	0.737	0.732	0.755	0.772	0.807	0.837	0.830	0.795
Factor "1-w"	0.337	0.339	0.341	0.351	0.366	0.381	0.383	0.372	0.355	0.340	0.329	0.329
Factor "W"	0.663	0.661	0.659	0.649	0.634	0.619	0.617	0.628	0.645	0.660	0.672	0.671
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.951	4.886	4.486	3.859	3.275	2.918	3.126	3.705	4.321	5.104	5.016	4.959
Factor de Corrección "c"	0.989	1.001	0.996	0.973	0.940	0.925	0.928	0.938	0.952	0.960	0.960	0.975
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	127.85	111.92	115.85	99.11	94.63	83.85	89.08	107.01	120.46	143.43	141.52	135.46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.13. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación San Antonio.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.367	3.087	3.184	3.455	3.960	4.002	4.034	4.338	4.743	5.106	5.572	4.371
Función del Viento " $f(u)$ "	0.772	0.760	0.713	0.748	0.807	0.725	0.760	0.760	0.807	0.818	0.818	0.818
Factor "1-w"	0.323	0.325	0.328	0.335	0.353	0.367	0.373	0.362	0.338	0.328	0.314	0.314
Factor "W"	0.677	0.675	0.672	0.665	0.647	0.633	0.627	0.638	0.662	0.672	0.686	0.686
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.954	4.880	4.470	3.849	3.272	2.900	3.141	3.699	4.310	5.118	5.027	4.959
Factor de Corrección "c"	0.988	0.995	0.995	0.965	0.931	0.928	0.929	0.941	0.951	0.963	0.961	0.971
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	128.46	113.03	115.67	99.20	93.62	80.78	86.71	103.70	118.31	143.59	140.70	136.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B.14. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Tiquillaca.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.437	3.127	3.260	3.588	4.109	4.210	4.198	4.542	4.897	5.106	5.655	4.400
Función del Viento " $f(u)$ "	0.760	0.737	0.713	0.725	0.853	0.725	0.765	0.772	0.814	0.830	0.830	0.818
Factor "1-w"	0.338	0.339	0.342	0.352	0.370	0.386	0.390	0.377	0.357	0.343	0.330	0.331
Factor "W"	0.662	0.661	0.658	0.648	0.630	0.614	0.610	0.623	0.643	0.657	0.670	0.669
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.950	4.886	4.485	3.860	3.289	2.908	3.147	3.717	4.322	5.113	5.015	4.954
Factor de Corrección "c"	0.989	0.999	0.995	0.969	0.924	0.927	0.928	0.940	0.951	0.961	0.959	0.971
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	127.59	112.12	115.59	99.28	96.48	82.40	88.32	105.97	119.86	143.38	141.22	135.67

Fuente: Elaboración propia.



Tabla B.15. Estimación de la evapotranspiración de referencia – Estación Plateria.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pres. de vapor "ea-ed" (mbar)	3.456	3.161	3.205	3.734	4.322	4.624	4.249	4.553	5.076	5.106	5.723	4.356
Función del Viento " $f(u)$ "	0.818	0.783	0.760	0.842	0.877	0.830	0.865	0.865	0.888	0.865	0.877	0.877
Factor "1-w"	0.343	0.343	0.346	0.355	0.370	0.383	0.394	0.381	0.358	0.346	0.333	0.336
Factor "W"	0.657	0.657	0.654	0.645	0.630	0.617	0.606	0.619	0.642	0.654	0.667	0.664
Radiación Neta "Rn" (mm/día)	4.941	4.874	4.475	3.843	3.260	2.878	3.138	3.685	4.305	5.117	5.017	4.952
Factor de Corrección "c"	0.979	0.990	0.988	0.947	0.916	0.902	0.909	0.923	0.935	0.957	0.950	0.962
Días del Mes	31	28	31	30	31	30	30	31	30	31	30	31
Evapotranspiración de referencia (mm/MES)	128.02	112.38	115.50	102.06	98.13	87.78	91.33	108.16	122.80	144.58	142.99	136.31

Fuente: Elaboración propia.

8.3. Anexo C: Estimación de la precipitación efectiva

Tabla C.1. Precipitación efectiva – Estación Puno.

N°	ENE	FEB	MAR	ABR	OCT	NOV	DIC
P 75%	123.8	76.5	170.4	35.2	19.1	45.7	57.8
MEDIA	166.4	145.3	128.9	56.4	51.3	50.1	87.5
P efect	95.19	65.60	140.84	28.41	13.42	37.90	48.53

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1. Precipitación efectiva – Estación R.C. Acora.

N°	ENE	FEB	MAR	ABR	OCT	NOV	DIC
P 75%	106.7	61.3	245.7	54.6	37.4	54.6	79.4
MEDIA	178.6	147.4	127.8	50.5	57.0	54.7	98.8
P efect	84.09	51.94	202.60	45.85	30.73	45.91	66.24

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1. Precipitación efectiva – Estación Laraqueri.

N°	ENE	FEB	MAR	ABR	OCT	NOV	DIC
P 75%	132.7	149.6	148.7	23.7	22.2	37.4	90.7
MEDIA	182.0	159.4	115.9	51.5	38.4	53.2	111.4
P efect	101.01	131.41	123.08	18.10	16.36	30.41	75.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1. Precipitación efectiva – Estación Taquile.

N°	ENE	FEB	MAR	ABR	OCT	NOV	DIC
P 75%	196.2	223.9	235.1	110.1	95.8	110.3	145.9
MEDIA	240.4	218.1	201.1	109.2	84.6	89.0	147.8
P efect	142.29	198.25	193.94	95.84	86.30	96.04	120.76

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1. Precipitación efectiva – Estación Mañazo.

N°	ENE	FEB	MAR	ABR	OCT	NOV	DIC
P 75%	129.2	132.9	114.6	27.7	23.2	45.5	98.4
MEDIA	154.4	151.5	111.6	44.2	32.2	56.7	103.1
P efect	98.74	116.36	95.14	21.70	17.31	37.71	81.81

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1. Precipitación efectiva – Estación Capachica.

N°	ENE	FEB	MAR	ABR	OCT	NOV	DIC
P 75%	127.1	120.3	208.3	72.9	50.9	66.1	110.5
MEDIA	181.4	155.2	136.1	47.6	46.9	61.4	113.2
P efect	97.35	104.98	171.94	62.36	43.56	56.20	91.76

Fuente: Elaboración propia

8.4. Anexo D: Información meteorológica (SENAMHI)

Estación Puno

Mes	Temp. Media Mensual	Humedad Relativa	Velocidad de Viento	Insolación
	°C	%	m/s	Horas
Enero	11.10	66.04	2.15	208.06
Febrero	10.99	67.77	2.05	195.12
Marzo	10.85	66.37	1.95	231.84
Abril	9.98	62.12	1.98	234.86
Mayo	8.59	56.16	1.9	282.47
Junio	7.82	50.97	1.83	280.49
Julio	7.56	50.45	1.99	288.74
Agosto	8.35	50.74	1.97	287.02
Setiembre	9.66	54.36	2.14	261.90
Octubre	10.85	56.54	2.21	272.67
Noviembre	11.82	54.22	2.19	243.13
Diciembre	11.55	59.94	2.27	221.27

Fuente: SENAMHI.

Estación Acora

Mes	Temp. Media Mensual	Humedad Relativa	Velocidad de Viento	Insolación
	°C	%	m/s	Horas
Enero	9.982	71.2	2.38	208.06
Febrero	10.018	74	2.32	195.12
Marzo	9.755	73.8	2.2	231.84
Abril	8.964	65.5	2.51	234.86
Mayo	7.573	57	2.67	282.47
Junio	6.709	52.6	2.51	280.49
Julio	6.245	54.3	2.67	288.74
Agosto	7.027	52.6	2.59	287.02
Setiembre	8.273	50.4	2.69	261.90
Octubre	9.691	56.6	2.58	272.67
Noviembre	10.709	53.7	2.69	243.13
Diciembre	10.427	65.3	2.8	221.27

Fuente: SENAMHI.

Estación Laraqueri

Mes	Temp. Media Mensual	Humedad Relativa	Velocidad de Viento	Insolación
	°C	%	m/s	Horas
Enero	9.664	73	2.15	208.06
Febrero	9.773	75.3	2.05	195.12
Marzo	9.155	73.7	1.95	231.84
Abril	7.645	69.6	1.98	234.86
Mayo	5.518	60.3	1.9	282.47
Junio	4.191	59.1	1.83	280.49
Julio	3.745	55.6	1.99	288.74
Agosto	4.782	54.1	1.97	287.02
Setiembre	6.855	54.8	2.14	261.90
Octubre	8.836	54.6	2.21	272.67
Noviembre	9.964	54.4	2.19	243.13
Diciembre	10.182	64.5	2.27	221.27

Fuente: SENAMHI.

Estación Taquile

Mes	Temp. Media Mensual	Humedad Relativa	Velocidad de Viento	Insolación
	°C	%	m/s	Horas
Enero	11.30	76.46	2.15	208.06
Febrero	11.09	74.23	2.05	195.12
Marzo	11.25	74.16	1.95	231.84
Abril	10.74	74.59	1.98	234.86
Mayo	10.05	74.29	1.9	282.47
Junio	9.20	74.85	1.83	280.49
Julio	8.86	75.62	1.99	288.74
Agosto	9.55	75.29	1.97	287.02
Setiembre	10.74	74.16	2.14	261.90
Octubre	11.61	73.33	2.21	272.67
Noviembre	12.75	72.05	2.19	243.13
Diciembre	12.06	72.34	2.27	221.27

Fuente: SENAMHI.

Estación Mañazo

Mes	Temp. Media Mensual	Humedad Relativa	Velocidad de Viento	Insolación
	°C	%	m/s	Horas
Enero	10.191	67.09	1.65	208.06
Febrero	9.909	69.76	1.61	195.12
Marzo	9.973	66.85	1.58	231.84
Abril	9.018	64.68	1.71	234.86
Mayo	8.055	55.17	1.88	282.47
Junio	6.900	51.73	1.9	280.49
Julio	6.782	52.28	1.91	288.74
Agosto	7.473	51.35	2.04	287.02
Setiembre	8.891	52.00	2.09	261.90
Octubre	10.300	51.31	2.28	272.67
Noviembre	11.073	52.64	2.25	243.13
Diciembre	10.845	61.37	1.98	221.27

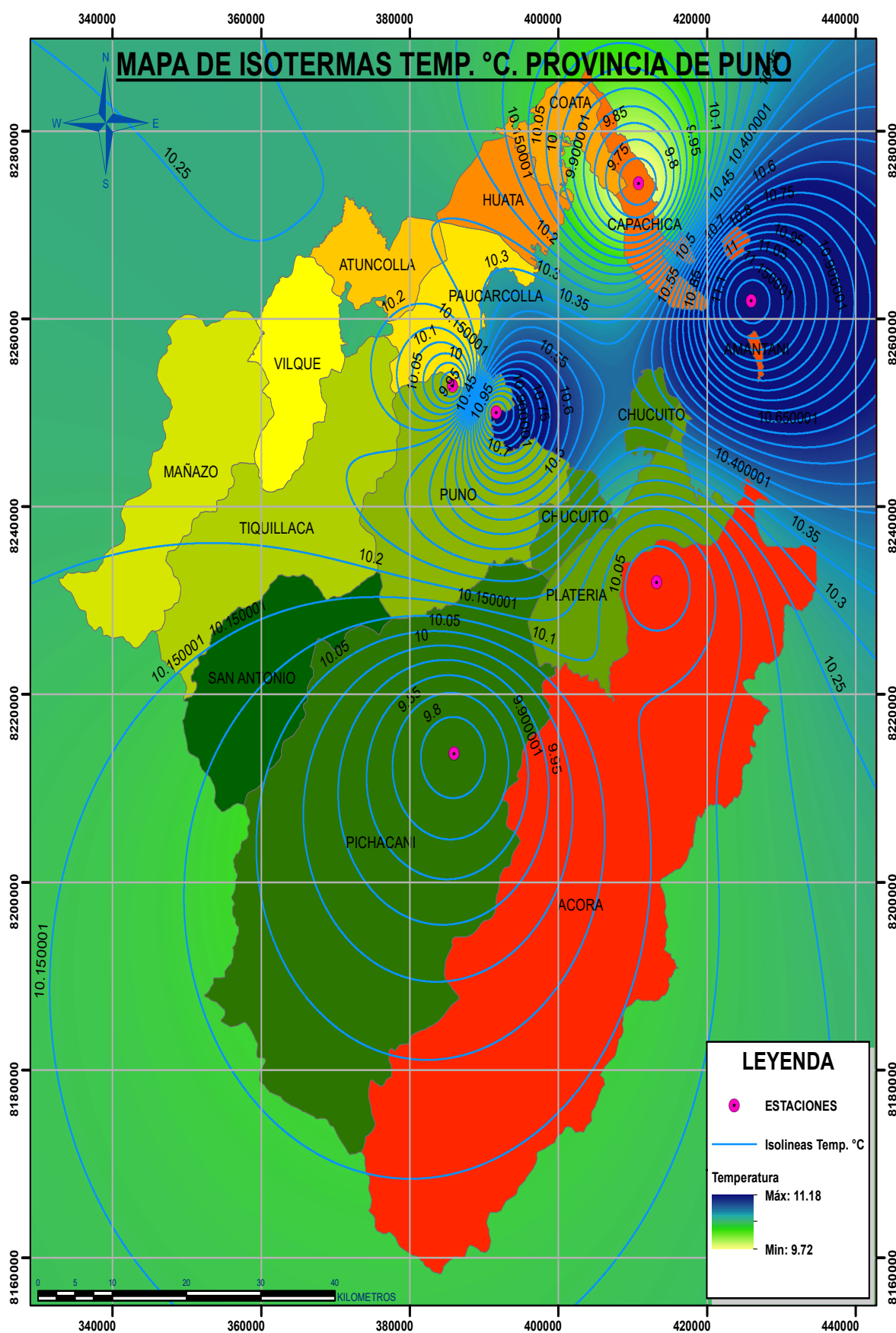
Fuente: SENAMHI.

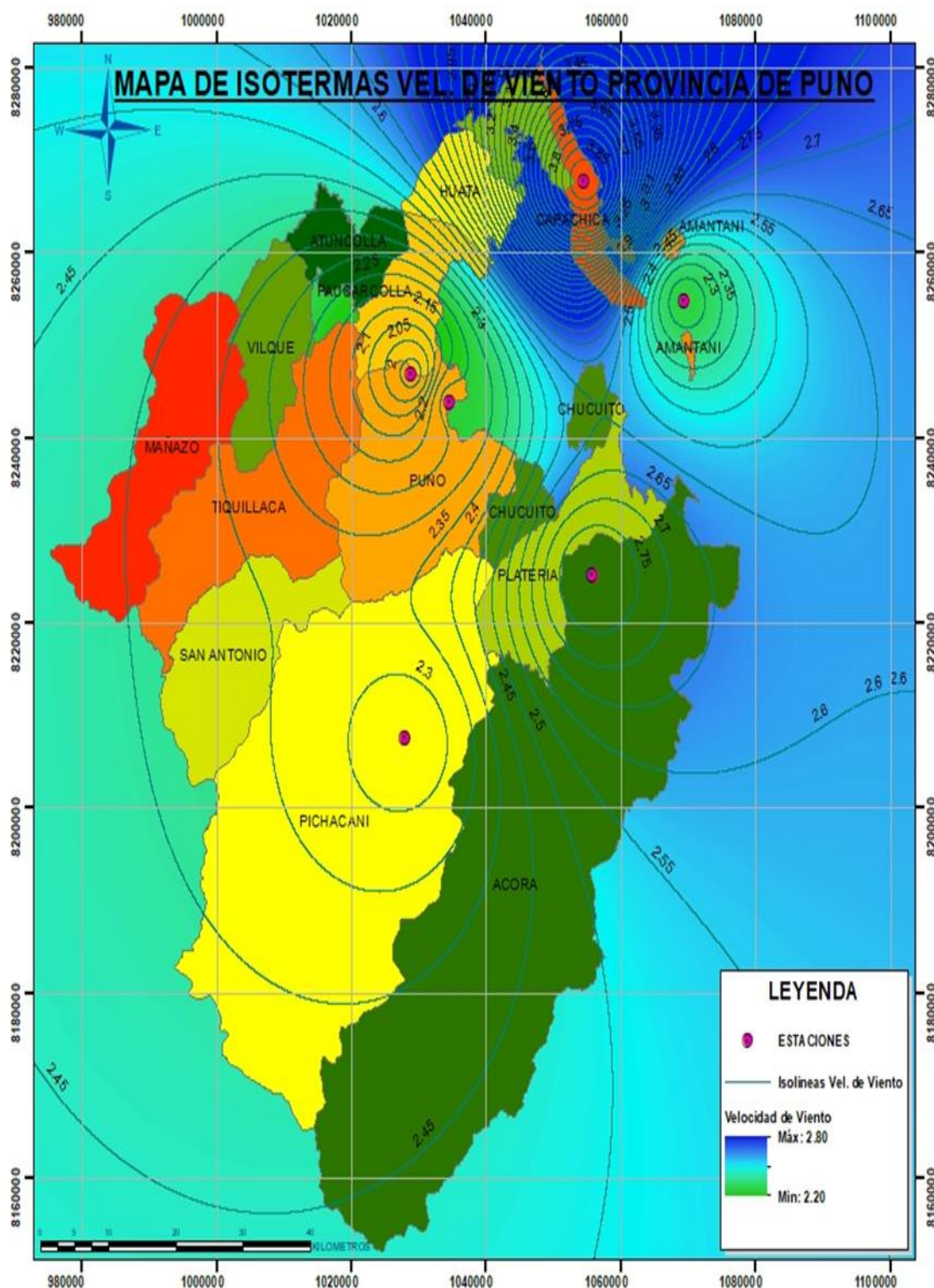
Estación Capachica

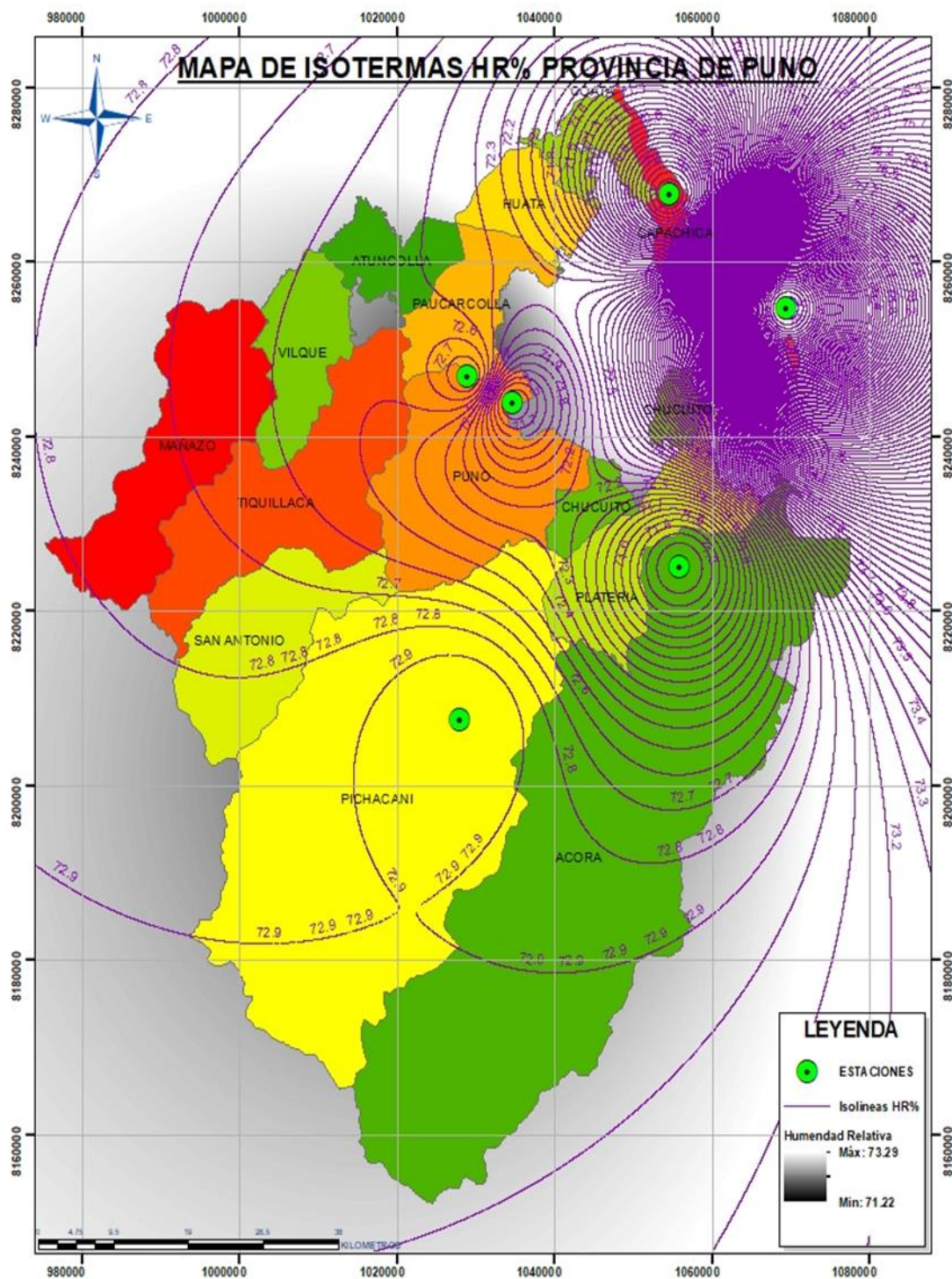
Mes	Temp. Media Mensual	Humedad Relativa	Velocidad de Viento	Insolación
	°C	%	m/s	Horas
Enero	9.755	69.7	3.64	208.06
Febrero	9.718	65.23	3.59	195.12
Marzo	9.591	69.75	3.21	231.84
Abril	8.536	65.35	2.94	234.86
Mayo	6.755	60.75	2.8	282.47
Junio	5.518	59.75	2.6	280.49
Julio	5.391	58.45	2.97	288.74
Agosto	6.009	57.15	3.34	287.02
Setiembre	7.700	60.25	3.78	261.90
Octubre	9.009	59	4.04	272.67
Noviembre	9.027	59.75	4.02	243.13
Diciembre	9.700	65.7	3.89	221.27

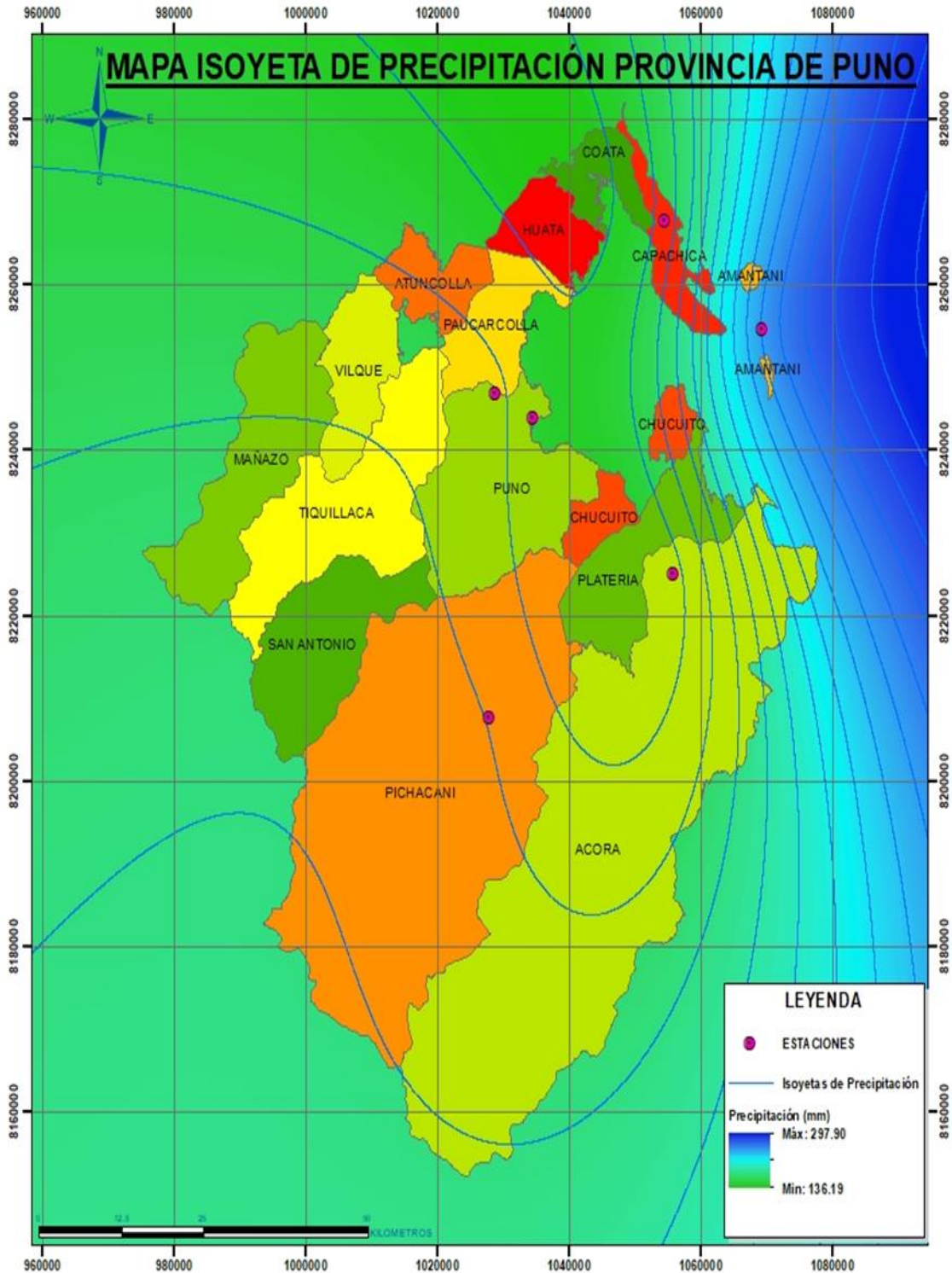
Fuente: SENAMHI.

8.5. Anexo E: Mapas de Interpolación









8.6. Anexo F: Cuadros de Interpolación

DATOS DE PRECIPITACION INTERPOLADAS EN SIG													
N°	DISTRITOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	ACORA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
2	AMANTANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
3	ATUNCOLLA	135	150	105	24	0	0	0	6	0	0	63	111
4	CAPACHICA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
5	CHUCUITO	174	141	135	66	9	7	0	12	27	57	51	102
6	COATA	156	141	108	26	3	3	3	9	18	33	60	105
7	HUATA	153	138	105	27	3	3	0	9	12	32	57	98
8	MAÑAZO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
9	PAUCARCOLLA	150	147	102	25	3	3	3	6	15	30	60	108
10	PICHACANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
11	PLATERIA	177	141	125	64	9	7	6	12	16	54	54	93
12	PUNO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
13	SAN ANTONIO	156	168	90	36	3	3	0	6	3	3	60	132
14	TIQUILLACA	147	162	84	30	0	0	3	6	3	3	63	129
15	VILQUE	132	156	83	24	0	0	0	0	0	0	63	126

Fuente: Elaboración Propia

*DES: Datos de Estación SENAMHI

DATOS DE HUMEDAD RELATIVA INTERPOLADAS EN SIG													
N°	DISTRITOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	ACORA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
2	AMANTANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
3	ATUNCOLLA	72.59	75.2	73.10	68.7	59.8	55.2	55.2	54.4	56.6	57	57	66.3
4	CAPACHICA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
5	CHUCUITO	72.09	74.4	73.7	67.8	59.5	55	55.7	54.30	55.4	56.6	58.1	65.60
6	COATA	70.98	70.3	71.3	67.60	62.1	60.6	59.68	58.6	60.9	60.4	60.2	66.9
7	HUATA	72.3	73.9	72.7	68.4	61.1	58.1	57.4	56.9	58.7	58.6	58.4	66.8
8	MAÑAZO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
9	PAUCARCOLLA	72.59	75.66	73.10	68.60	58.1	53.9	54.2	52.5	54.5	56.2	58.5	65.9
10	PICHACANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
11	PLATERIA	71.9	74.3	73.6	67.3	58.80	53.2	54.80	54.2	54.6	57.2	55.5	65.7
12	PUNO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
13	SAN ANTONIO	72.8	74.9	73.60	69.10	60.4	57.7	56.1	55	56	56.9	56.4	65.8
14	TIQUILLACA	72.59	74.9	73.5	68.8	60.30	56.6	55.9	54.9	56.2	56.80	56.30	66
15	VILQUE	72.59	75	73.2	68.7	59.2	56.1	55.30	54.2	56.30	56.6	56.7	66.10

Fuente: Elaboración Propia

*DES: Datos de Estación SENAMHI

DATOS DE TEMPERATURA INTERPOLADAS EN SIG													
N°	DISTRITOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	ACORA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
2	AMANTANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
3	ATUNCOLLA	10.45	10.3	10.15	9.6	8.6	7.05	7	7.5	8.95	10.5	11.05	10.95
4	CAPACHICA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
5	CHUCUITO	10.4	10.3	10	9.15	8.05	7	6.7	7.35	8.85	10.1	11	10.8
6	COATA	10.05	9.9	9.85	8.85	7.25	6.1	5.95	6.55	8.35	9.4	9.5	10.25
7	HUATA	10.3	10.2	10.15	9.2	7.85	6.8	6.55	7.25	8.75	10	10.6	10.7
8	MAÑAZO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
9	PAUCARCOLLA	10.35	10.15	10.15	9.15	8.1	7	6.85	7.55	8.95	10.35	11.15	10.95
10	PICHACANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
11	PLATERIA	10.05	10.05	9.8	8.95	7.7	6.8	6.05	6.95	8.65	9.75	10.75	10.55
12	PUNO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
13	SAN ANTONIO	10.15	10.05	9.75	8.65	7.05	6.15	5.75	6.45	8.15	9.65	10.65	10.65
14	TIQUILLACA	10.3	10.2	10.05	9.05	7.55	6.5	6.2	7.1	8.6	9.9	10.85	10.8
15	VILQUE	10.4	10.25	10.15	9.2	7.9	6.9	6.75	7.45	8.9	10.2	11	10.95

Fuente: Elaboración Propia

*DES: Datos de Estación SENAMHI

DATOS DE VELOCIDAD DE VIENTO INTERPOLADAS EN SIG													
N°	DISTRITOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	ACORA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
2	AMANTANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
3	ATUNCOLLA	2.05	1.95	1.9	1.8	1.93	1.93	2.25	2.2	2.25	2.5	2.45	2.25
4	CAPACHICA	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
5	CHUCUITO	2.2	2.15	2.05	2.15	2.25	2.1	2.25	2.25	2.45	2.45	2.4	2.45
6	COATA	3.3	3.15	2.8	2.7	2.6	2.4	2.7	2.95	3.4	3.6	3.75	3.8
7	HUATA	2.4	2.35	2.15	2.2	2.2	2.13	2.27	2.3	2.55	2.7	2.8	2.6
8	MAÑAZO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
9	PAUCARCOLLA	1.8	1.85	1.7	1.85	1.95	1.93	2	2.1	2.2	2.4	2.3	2.15
10	PICHACANI	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
11	PLATERIA	2.35	2.2	2.1	2.45	2.6	2.4	2.55	2.55	2.65	2.55	2.6	2.6
12	PUNO	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES	DES
13	SAN ANTONIO	2.15	2.1	1.9	2.05	2.3	1.95	2.1	2.1	2.3	2.35	2.35	2.35
14	TIQUILLACA	2.1	2	1.9	1.95	2.5	1.95	2.12	2.15	2.33	2.4	2.4	2.35
15	VILQUE	2.1	1.95	1.85	1.82	2	1.98	2.08	2.15	2.3	2.43	2.4	2.25

Fuente: Elaboración Propia

*DES: Datos de Estación SENAMHI