



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**HUELLA HIDRICA DEL CULTIVO DE KAÑIWA (*Chenopodium pallidicaule*
Aellen) EN LAS CUENCAS COATA E ILLPA, PUNO**

PRESENTADA POR:

ELISBAN URIEL HUANCA QUIROZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2021



DEDICATORIA

A Dios bendito, al Señor de Huanca;

A la memoria de mis padres (QEPD y QDDG):

Dámaso Huanca y Prudencia Quiróz

A mi esposa Belia Nanny con gran amor,
A mis hijas e hijos: Katia-Lenard y nieta Kaheli;
Yhoselin y Eduardo; y a mi excelencia Keysi Z.
Y, a la gran familia ... con mucho cariño
para que prosigan esforzándose hacia
el logro de un bienestar mejor.

A las nacionalidades Aymara y Quechua,
que con sus principios y valores luchan
por la revaloración de su identidad
y cosmovisión andina.



AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Programa Académico de Ingeniería Agronómica; a la Escuela de Posgrado-UNA, Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, por haberme brindado formación y las facilidades para que el presente trabajo se culminara.
- A los Asesores de mi tesis D.Sc. Eduardo Flores, Oscar Mamani, y a los Jurados conformado por el D.Sc. Silverio Apaza, D.Sc. Evaristo Mamani, y D.Sc. Víctor Gonzáles, por sus invaluable colaboración, sugerencias y revisión de la tesis.
- A las Instituciones SENAMHI DZ, Puno; GRP-DRA, Puno; CIP-ILLPA-UNA, y otras instituciones que han facilitado en el desarrollo y obtención de informaciones necesarias para el presente trabajo.
- A las autoridades, personal técnico, y administrativo de la Escuela de Posgrado y del Programa de Doctorado UNA-Puno, por las facilidades y apoyo que me brindaron.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Huella hídrica en los cultivos	3
1.1.2 El cultivo de kañiwa	5
1.1.3 Rendimiento y productividad en la agricultura	7
1.1.4 Evapotranspiración de los cultivos	8
1.1.5 Requerimiento de agua del cultivo	9
1.1.6 Cuenca hidrográfica, recursos hídricos	10
1.1.7 Zonas agroecológicas	11
1.1.8 Análisis estadístico	13
1.2 Antecedentes	16

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema	22
2.2 Enunciados del problema	23
2.3 Justificación	23
2.4 Objetivos	24
2.4.1 Objetivo general	24

2.4.2 Objetivos específicos	24
2.5 Hipótesis	24
2.5.1 Hipótesis general	24
2.5.2 Hipótesis específicas	24

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio	26
3.2 Población	27
3.3 Muestra	27
3.4 Método de investigación	29
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	31
3.5.1 Para el objetivo 1: “Especificar la evapotranspiración del cultivo de kañiwa”:	31
3.5.2 Para alcanzar el objetivo 2: “Precisar el rendimiento del cultivo de kañiwa”, se puntualiza:	47
3.5.3 Para el objetivo 3: “Cuantificar la huella hídrica del cultivo de kañiwa”	51
3.5.4 Análisis estadístico	55

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evapotranspiración del cultivo de kañiwa (<i>Chenopodium pallidicaule</i> Aellen)	56
4.1.1 Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET _o) por métodos indirectos.	56
4.1.1.1 Método FAO Penman-Monteith (ET _o P-M)	56
4.1.1.2 Evapotranspiración de referencia, método de Hargreaves-Samani (ET _o H-S)	59
4.1.1.3 Regresión lineal entre métodos de cálculo de evapotranspiración de referencia (ET _o): Penman-Monteith y Hargreaves-Samani	62
4.1.2 Estimación de coeficientes de cultivo (K _c), metodología FAO para el cultivo de kañiwa (<i>Chenopodium pallidicaule</i> Aellen)	64
4.1.3 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ET _c) y requerimiento de agua (RAC: ET _v ; ET _a) por métodos indirectos	68
4.1.4 Evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ET _c) método de lisímetro NFC	74
4.2 Rendimiento del cultivo de kañiwa en grano	77



4.2.1 Área cultivada, rendimiento en grano del cultivo de kañiwa sistema tradicional en las cuencas Coata e Illpa	78
4.2.2 Rendimiento del cultivo de kañiwa en el sistema lisímetro NFC	85
4.3 Cuantificación de la huella hídrica del cultivo de kañiwa	85
4.3.1 Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa (HHv)	85
4.3.1.1 Huella hídrica verde del cultivo en función de ETo método Penman-Monteith	86
4.3.1.2 Huella hídrica del cultivo en función de ETo Met. Hargreaves-Samani	89
4.3.2 Huella hídrica azul en el cultivo de kañiwa	92
4.3.3 Huella hídrica en diferentes sistemas de cultivo	96
4.3.4 Prospectiva de huella hídrica del cultivo de kañiwa	98
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	111

Puno, 8 de Enero de 2021

ÁREA: Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
TEMA: Huella hídrica agrícola
LÍNEA: Manejo y conservación de recursos de agua y suelo

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Composición proximal de granos andinos y cereales (g/100 g materia seca)	6
2. Características ambientales de las sub regiones de la sierra del Perú	13
3. Análisis de variancia (ANVA) DBCA	17
4. Ubicación política y geográfica de las estaciones meteorológicas en las cuencas Coata e Illpa, Puno	29
5. Ubicación política de distritos de producción de kañiwa en las cuencas hidrográfica base: Coata e Illpa, Puno	31
6. Temperaturas mínima promedio mensual (°C) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata, Illpa, Puno (1997-2018)	39
7. Temperatura máxima promedio mensual (°C) - promedio multianual; en estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)	38
8. Humedad relativa promedio mensual (%) - promedio multianual campaña agrícola; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)	39
9. Velocidad de viento promedio mensual ($m s^{-1}$) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)	40
10. Insolación solar promedio mensual (hr-sol) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)	41
11. Precipitación pluvial promedio mensual ($mm mes^{-1}$) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)	43
12. Zonas agroecológicas y uso agropecuario en la subregión Altiplano, Puno.	45
13. Distritos con cultivo de kañiwa en las zonas agroecológicas diferenciadas de la sub-región Altiplano-Puno; cuencas base: Coata e Illpa (1997-2018)	49
14. Características morfológicas de los ecotipos/variedades de kañiwa; cuencas Coata e Illpa, Puno	50
15. Operacionalización de variables, huella hídrica del cultivo de kañiwa en las cuencas Coata e Illpa, Puno	54
16. Evapotranspiración de referencia ($mm día^{-1}$), método. Penman-Monteith, estaciones de Ccas Coata e Illpa-Puno, campaña agríc. del cultivo de kañiwa	58
17. Evapotranspiración de referencia ($mm día^{-1}$; $mm pv^{-1}$), método Hargreaves-Samani para estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno	60
18. Ecuaciones de regresión lineal y r^2 entre métodos de evapotranspiración de referencia en estaciones de las cuencas Coata e Illpa (1997-2018)	63

19. Evapotranspiración de referencia promedio mensual (mm día^{-1}) y anual (mm) calculados por diferentes métodos, estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno	64
20. Coeficientes de cultivo (Kc) de kañiwa para diferentes ZAE de las cuencas Coata e Illpa, metodología FAO y lisímetro NFC	69
21. Evapotranspiración (ETc) y requerimiento de agua del cultivo de kañiwa (RACv; RACa), para estaciones de cuencas Coata, Illpa. (ETo mét. Penman-Monteith).	70
22. Evapotranspiración (ETc) y requerimiento de agua del cultivo de kañiwa (RACv; RACa), para estaciones de Ccas Coata, Illpa (ETo método Hargreaves-Samani)	73
23. Evapotranspiración del cultivo de kañiwa para las fases fenológicas del período vegetativo (mm) por diferentes métodos, ZAE II cuencas Coata, Illpa-Puno	75
24. ANVA para evapotranspiración del cultivo de kañiwa para las fases fenológicas del ciclo vegetativo por diferentes métodos (mm), ZAE II de cuencas Coata, Illpa-Puno	76
25. Área y rendimientos del cultivo de kañiwa a nivel distrital (cuencas Coata e Illpa; Serie: 1997-2018), Puno	79
26. Producción de kañiwa por camapañas agrícolas en el distrito de Lampa-Puno (1997-2018)	83
27. Huella hídrica del cultivo de kañiwa en los distritos de las cuencas Coata e Illpa; ETo f(Penman-Monteith)	87
28. Huella hídrica del cultivo de kañiwa en los distritos de las cuencas Coata e Illpa; ETo f(Hargreaves-Samani)	90
29. Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa (L kg^{-1}) según zonas agroecológicas para las cuencas de Coata e Illpa, Puno	91
30. Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa en ZAE II “Suní altiplánica”; cuencas Coata e Illpa, (ETo Penman-Monteith y Hargreaves-Samani: 1997-2018)	93
31. Ecuaciones de regresión y r^2 entre huella hídrica verde y sus componentes en la producción de kañiwa, cuencas Coata e Illpa	95
32. Huella hídrica para el cultivo de kañiwa según sistemas de cultivo	99
33. Huella hídrica temporal del cultivo de kañiwa, distritos de Lampa y Capachica (2009/2018, con prospectiva a 2024)	99

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Rangos típicos del valor de Kc para las IV etapas del crecimiento de los cultivos	9
2. Cuencas hidrográficas Coata e Illpa (Región Hidrográfica del Titicaca)	31
3. Temperatura mínima promedio mensual en estaciones de las cuencas Coata, Illpa	38
4. Precipitación pluvial promedio mensual campaña agrícola (mm mes ⁻¹) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa	44
5. Valor promedio de Kci relacionado con el nivel de ETo	34
6. Esquema de estimación de la huella hídrica en la agricultura.	53
7. Variación mensual de ETo método Penman-Monteith, estación Ccas Coata, Illpa	59
8. Evapotranspiración de referencia método Hargreaves-Samani, estaciones de las cuencas Coata, Illpa	61
9. Evapotranspiración de referencia promedio mensual por métodos indirectos. Estaciones de las cuencas Coata e Illpa	64
10. Curva de coeficiente de cultivo (Kc) de kañiwa para ZAE I, II; cuencas Coata e Illpa	65
11. Curva de coeficiente de cultivo (Kc) de kañiwa para ZAE I, II; cuencas Coata e Illpa (programa Cropwat 8.0)	68
12. Plantilla de consideración del factor suelo en el cálculo de ETc de kañiwa para ZAE, cuencas Coata e Illpa (programa Cropwat 8.0).	69
13. Evapotranspiración (ETc) y ETv del cultivo de kañiwa, (ETo mét. P-M). Estaciones de cuencas Coata e Illpa	72
14. Evapotranspiración (ETc) y ETv del cultivo de kañiwa (ETo método H-S) para estaciones de cuencas Coata, Illpa	74
15. Area y rendimiento del cultivo de kañiwa en las cuencas Coata e Illpa	80
16. Area de cultivo, rendimiento de kañiwa en el distrito de Lampa, Puno.	84
17. HHv del cultivo de kañiwa según ZAE para las Ccas Coata, Illpa & HHa	92
18. Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa ZAE II, cuencas Coata, Illpa	94
19. HHv de kañiwa según sistemas de cultivo: ZAE “Suni altiplánica”, Puno	97
20. Regresión de rendimientos de diferentes sistemas de cultivo de kañiwa & huella hídrica	98



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Información meteorológica de diferentes estaciones de cuencas Coata e Illpa, Puno.	112
2. Procedimiento en el cálculo de evapotranspiración del cultivo de kañiwa por diferentes mét. En ZAE de cuencas Coata e Illpa, Puno.	116
3. Información sobre área y rendimientos del cultivo de kañiwa en los distritos de cuencas de Coata e Illpa	122
4. Sobre huella hídrica del cultivo de kañiwa, cuencas de Coata, Illpa, Puno	126
5. Ubicación política del ámbito de estudio y mapa de distribución geográfica de kañiwa en la Región Puno	128
6. Panel fotográfico	130

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ALA	: Administración Local del Agua
ANA	: Autoridad Nacional del Agua
AV	: Agua virtual transferida en productos agrícolas
ETc	: Evapotranspiración del cultivo
ETv	: Evapotranspiración de agua verde
ETa	: Evapotranspiración de agua azul
ETo	: Evapotranspiración del cultivo de referencia
ETo P-M	: Evapotranspiración de referencia método FAO Penman-Monteith
ETo H-S	: Evapotranspiración de referencia método Hargreaves-Samani
LNFC	: Lisímetro Nivel Freático Constante
FAO	: ONU para la Alimentación y la Agricultura
GIRH	: Gestión Integrada de Recursos Hídricos
HH	: Huella Hídrica
HHv	: Huella hídrica verde
HHa	: Huella hídrica azul
INIA	: Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria.
Kc	: Coeficiente de cultivo
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura y Riego.
CIP-ILLPA	: Centro de Investigación y Producción, Illpa UNA-Puno.
PE	: Precipitación efectiva
pp	: Precipitación pluvial
RAC	: Requerimiento de agua del cultivo
RACv	: Requerimiento de agua verde
RACa	: Requerimiento de agua azul
Rdto	: Rendimiento del cultivo
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
ZAE	: Zona agroecológica

RESUMEN

En el ámbito de estudio (2020), la kañiwa en grano es relevante como alimento nutracéutico; pero, su cultivo es “bajo secano” con cosechas no adecuados, así los objetivos planteados fueron: Especificar la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ETc) en tres zonas agroecológicas (ZAE) de las cuencas Coata e Illpa; precisar el rendimiento en grano de distritos de mayor potencialidad de producción; y cuantificar la huella hídrica del cultivo en diferentes ZAEs de las cuencas. La metodología para el cálculo de ETc fue por Lisimetría, y por los métodos indirectos; la evapotranspiración de referencia fue por los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani de conocimiento universal. La cuantificación de la huella hídrica estuvo de acuerdo al Manual propuesta por Hoekstra en 2011. Siendo las conclusiones: La ETc de kañiwa en la ZAE Suni-altiplano de mayor potencial del cultivo resultó de 513 mm; en cambio, en CIP-ILLPA vía lisímetro NFC fue de 445.3 mm. Con el sistema tradicional el rendimiento en la ZAE Suni-altiplano resultó de 723 kg ha⁻¹; mientras en el lisímetro de 4485 kg ha⁻¹. La huella hídrica verde para las ZAE Circunlacustre, Suni-altiplano y Puna semihúmeda con el método “ETo Penman-Monteith” resultaron de 3,969; 4,359 y 5,329 m³ kg⁻¹ respectivamente. Los rendimientos adecuados con humedad fácilmente disponible en el suelo, corroborarían en la reducción de la huella hídrica verde. En cambio, la huella hídrica azul para el cultivo de kañiwa en grano, fue de 0,993 m³ kg⁻¹ bajo el sistema lisímetro NFC en condiciones sin déficit de humedad.

Palabras clave: Evapotranspiración, huella hídrica, kañiwa, lisimetría, y rendimiento.

ABSTRACT

In the study area (2020), kañiwa in grain is relevant as a nutraceutical food; but its cultivation is "under rainfed" with inadequate harvests, thus the objectives were: Specify the evapotranspiration of Kañiwa crop (ET_c) in three agroecological zones (ZAE) of the Coata and Illpa basins; the grain yield of districts of greater production potential is specified; and thus, quantify the water footprint of the crop in different ZAEs of the basins. The methodology for the calculation of ET_c was by lysimetry and indirect methods; the reference evapotranspiration was carried out by the Penman-Monteith and Hargreaves-Samani methods of universal knowledge. The quantification of the water footprint was systematized by the manual proposed by Hoekstra in 2011. The conclusions were: The ET_c of kañiwa in the Suni-altiplano ZAE of higher crop potential resulted in 513 mm; on the other hand, in CIP-ILLPA via NFC lysimeter was 445.3 mm. With the traditional system, the yield in the Suni-altiplano AEZ was 723 kg ha⁻¹; while in the lysimeter it was 4485 kg ha⁻¹. The green water footprint for the circum-lacustrine, Suni-altiplano and semi-humid Puna ZAE with the "ET_c Penman-Monteith" method was 3,969; 4,359 and 5,329 m³ kg⁻¹ respectively. Adequate yields with readily available soil moisture would corroborate in the reduction of the green water footprint. In contrast, the blue water footprint for the grain kañiwa crop was 0.993 m³ kg⁻¹ under the NFC lysimeter system under non-moisture deficit conditions.

Keywords: Evapotranspiration, lysimeter, kañiwa, water footprint and yield.

INTRODUCCIÓN

En el Altiplano de Puno, por ende en las zonas de las cuencas de Coata e Ilpa, la kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es un grano alto-andino ancestral de importancia (originario de Perú y Bolivia), por constituir uno de los alimentos nutraceuticos de sus habitantes, ya que presenta un significativo contenido de carbohidratos, proteínas con aminoácidos de calidad, minerales, y alto nivel de fibra dietética, además de reunir características forrajeras de gran expectativa; razones de relevancia para intensificar las investigaciones en el incremento de la producción y productividad, vía desarrollo genético y tecnológico con la implementación del cultivo a nivel empresarial con énfasis en la producción ecológica, en el escenario de uso eficiente del agua.

La disponibilidad del recurso hídrico de acuerdo con Salazar *et al.* (2007), en las cuencas de los ríos Coata, Ilpa y cuencas colindantes, por su ubicación geográfica, características climáticas y configuración fisiográficas, es cada vez deficitario, y propensas a los efectos abióticos de los eventos extremos adversos (sequías, inundaciones, heladas, granizadas...), principalmente en el proceso productivo agropecuario en las diferentes zonas agroecológicas del ámbito. El régimen de precipitaciones pluviales total anual en las cuencas con frecuencia irregulares en su distribución temporal, describe los valores mayores en la parte “Puna semihúmeda” (783 mm), seguido por la zona “Circunlacustre” (753 mm), y en la zona “Suní altiplano” se registran los valores más bajos (690 mm); donde aquí se localizan los distritos de mayor potencialidad de producción de kañiwa. Así pues, la no seguridad hídrica es evidente cada vez en las cuencas en referencia.

Si la necesidad es asegurar una agricultura sostenible, conviene especificar estudios sobre la cuantificación y análisis de las huellas hídricas para una mejor comprensión de la relación del agua con la economía, el desarrollo y los ecosistemas de las cuencas hidrográficas de la región. En efecto, la huella hídrica es un indicador biofísico que mide el volumen total de agua dulce consumido por una unidad específica en estudio (Hoekstra *et al.*, 2011), que puede ser utilizado por un individuo, un cultivo, un área geográficamente definida, o una región, y que pertenece al grupo de indicadores planteados por la economía ecológica. Su importancia en la agricultura está para generar conciencia de dónde y cómo se usa el recurso hídrico, que puede permitir establecer mejores políticas y acciones concretas en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a nivel local, regional y nacional (Rendón, 2015).



Es así, de acuerdo al contexto arriba señalado, y según a la estructura básica de presentación del informe final de Tesis de investigación EPG-UNA; en el presente trabajo en sí, se inició con una revisión bibliográfica relevante sobre el tema (Capítulo I), seguido con el planteamiento de la Problemática de la investigación (Capítulo II), luego con la exposición de Materiales y Metodología empleada en todo el proceso (Cap. III), e inmediatamente con Resultados y Discusión (IV) de acuerdo a los objetivos específicos realizándose la interpretación, discusión vía tablas y/o figuras, y las pruebas estadísticas necesarias. En suma, se presentó las Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía, y el Anexo correspondiente.

En fin, el brío del presente trabajo puede considerarse como un aporte a la preocupación de actualidad: “Hacia el uso sostenible del agua en la agricultura de la región”.

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Huella hídrica en los cultivos

El concepto de huella hídrica fue desarrollado en el año 2002 por Arjen Hoekstra, experto del Instituto UNESCO-IHE, y cuantifica el total del agua que cada persona, industria o país, por ejemplo, emplea para sus diversas actividades, y la que necesita para producir los bienes y servicios que consume esa persona, esa industria o tal país. A modo de ejemplo se reporta la huella hídrica para algunos cereales en Argentina: trigo, arroz y maíz con 1300, 3400 y 900 L kg⁻¹, respectivamente (Rendón, 2015).

Adicionando, la huella hídrica es un indicador biofísico que mide el volumen total de agua dulce consumido por una unidad específica en estudio (Hoekstra *et al.*, 2011), que puede ser utilizado por un individuo, un cultivo, un área geográficamente definida, o un país, y que pertenece al grupo de indicadores planteados por la economía ecológica. “Así en la actualidad, el concepto de huella hídrica permite el desarrollo de una gama de distintos enfoques sobre cómo y para qué evaluar una huella hídrica en un contexto más amplio de gestión de los recursos naturales, y en particular, de los recursos hídricos” (Rendón, 2015).

Siendo la huella hídrica (HH) un indicador multidimensional que tiene su origen en el desarrollo y aplicación de conceptos estrechamente relacionados con el sector agrícola, su aplicación como herramienta de adaptación al cambio climático para la agricultura en el escenario de preocupación de la seguridad alimentaria frente al crecimiento poblacional es cada vez. Así, la HH se encuentra estrechamente relacionada con su uso como una herramienta complementaria de

la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH), con miras hacia la sostenibilidad hídrica territorial en las cuencas (Arévalo *et al.*, 2017).

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 en la huella hídrica, se emplean distintas unidades: $m^3 kg^{-1}$, $m^3 año^{-1}$, $m^3 t^{-1}$, $L L^{-1}$, $L kg^{-1}$ entre otros. 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 verde, azul y gris (Seguí *et al.*, 2016).

El principal motivo para el cálculo de la huella hídrica es que se ha identificado que en muchos países y áreas geográficas se ha superado con creces la propia capacidad de aporte hídrico. Es evidente que el cálculo de la huella hídrica nos aporta información para conocer en qué puntos de nuestra producción podemos reducir el consumo de agua, de forma que se aplique los principios del desarrollo sostenible. Adicionalmente, a través de este cálculo se puede llegar a relacionar el consumo diario de agua y los problemas de contaminación y distribución de agua en lugares donde se producen los bienes, y por tanto, cuantificar los efectos del consumo y comercio en el uso de los recursos hídricos (Hoekstra *et al.*, 2011).

Ariza y Arévalo (2018) señalan, que desde el punto de vista de las fuentes de agua se define la huella hídrica como:

- Huella hídrica verde, que es el volumen de agua de lluvia que no se convierte en escorrentía, por lo que se almacena en los estratos permeables superficiales y así satisfacer la demanda de la vegetación.
- Huella hídrica azul es el volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, consumido para producción de bienes y servicios, cubriendo una demanda de agua no satisfecha.
- Huella hídrica Gris: Volumen de agua necesaria para que el cuerpo receptor reciba el vertido contaminante asociado de la cadena de producción.

Se aclara aquí, que en el presente trabajo no se ha considerado la huella hídrica gris debido a que el cultivo de kañiwa en la Región Puno aún es conducido bajo una tecnología tradicional (insignificante fertilización y biocidas).

HUELLA DE AGUA.

La Norma ISO 14046:2014 Gestión Ambiental

Al respecto, Canga (2015) manifiesta que la norma ISO es una metodología con enfoque de ciclo de vida para la estimación en una escala temporal y geográfica específica de los impactos y efectos de los productos, procesos y servicios en la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. En cambio, “La Huella Hídrica” responde a la metodología desarrollada por la Universidad de Twente desde el año 2008, y ha dado lugar a la creación de la Water Footprint Network (WFN) a efectos de un uso eficiente del agua en parte.

El alcance del presente trabajo de investigación es a un nivel de huella hídrica, en perspectiva en el futuro de la norma ISO en referencia.

1.1.2 El cultivo de kañiwa

Nombre botánico : *Chenopodium pallidicaule* Aellen

Familia : Quenopodiáceas

Nombres comunes : qañiwa, kañiwa, cañihua (Perú), cañahua (Bolivia)

El valor nutricional de un producto alimentario depende tanto de la cantidad como de la calidad de sus nutrientes. En efecto, la semilla de kañiwa tiene un buen contenido de proteínas de 15 a 19 % (Tabla 1), y al igual que la quinua tiene una proporción adecuada de aminoácidos azufrados. Además, se distinguen por su buen contenido de minerales, pero su verdadera bondad radica en la calidad de la proteína. Así, estos granos contienen aproximadamente el doble de lisina y metionina que los cereales como el trigo y otros, a su vez la kañiwa tiene la ventaja de no poseer saponinas, lo cual facilita su utilización en el consumo y calidad nutricional (Repo-Carrasco *et al.*, 2006).

Tabla 1

Composición proximal de granos andinos y cereales (g/100 g materia seca)

Especie	Proteína	Grasa	Fibra cruda	Carbohidratos	Calcio mg	Magnesio mg
Trigo	10,5	2,6	2,5	78,6	-	-
Cebada	11,8	1,8	5,3	78,1	26	57
Quinoa	14,4	6	4	72,6	85	204
Kañiwa	18,8	7,6	6,1	63,4	157	210
Kiwicha	14,5	6,4	5	71,5	-	-

Fuente: Repo-Carrasco *et al.* (2006)

De acuerdo a la tecnología del cultivo de kañiwa, la fecha de siembra está muy ligada a la localidad, variedades y/o ecotipos utilizados y presentación de precipitaciones pluviales. Generalmente los meses de octubre-noviembre se consideran como los más adecuados. Para la siembra de kañiwa se utilizan tanto los terrenos de pastizales removidos, como suelos donde el año anterior se ha cultivado la papa amarga. La kañiwa se siembra al voleo, pero se ha encontrado que se obtienen mayores rendimientos con la siembra en surcos distanciados de 30 a 50 cm. La cantidad de semilla que se utiliza es de 4 a 8 kg ha⁻¹ al sembrar en surcos, y hasta 15 kg ha⁻¹ cuando se siembra al voleo (Apaza, 2010).

La kañiwa al igual que la quinua, responde con mejores rendimientos a la fertilización con nitrógeno y fósforo, mostrado en los diversos ensayos de fertilización en ecotipos seleccionados. Así las fertilizaciones altas de nitrógeno y fósforo (120-60) han elevado la producción a 2400 kg ha⁻¹ de grano y 14 t ha⁻¹ de broza; ésta última tiene una buena utilización en la alimentación del ganado seleccionados (Tapia, 2017).

El período de cosecha de la kañiwa se inicia en marzo y se extiende hasta abril, debido a que no todas las plantas maduran al mismo tiempo (Gade, 1970). Además, se cortan las plantas antes de que los granos maduren, de no cortar la planta, en un gran porcentaje de ellos se caería al suelo. Las precipitaciones en forma sólida pueden afectar seriamente la producción del grano de kañiwa, las granizadas que

ocurren en el mes de marzo; pueden ocasionar pérdidas hasta un 80% (Callohuanca *et al.*, 2019).

Se revela, que las semillas de kañiwa como alimento es nutracéutico (presenta efectos benéficos para la salud producido por el compuesto bioactivo de un alimento) y funcional (son fisiológicamente activos), que pueden mejorar la salud y prevenir enfermedades más allá de los nutrientes tradicionales que contiene (Apaza, 2010).

En cuanto a los rendimientos del cultivo que se obtiene, bajo un sistema tradicional practicado por el campesino (escasa preparación del suelo, sin abonamiento, siembra al voleo,..) se cosecha en promedio de 500 a 700 kg ha⁻¹ de grano; pero, se puede alcanzar a nivel comunal con asistencia técnica (tecnología intermedia) rendimientos promedios de 1440 kg ha⁻¹ (Mamani y Aliaga, 2017).

1.1.3 Rendimiento y productividad en la agricultura

La cantidad de productos que un agricultor obtiene por cada unidad de superficie que se cosecha se le llama rendimiento, y se expresa en kg ha⁻¹ en sistema métrico decimal. La magnitud de un rendimiento señala el nivel de eficiencia de la correspondiente combinación de factores que influyen sobre la cosecha (Tapia, 2017).

Según UPOV (Unión Internacional para la protección de las Obtenciones Vegetales) citado en Mamani y Aliaga (2017), se manifiesta que la VARIEDAD es “un conjunto de plantas de un solo taxón botánico del rango más bajo conocido”; y para ser registrado y protegido debe reunir las siguientes condiciones: nueva, distinta, homogénea y estable. En tanto, ECOTIPO es un grupo diferenciado de plantas de una misma especie que se han adaptado a un ecosistema particular con sus características de tolerancia a factores ambientales locales donde crecen y se reproducen sin sufrir mayores dificultades. En kañiwa es frecuente el denominativo de ecotipo Saihua (erguido) y Lasta (ramificado en base).

“Las estrategias propuestas en el planeamiento estratégico de kañiwa en el Perú”, se centran en dar a conocer el valor del grano en la población local y focalizar su difusión en EE.UU, UE y Canadá (principales países importadores), así como

organizar la cadena productiva, tecnificar el cultivo y realizar un mejoramiento genético de la semilla para crecer de forma sostenible y rentable, con la visión de llegar a ser el segundo grano andino en producción y consumo a nivel nacional y tercero a nivel internacional (Añillas *et al.*, 2013).

1.1.4 Evapotranspiración de los cultivos

El concepto de evapotranspiración del cultivo (ET_c) involucra los fenómenos de transpiración de las plantas y la evaporación del suelo (ET_c bajo condiciones estándar). Lo anterior, más el agua utilizada para la formación de los tejidos de las plantas, se le llama el uso consuntivo. En general, el agua en las plantas que han sido utilizado en la ET_c está entre 95 a 98 % (Allen *et al.*, 2006).

En riego interesa cuantificar la ET_c para efectos de cálculo de la demanda de agua del cultivo (Vasquez *et al.*, 2017). En los casos donde las condiciones encontradas en el campo difieran de las condiciones estándar se requerirá de correcciones del valor (ET_c aj). Condiciones de toxicidad salina, suelos inundados, plagas, enfermedades y la presencia de horizontes duros o impenetrables en la zona radicular, pueden generar un crecimiento deficiente de la planta y una reducción de la evapotranspiración (Allen *et al.*, 2006).

Vásquez *et al.* (2017), sostienen que los factores que afectan a la evapotranspiración de los cultivos, están los mismos que afectan a la evaporación del agua del suelo y a la transpiración de las plantas. Si reunidos en una expresión sería: $ET_c = f(\text{clima, suelo, fase vegetativa de la planta, fitotecnia, geografía})$ y agua disponible en la interfase. Se aclara, que, en la determinación de la evapotranspiración del cultivo, la evapotranspiración real, es el uso potencial del agua bajo condiciones favorables y es equivalente a evapotranspiración del cultivo (ET_c). Puede determinarse por métodos como el lisímetro y por métodos en función a informaciones meteorológicas.

A efectos de estimación, la ET_c, es el producto de la Evapotranspiración de referencia (ET_o) por el Coeficiente de Cultivo. Según Vasquez *et al.* (2017) y Serruto (2017), existen varios métodos para determinar la evapotranspiración de referencia, los más comunes son: Por muestreo de humedad del suelo (gravimetría), evapotranspirómetro (lisímetro), tanque de evaporación, balance de

energía, y métodos indirectos (Hargreaves-Samani, Penman-Monteith, Fórmula de Dr. R. Serruto, Blaney-Criddle, Christiansen, etc.).

Sobre el coeficiente de cultivo (K_c), se indica que es un factor que señala el grado de desarrollo de cultivo del cual se requiere evaluar su consumo de agua. Los parámetros que afectan los valores de K_c , son principalmente las características del cultivo, fecha de siembra, duración del periodo vegetativo, condiciones climáticas y la frecuencia de lluvia o riego. Así se remarca, que la fase inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo. Luego, la etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa (Allen *et al.*, 2006).

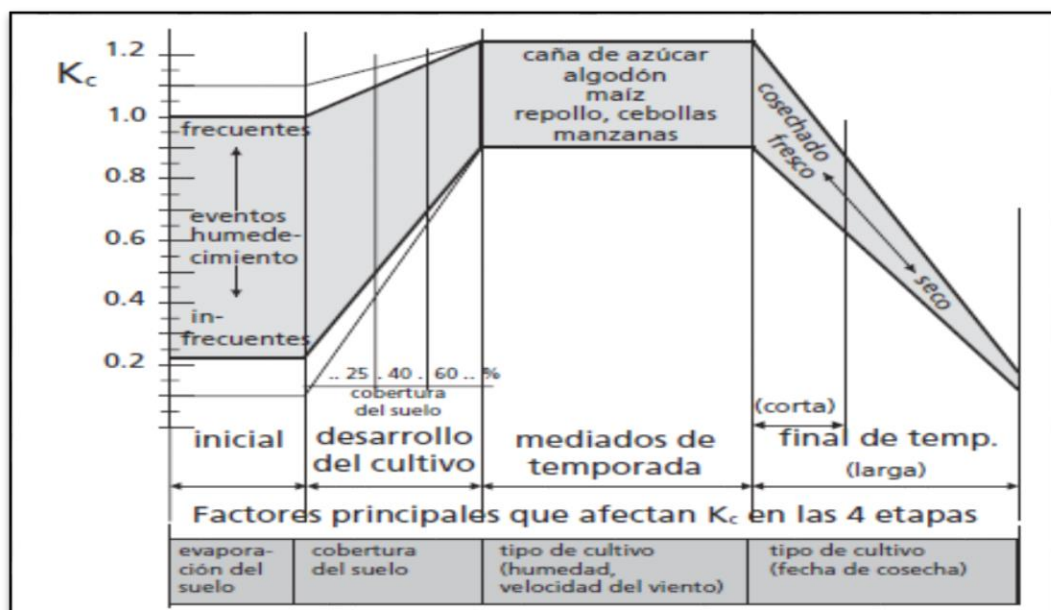


Figura 1. Rangos típicos del valor de K_c para las IV etapas del crecimiento de los cultivos

Fuente: FAO, Allen *et al.* (2006)

1.1.5 Requerimiento de agua del cultivo

Vasquez *et al.* (2017) señalan, que la significación de Necesidades de Agua del Cultivo o Requerimiento del Agua del Cultivo (RAC) puede definirse de muchas formas y debe hacerse con cautela de acuerdo al marco conceptual en el que se encuentre, ya que influirá en consideración en el diseño del procedimiento y en los resultados. En su tarea de guía, el RAC nos ofrece un punto de vista de la

intensidad en el gasto del líquido elemento, o sea, qué magnitud de agua se necesita para producir una cantidad también de cosecha.

En el presente estudio, el RAC de kañiwa de acuerdo con Huanca y Quispe (2011) se considera como la cantidad que fisiológicamente necesita la planta para desarrollarse y es igual a su consumo de agua por ET. Esta agua procede, en su totalidad, de la precipitación absorbida del suelo o agua verde, y en caso de lisímetro, del aporte en forma de riego, o agua azul. El resto del agua verde que no utiliza la planta se recicla por infiltración y vuelve a formar parte del recurso hídrico. La cantidad de agua disponible en el suelo, así como la ET, dependen de diferentes factores, entre los principales: climáticos, edáficos y fisiológicos de la planta.

1.1.6 Cuenca hidrográfica, recursos hídricos

El enfoque de la cuenca hidrográfica como sistema y como unidad de gestión de los recursos naturales y el ambiente, es casi indispensable cuando se analizan interacciones físico-biológicas y socioambientales relacionadas al agua y su interacción con otros recursos naturales. Así, evaluar huellas hídricas de las cuencas es tan necesario, con miras a informar la formulación de estrategias para alcanzar la asignación más eficiente y sostenible posible del agua (Arévalo *et al.*, 2017).

Según Autoridad Nacional del Agua, ANA-WWF-PERÚ (2015) en términos de disponibilidad de agua a nivel nacional podemos indicar, que la vertiente del Pacífico alberga a cerca del 66% de la población nacional y el 2% de los recursos hídricos del país, en contraste con la vertiente del Atlántico que alberga 31% de la población nacional y un 97% de los recursos hídricos, mientras que la vertiente del Titicaca alberga al 3% de la población y el 1% de los recursos hídricos del Perú.

En particular, el Sistema Hidrográfico del Titicaca, está conformado por ocho cuencas que vienen a constituir afluentes del Lago Titicaca. Se cita las principales cuencas integrantes (MINAGRI-ANA, 2013):

- Cuenca del río Coata, conformada por las subcuencas del río Cabanillas y Lampa, ocupa una extensión de 5 003,2 Km², que comprende toda la parte de las provincias de Lampa, San Román y Puno.
- Cuenca del río Illpa, Comprende parte de las provincias de Puno y San Román, ocupa una superficie de 1 238,9 Km².
- Cuenca del río Ramis, es una red de mayor extensión a nivel regional, abarca las provincias de Azángaro, Melgar, Huancané, Lampa y parte alta de Carabaya y Sandia; comprende una extensión de 15 572,4 Km², cuyos afluentes principales son los ríos Azángaro y Ayaviri. La cuenca del río Ilave y otros completan la Unidad Hidrográfica del Titicaca-Perú.

El SENAMHI, como ente rector en las actividades hidrológicas y meteorológicas del país; administra una red de observación hidrometeorológicas que permite el desarrollo de estudios e investigación, que se vienen elaborando a través de la Dirección de Hidrología, las cuales están relacionados a la disponibilidad del recurso agua. Luego, de proyección a 2075, en promedio los escenarios hídricos, indican un aumento del 6,3% de la oferta hídrica anual; este porcentaje no significativo indicaría la necesidad de planificar a futuro un adecuado manejo y gestión de los recursos hídricos (SENAMHI-P, 2019).

La cuenca del río Coata, es considerado el de mayor importancia económica del departamento de Puno debido a las diversas actividades económicas que se desarrollan. En la parte media se ubica una de las reservas hídricas más importantes del país “Lagunillas” que podría dotar de agua potable a ciudades de Puno, Juliaca y Lampa; así como ampliar la frontera agrícola y pesca. El embalse de Lagunillas tiene un almacenamiento de 500 MMC disponibles que se renuevan en forma permanente con las lluvias y ha permitido planificar proyectos de irrigación (Sistema Integral Lagunillas) con un área total bajo riego de 27,450 ha (Salazar *et al.*, 2007).

1.1.7 Zonas agroecológicas

La zonificación agroecológica es la sectorización de un territorio con diversos criterios, para identificar unidades geográficas relativamente homogéneas con características físicas, biológicas y socioeconómicas. En el Perú, Pulgar (1987)

propuso los criterios para dividir las 8 regiones naturales del Perú, entre ellas se encuentran los factores naturales (altitud, relieve, clima, flora, y fauna), y los factores humanos (paisajes, folklore de los pueblos, toponímicos culturales, etc.).

La propuesta de Tapia (2013) de una zonificación con enfoque al tema agroecológico para la región alto andina, pone énfasis en la vocación y producción agropecuaria y se basa en el reconocimiento de las zonas de vida natural según Pulgar (1987), que incluye la denominación local reconocido por los propios pobladores a la cual se ha incluido, la información sobre la evaluación del uso actual y potencial de la tierra, mayormente con vocación a la producción agropecuaria, siendo esta la actividad económica más importante de la región alto andina.

La zonificación agroecológica de la Sierra considera 6 subregiones (SR), se basa en definir variables no modificables como la ubicación geográfica, latitud, fisiografía y la orientación a un nivel meso (Tabla 2). Cuando se incluyen parámetros como la altitud, el índice de precipitación, características topográficas y la principal vocación agropecuaria, se pueden diferenciar 18 zonas agroecológicas (ZAE); estas pueden ser modificadas y variar en su productividad. Finalmente, a un tercer nivel se determinan las zonas homogéneas de producción (ZHP), considerando sus condiciones edáficas (suelos), micro topográficas y su acceso o no al riego.

Tabla 2

Características ambientales de las sub regiones de la sierra del Perú

Sub región	Latitud Sur	Altitud msnm	Precipitación mm	Fisiografía	Orientación
Norte o septentrional	4,3 a 8,3	1900 – 4300	600 – 1300	Ondulada, laderas, cerros, sin nevados	Interandina
Central	8,3 a 12,3	1850- 5000	380 - 960	Quebradas, valles, laderas, cerros, Accidentada,	Interandina
Centro sur	12,3 a 14	2000- 4500	550 – 1100	valles profundos, laderas, cerros.	Interandina
Vertiente Occidental	10 a 18	1800 - 3800	180 - 350	Muy accidentado, valles angostos.	Hacia el Océano Pacífico
Vertiente Oriental	9 a 14	1500- 3900	600 – 1800	Muy accidentada	Hacia la Amazonia
Altiplano del L. Titicaca	14 a 17	3800- 4400	400 - 780	Pampas, cerros.	Hoya del Titicaca

Fuente: Tapia (2013)

1.1.8 Análisis estadístico

En un estudio en especial de tipo cuantitativo, el análisis de datos estadísticos es el proceso que permite interpretar los datos numéricos que se dispone. En efecto, a continuación, se hará una presentación de algunos tipos de análisis de datos considerados de utilidad en la presente investigación:

- Estadística descriptiva. Se considera al conjunto de métodos estadísticos que describen y/o caracterizan un grupo de datos teniendo promedios, desviación estándar, CV, etc. como medidas de centralización y dispersión en todo el desarrollo del trabajo (Juaréz *et al.*, 2002).
- Estadística inferencial. Busca deducir y sacar conclusiones acerca de situaciones generales más allá del conjunto de datos obtenidos es predecir una variable a partir de otra.

Como una muestra se señala, que las variables meteorológicas como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento han sido proporcionadas por SENAMHI DZ 13 Puno a un nivel semiprocésado. Sin embargo, algunos elementos como

heliofanía ha existido su disponibilidad sólo en algunas estaciones, en el resto se complementó vía regresión (Grossi y Righini, 2002).

Prueba *t de Student*.

Es una prueba paramétrica de comparación de dos muestras. Su función es comparar dos grupos de puntuaciones (medias aritméticas) y determinar que la diferencia no se deba al azar, sino que la diferencia sea estadísticamente significativa. El valor crítico de "t" se obtiene de la tabla t de Student, con una probabilidad al 95%, o con un nivel de significación del 5%, es decir con $\alpha/2 = 0,025$ y con grados de libertad $\nu = n_1 + n_2 - 2$. Posteriormente se comparan el t_c con el t_t (Villón, 2016 ; Juárez *et al.*, 2002):

- Si $t_c \leq t_t$ ($\alpha=0,05$) entonces las medias son iguales estadísticamente.
- Si $t_c > t_t$ ($\alpha=0,05$) entonces las medias son diferentes estadísticamente.

La prueba t para muestras independientes han sido empleados en la comparación de métodos de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani en la evapotranspiración de referencia, evapotranspiración del cultivo de kañiwa, en los rendimientos y huella hídrica del cultivo en las diferentes zonas agroecológicas.

Prueba de Smirnov-Kolmogorov

Moraguez *et al.* (2015) alude, que cuando se tiene disponible de un registro de datos hidrometeorológicos, se deben calcular sus parámetros y realizar la prueba de bondad de ajuste. En efecto Villón (2016) indica, que la prueba de Smirnov-Kolmogorov, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo, es decir:

$$\Delta = \text{máx} [F(x) - P(x)]$$

Donde:

Δ = estadístico de Smirnov-Kolmogorov

$F(x)$ = probabilidad de la distribución teórica

$P(x)$ = probabilidad experimental o empírica de los datos

El estadístico Δ tiene su función de distribución de probabilidades.

Si Δ_0 es un valor crítico para un nivel de significación α , se tiene que:

$P[\max\{F(x) - P(x)\} \geq \Delta_0] = \alpha$ o $P(\Delta \geq \Delta_0) = \alpha$, también:

$P(\Delta < \Delta_0) = 1 - \alpha$

- El Análisis de regresión lineal, no lineal (R^2 , R) fue necesario en el procesado de validación de evapotranspiración de referencia por métodos indirectos y, en los comparativos correspondientes entre métodos. Asimismo, fue necesario en los aspectos de inferencia en los indicadores como rendimiento del cultivo, huella hídrica y algunos componentes del clima y altitud.

Los rangos del coeficiente de correlación, se pueden interpretar haciendo uso de las siguientes expresiones (Calzada, 1982; Ibañez, 2015):

$r = 0,2$ a $r = 0,3$ Coeficiente de correlación muy bajo.

$r = 0,4$ a $r = 0,5$ Coeficiente de correlación bajo.

$r = 0,6$ a $r = 0,7$ Coeficiente de correlación alto.

$r = 0,8$ a $r = 1,0$ Coeficiente de Correlación muy alto.

- El coeficiente de determinación (R^2) mide la proporción de la variación que se explica por la variable independiente en el modelo de regresión, y está definido por:

$$R^2 = r^2 = \frac{\text{Varianza Explicada}}{\text{Varianza Total}} \times 100 = \frac{SSR_m}{SST_m} \times 100$$

El Diseño Bloque Completo al Azar (prueba de Tukey), fue necesario a efectos comparativos en la ETC de kañiwa para las fases fenológicas del ciclo vegetativo por diferentes métodos y zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa.

Al respecto Calzada (1982), Ibañez (2015) manifiestan, que el Diseño Bloque Completo al Azar es uno de los más ampliamente conocidos y difundidos de los diseños experimentales, y se caracteriza porque los tratamientos se distribuyen en forma aleatoria, a un grupo de unidades experimentales denominado bloque, la finalidad es que las unidades experimentales dentro de un bloque sean lo más homogéneas posibles, es decir el número de unidades experimentales en cada bloque debe ser igual al número de tratamientos que se quiere estudiar (Tabla 3).

El modelo Aditivo Lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + EE_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor de la repetición

μ = Media general

T_i = Efecto del i -ésimo TRAT.

β_j = Efecto del j -ésimo Bloque

EE_{ij} = Efecto del EE

Tabla 3

Análisis de varianza (ANVA) DBCA - Diseño en bloques completamente al azar

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Obs
Trat	T-1	SCT	SCT/gl	CMT/CME
Bloques	B-1	SCB	SCB/gl	
Error	(T-1)(B-1)	SCE	SCE/gl	
Total	(T*B-1)	SCt		

Fuente: Calzada (1982)

1.2 Antecedentes

En el desarrollo integral de un país, uno de los recursos vitales es “El agua”. Los valores extremos (inundaciones o sequías) son problemáticas que afectan de manera directa las condiciones sociales de la población, como es el caso de la desnutrición, las condiciones antisaneitarias, la falta de servicios públicos, el mal uso del suelo, la miseria

y el hambre. Una visión de sustentabilidad está en “medir” la huella hídrica en unidades de planificación de los bienes y servicios ambientales, es decir, en el esquema de ordenamiento territorial y en la ordenación de la cuenca hidrográfica (Cardona y Ochoa, 2013).

Mallma y Mejía (2015) en su investigación señala, que las cantidades de agua virtual entre los productos varían por las cantidades comercializadas y están de acuerdo a las cosechas agrícolas que a su vez depende de factores como el clima, requerimiento del consumidor y de la tecnología empleada en la producción. Así, el uso de un kg de quinua en la ciudad metropolitana implica la transferencia de 5689,92 litros de “agua virtual” desde el departamento de Junín, en donde se produce las cosechas.

En tanto, en el trabajo “Huella hídrica de Cultivos Andinos de la Región Puno comercializados en la Región Arequipa” (Vilca, 2018), en particular para kañiwa calculó un contenido de agua virtual de $6906,57 \text{ L kg}^{-1}$, valor relativamente alto por considerar muy probable en el proceso de obtención de la huella hídrica al agua azul, a pesar de que en la región Puno en la actualidad el cultivo es practicado aún bajo un sistema “secano” (agricultura pluvial). Comparado con el cultivo de quinua para la región Junín (Mallma y Mejía, 2015) fue mayor en un 15%, al respecto también no se presentó alguna discusión.

Para contabilizar la Huella Hídrica en el trabajo “Estimación de la Huella Hídrica y de Carbono en los cultivos comunitarios de Quínoa (*Chenopodium quinoa* wild) correspondientes a la zona central de los andes ecuatorianos”, se aplicó la metodología del Manual de Evaluación de Water Footprint Network y el procedimiento de cálculo del Manual de Evaporación de cultivo: FAO; los datos fueron procesados en el programa Cropwat 8.0. Los resultados reportaron una Huella hídrica de 356,49 y 98,49 m^3/t en Pucara y Mijipamba respectivamente. La importancia de este tipo de estimaciones radica en contribuir con un desarrollo sostenible e impulsar al eco-etiquetado de productos andinos ligados a la certificación orgánica (Ramírez-Cando *et al.*, 2017).

Asimismo, 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, en tres secciones de la cuenca del río Cachapoal (Chile). La huella hídrica de los cereales, bajo un rendimiento constante, fue mayor en el año húmedo con 1 064 m³/ton; en cambio, con una disminución del rendimiento, fue mayor en el año seco (1 633,9 m³/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 (Novoa *et al.*, 2016).

El indicador “Huella Hídrica” es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos; es útil para cuantificar los flujos de agua virtual, de las importaciones y de las exportaciones. La metodología aplicada fue por lo desarrollado por Chapagain y Hoekstra, adaptada a las condiciones de la comarca del Poniente Almeriense-España. Como conclusiones se cita: existe un alto valor de Agua Virtual exportada, por lo que la huella hídrica es muy pequeña. Este hecho, junto a la alta eficiencia hídrica y el alto rendimiento monetario, justifican el uso intensivo del agua y los aportes externos necesarios en condiciones de invernadero (Tolón *et al.*, 2013).

Por otro lado, Chirinos (2018) reporta que para un ecotipo local de quinua en Ccaje-Julí (2015–2016) resultó, que empleando lisímetros de drenaje bajo tres dosis de riego con el fin de determinar la evapotranspiración mediante un balance hídrico (método de Thornthwaite y Mather), el consumo de agua del cultivo fue de 446, 290 y 166 mm con un rendimiento de 5,47; 2,9 y 1,51 t ha⁻¹ respectivamente; siendo la eficiencia del uso de agua de 1,23; 1,00 y 1,20 kgm⁻³.

La kañiwa, como la quinua son los granos andinos más nutritivos del altiplano Perú Bolivia, debido a su contenido y calidad proteica, pero es uno de los menos estudiados. “Sin embargo, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ha ganado prominencia en todo el mundo en los últimos años y, de repente, Perú se ha convertido en un actor importante en el mercado mundial de la quinua” (Bedoya-perales *et al.*, 2018). Muy probable que la kañiwa en un tiempo no lejano esté en condiciones similares.

También se afirma, que la cañihua y la kiwicha tienen usos múltiples y variados, los cuales debidamente aprovechados y transformados pueden cambiar radicalmente su situación actual de subutilizados. En la cañihua habría que aprovechar mejor sus cualidades excepcionales de alto contenido de hierro tanto en sus hojas como granos, alta cantidad y calidad de su fibra, usos forrajeros, y cualidades harineras para obtener

el mejor pan integral, sobre todo para aquellas personas que no soportan el gluten del trigo. Su cultivo ahora está aislado a zonas agrestes y frías (Jacobsen *et al.*, 2003).

Asimismo, los reportes confirman que la cañihua tiene una calidad proteica relevante (15-19%) porque su composición balanceada de aminoácidos esenciales es similar a los de la caseína. También posee ácidos grasos poliinsaturados (42.6%) como el ω -6 (ácido linoleico). Por otro lado, tiene un buen nivel de compuestos fenólicos totales, que muestra tener buenas cualidades bioactivas de alta capacidad antioxidante. Finalmente, los investigadores mencionan que tiene alto contenido en fibra dietética, con efectos positivos en la salud de los consumidores, como la reducción del nivel de colesterol en la sangre y mejora la digestión (Bartolo y Dolly, 2013).

Sobre el rendimiento del cultivo, como resultado del trabajo “Efectos de la variabilidad climática en la producción de cultivos en el altiplano, se determina que existe una relación directa entre la producción de cañihua, oca y papa y su tendencia es positiva a pesar de la variabilidad climática; es decir año tras año se incrementa a pesar de las anomalías del tiempo y cambio climático que se evidencia en la Región Puno” (Guerra, 2015).

Así, en la preocupación de obtener mayores rendimientos vía mejoramiento genético en el cultivo de kañiwa, Mamani (2013) en su investigación revela que de las 26 accesiones los primeros en rendimiento fueron los ecotipos “204” y “117” con 2539 y 2516 kg ha⁻¹ respectivamente; los cuales se han sometido a un análisis de caracterización molecular AFLP (Polimorfismo en la Longitud de Fragmentos Amplificados) en la Universidad Nacional Agraria “La Molina” para así intensificar aun con mayores estudios de diversidad genética para incrementar los rendimientos del cultivo.

Si cabe acentuar: La cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), es un cultivo cuyas características alimenticias son destacables, por ejemplo, se registran contenidos de proteína que van desde los 17 a 19%, se cuenta con una amplia variabilidad genética que le confiere al cultivo grandes posibilidades de usos culinarios e industriales. Es una especie que se adapta a condiciones agroclimáticas extremas, en suelos de baja fertilidad y salinos. Estos aspectos hacen que este cultivo retome su importancia en los últimos años y sea el foco de atención del sector académico y científico, así como de

gobiernos nacionales y de las demandas de este grano en los mercados nacional e internacional (Mamani y Aliaga, 2017).

Además, se informa “que en el altiplano de Puno la kañiwa mantuvo su rendimiento en la producción en estos últimos 20 años; mientras el arroz, maíz, trigo y otros granos alimenticios fueron afectados por el cambio climático en el país y en el mundo. La kañiwa toleró anomalías críticas de las variables agroclimáticas de la región. El grano alto andino es una planta alimenticia adaptable al cambio climático en la región del altiplano de Puno” (Benique, 2019).

En la Región Puno, a la fecha estudios sobre determinación de huellas hídricas en los cultivos aún es insignificante; sin embargo, con fines de fomentar una agricultura de riego con enfoque de uso eficiente del agua, se han iniciado investigaciones puntuales sobre necesidades del agua de riego en algunas especies como en quinua, maca, papa, kañiwa, oca, etc. Para ello es de necesidad profundizar estudios sobre evapotranspiración de los cultivos, ya que la huella hídrica es función de la evapotranspiración.

En efecto, Flores *et al.* (2015) de los resultados del estudio “Modelación de la evapotranspiración potencial en el altiplano de Puno”, en función del rango de temperatura, aplicando la estimación de parámetros de regresión por máxima verosimilitud, en una de sus conclusiones reporta: “Los modelos de ETP obtenidos para las tres regiones homogéneas poseen un buen desempeño respecto a los demás modelos, excepto el modelo de la región 2 que tiene deficiencias en estimar la ETP en zonas cercanas al Lago Titicaca. Los modelos de ETP son aplicables a su respectiva región homogénea, estas regiones se encuentran entre los 3812 y 3970 msnm”. Su aplicabilidad estaría en la ZAE Suni altiplano de las cuencas de Coata e Illpa.

“Para el ámbito de la cuenca del lago Titicaca, la evapotranspiración de referencia estimados mediante Penman-Monteith, en promedio son: 105,05; 94,78; 101,50; 98,37; 96,70; 87,10; 92,82; 104,73; 113,99; 126,02; 124,54; 117,26 mm, que corresponden a los meses de enero a diciembre, respectivamente. Además, las estaciones de la parte norte de la Región de Puno tienen menor evapotranspiración de referencia y las estaciones del sur tienen mayor evapotranspiración” (Charaja, 2017). No se reporta las causas probables.

Al respecto, Huanca y Quispe (2011), en los primeros experimentos realizados en el CIP-ILLPA-Puno, “Determinación de la evapotranspiración bajo el sistema Lisímetro NFC” se obtuvo que la Eficiencia de Uso del cultivo de cañihua para la producción en grano, fue de $1,18 \text{ kg m}^{-3}$; valor que es congruente por estar en condiciones sin déficit de humedad en la zona de raíces del cultivo.

De las investigaciones sobre productividad del agua en el cultivo de quinua en Bolivia, “de los resultados de campo, estudios y observaciones anteriores en los campos de los agricultores, se derivaron valores indicativos para el requisito de riego neto, rendimientos esperados y eficiencias de uso del agua para diversas condiciones de gestión, aplicaciones de riego y para diferentes tipos de años. Se cree que los rendimientos de quinua se pueden estabilizar en 1,2 hasta 2 Mg ha^{-1} con la ayuda de DI (riego deficitario) aplicando solo la mitad del agua de riego requerida para el riego completo” (Geerts *et al.*, 2008). Para Kañiwa una alternativa similar puede ser factible en Puno.

En la investigación denominada “Aplicación de biol y riego por goteo en diferentes cultivares de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la estación experimental Choquenaira” (UMSA-La Paz); donde los factores en estudio fueron el fertirriego en tres cultivares de cañahua, siendo uno de los variables en consideración el rendimiento; los resultados básicos mostraron, que las familias de la región pueden incrementar sus ingresos económicos con el uso de materiales locales para la obtención de biol, el cual permite obtener mayores rendimientos en menor tiempo ($2096,3 \text{ kg ha}^{-1}$ en promedio), que sumado a la aplicación de riego por goteo se puede alcanzar el uso eficiente del agua de riego que es tan escasa en la Región (Ramirez *et al.*, 2016).

En suma, en el trabajo “Prospectiva Económica de la Producción y Comercialización de la Cañihua en la Región Puno”, en una de sus conclusiones se divulga que “El escenario optimista de la cañihua, está basado en las tasas de crecimiento de la superficie cosechada, rendimiento, producción y precio; además de promover el cultivo por las entidades nacionales, regionales y locales, lo que generará el incremento del consumo debido a la preferencia del consumidor por los alimentos saludables y nutritivos, y el incremento de la adopción de tecnologías de cultivo incrementará el rendimiento” (Mayta, 2019).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

En la Región de Puno, la kañiwa en grano se constituye un alimento de relevancia de sus habitantes; sin embargo, la siempre persistencia de la adversidad con énfasis abióticos (ocurrencia de sequías, heladas, etc.) y, la no adopción de tecnologías adecuadas son causas de los indicadores no satisfactorios de producción y productividad, lo que conlleva muy probable una huella hídrica inapropiada, evidenciándose la demanda insatisfecha de los granos andinos. “La tecnología de producción en algo es disponible, pero, falta adecuarla a los diferentes sistemas de producción, para lograr un mayor rendimiento, priorizándose la producción ecológica” (Tapia, 2018).

Al mismo tiempo, el incremento demográfico de la actualidad acelera la mayor demanda de alimentos, y se requiere con urgencia producir cultivos de calidad, altamente nutritivos y sanos como es la kañiwa; por lo que, es prioritario darle especial atención al campo de la investigación en el cultivo de kañiwa con el propósito de no sólo asegurar cosechas sino obtener buenos rendimientos sea en grano o en broza (Apaza, 2010).

En tal sentido existe la necesidad de conocer en la agricultura del altiplano peruano indicadores claves en el contexto del uso eficiente de agua en los granos andinos, para plantear estrategias adecuadas vía conocimiento de la huella hídrica en la producción de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la región Puno: caso de las cuencas Coata e Illpa, ámbitos de gran potencial de producción del grano andino vía agricultura de riego localizado complementario en sus variadas irrigaciones.

2.2 Enunciados del problema

Por los argumentos expuestos en el planteamiento del problema, se ha propuesto responder a las siguientes interrogaciones:

¿Cómo varía la evapotranspiración del cultivo de kañiwa en las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa de la Región Puno?

¿El rendimiento del cultivo de kañiwa en grano varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa de la Región Puno?

¿Cuál será la variación de huella hídrica del cultivo de kañiwa en las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa de la Región Puno?

2.3 Justificación

En la actualidad, en la Región Puno y por ende en zonas de las cuencas de Coata e Illpa, se enfrentan a graves problemas relacionados con la nutrición humana como consecuencia del incremento de su población y cambio climático. Este crecimiento exige un aumento de la producción y productividad sobre todo de la calidad alimenticia. La kañiwa se presenta como una alternativa estratégica y favorable para toda la población local, nacional aun mundial, por ser uno de los granos andinos de gran valor nutritivo: con alto contenido de proteínas (15,4 - 19,4%), carbohidratos, minerales y fibra. Además por su balance de aminoácidos esenciales; por lo que la población actual aprecia este valor nutritivo (Callohuanca *et al.*, 2019).

Una de las alternativas viables de incrementar la producción y productividad del cultivo de kañiwa en la región altiplano del Perú y Bolivia vía tecnologías limpias puede ser, la implementación de agricultura de riego con un enfoque de uso eficiente del agua en los granos andinos (Geerts *et al.*, 2008), con ello no sólo se aseguraría cosechas sino se lograría mayores rendimientos del grano nutracéutico y funcional de la kañiwa; de ahí la necesidad de conocer la variación de la evapotranspiración del cultivo, los indicadores huella hídrica en las cuencas Coata e Illpa, por ser uno de los ámbitos de gran potencialidad de producción del grano andino vía agricultura pluvial con riego complementario localizado.

Además, se resalta las mayores ventajas comparativas que cuenta las zonas agroecológicas del “Sistema Hídrico Lagunillas” de comercializar, aún exportar el

producto; lo que incide en la necesidad de generar investigaciones y estrategias que permitan aprovechar las fortalezas y oportunidades, y que se logren confrontar las amenazas y evitar las debilidades en el contexto de una gestión integrada de recursos hídricos a nivel cuencas hidrográficas (Arnillas *et al.*, 2013).

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Determinar la huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en las cuencas Coata e Illpa, Puno.

2.4.2 Objetivos específicos

- Especificar la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) mediante métodos indirectos: Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, y Lisímetro NFC en las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, Puno.
- Precisar el rendimiento del cultivo de kañiwa en grano (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), de los distritos de mayor potencialidad de producción de las cuencas Coata e Illpa.
- Cuantificar la huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), en diferentes zonas agroecológicas del ámbito de las cuencas Coata e Illpa, Puno.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

La huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, Puno.

2.5.2 Hipótesis específicas



- La evapotranspiración del cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) calculado mediante diferentes métodos, varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, Puno.
- Los rendimientos en grano del cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) producidos en las distintas zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, son diferentes.
- La huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, Puno.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

Las cuencas de los ríos “Coata e Illpa”, ámbito base del presente trabajo de investigación, políticamente se encuentran en el departamento de Puno, comprendiendo principalmente los territorios de las provincias de Lampa, San Román, Puno y Melgar. Las ubicaciones de las cuencas están en la parte sur del territorio nacional, ocupando parte de la meseta del Collao o altiplano en la región natural de la sierra; sus límites son: por el Norte con la cuenca Pucará; por el Este con un tramo del Lago Titicaca; por el Sur con la cuenca Ilave y por el Oeste con un tramo del territorio de la cuenca Caplina y Ocoña (Moquegua y Arequipa). Se indica que las cuencas de Coata e Illpa se encuentra en la Región Hidrográfica del Titicaca (Fig. 2), y su delimitación está de acuerdo a RM N°033-2008-AG: Autoridad Nacional del Agua (MINAGRI-ANA, 2008).

A nivel administración hídrica del Perú, las cuencas Coata e Illpa (6417 Km²; 89,5 % de la ALA-Juliaca) pertenecen a la Administración Local de Agua de Juliaca (XIV-AAA-Titicaca, Puno), presenta un desarrollo altitudinal desde el punto más bajo (3812 msnm) ubicado en el cauce Coata cercano a su desembocadura al Lago Titicaca, desde este punto la altitud se incrementa hasta alcanzar el nivel máximo (5410 msnm) en las cumbres del nevado Mina Punta (Lampa). Según las coordenadas, el ámbito se ubica en: Long. Mín.: 71° 01' 11'' Oeste; Long. Máx.: 69° 44' 37'' Oeste. Lat. Mín.: 16° 00' 22'' Sur; Lat. Máx.: 15° 06' 54'' Sur (MINAGRI-ANA, 2013).

El ámbito en referencia tiene su importancia por presentar mayores potenciales de producción del grano andino kañiwa por ubicarse en sistemas hídricos de Lagunillas e Illpa, desde luego en proceso de implementación de irrigaciones de mayor magnitud de la Región Puno como es Lagunillas e Illpa, de ahí la prospección de una mayor conformación de agricultores de la zona con criterio empresarial de comercializar los

granos andinos orgánicos (Tabla 5). La ubicación de la Administración Local de Agua ALA-Juliaca en el ámbito de por sí justifica en la gestión integrada de los recursos hídricos para el desarrollo sostenible de las cuencas en referencia (MINAGRI-ANA, 2013).

La localización de la parte experimental (Lisimetría) fue en CIP-ILLPA-UNAP, y está ubicado políticamente en el distrito de Paucarcolla, provincia y departamento de Puno. El campo experimental se encuentra a una altitud de 3823 msnm, y su posición geográfica corresponde a 15° 42' 38" Latitud Sur y 70° 04' 54" Longitud Oeste del meridiano de Greenwich; zona agroecológica "Suní altiplano" (Huanca y Quispe, 2011).

3.2 Población

Las variables climáticas consideradas en el presente trabajo de investigación fueron muy aleatorias en especial la precipitación, más aún en el espacio-temporal en el altiplano de Puno; por lo que a efectos de consideración como Población se tiene la Serie histórica de las diferentes Estaciones Meteorológicas establecidas por parte de SENAMHI-Puno en el ámbito de las cuencas de Coata, Illpa y estaciones aledañas por criterio análisis regional.

De manera similar en cuanto de las informaciones sobre la producción de cultivos en las cuencas consideradas, se tiene en la Serie histórica de producción sobre el cultivo de kañiwa en los distritos localizados en las cuencas de Coata, Illpa y distritos colindantes, que puede obtenerse de Gobierno Regional Puno, DRA-Dirección de Estadística Agraria e Estadística.

3.3 Muestra

Para el presente trabajo como muestra se consideró, la serie de datos con que cuenta las Estaciones Meteorológicas ubicadas en las zonas agroecológicas de producción del cultivo de kañiwa, un registro de los 22 años últimos (1997-2018) lo suficiente representativo como está mostrado en la Tabla 4.

Respecto de la información sobre la productividad y superficie cosechada del cultivo de kañiwa de los diferentes distritos ubicados en las cuencas en estudio, se han considerado para las mismas campañas agrícolas a efectos de correlacionar los valores.

Las informaciones correspondientes se obtuvieron de la Dirección Regional Agraria de Puno (DRA-GRP), MINAGRI y otras instituciones acreditadas (Tabla 5).

Tabla 4

Ubicación política y geográfica de las estaciones meteorológicas en las cuencas Coata e Illpa, Puno

Estación Meteorológ.	Ubicación		Coordenadas		Altitud (msnm)
	Provincia	Distrito	Lat. Sur	Long. W	
Lampa	Lampa	Lampa	15°21'24''	70°22'15''	3892
Chuquibambilla	Melgar	Umachiri	14°47'5''	70°42'57''	3971
Puno	Puno	Puno	15°49'40''	70°00'44''	3820
Santa Lucia	Lampa	Santa Lucia	15°42'00''	70°36'00''	4050
Pampahuta	Lampa	Paratia	15°29'00''	70°40'33''	4400
Pucara	Lampa	Pucara	15°02'19''	70°20'57''	3910
Cabanillas	San Roman	Cabanillas	15°38'21''	70°35'00''	3900
Mañazo	Puno	Mañazo	14°48'00''	70°04'00''	3920
Capachica	Puno	Capachica	15°36'56''	69°50'38''	3828
Laraqueri	Puno	Pichacani	16°08'00''	70°03'00''	4100
Llally	Melgar	Llally	14°56'12"	70°53'9''	3980
Ayaviri	Melgar	Ayaviri	14,87°	70,59°	3928
Juliaca	Sn Román	Juliaca	15,44°	70,21	3861

Fuente: SENAMHI DZ 13-Puno

En la Región Puno, a través del tiempo y en las unidades geográficas el problema insistente siempre fue la escases de agua para desarrollar de manera óptima la agricultura y la ganadería en sus diferentes cuencas influenciando en el bajo nivel socioeconómico de los pobladores, más aún en la actualidad las evidencias que se manifiestan de efectos negativos de cambio climático sobre la agricultura (Benique, 2019). Por lo que se han considerado tanto las estaciones meteorológicas como los distritos de mayor potencial del cultivo de kañiwa, aún algunos ubicados fuera del

“divortium acuarium” de las cuencas de los ríos de Coata e Illpa en el escenario de análisis regional (Tabla 4 y 5).

3.4 Método de investigación

De acuerdo a la problemática planteada en el presente trabajo, el tipo de investigación es Aplicada y de enfoque Cuantitativo, por cuanto es centrada en el logro de estrategias que permitan coadyuvar en el uso eficiente del agua, en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, Plan adecuado de riego, entre otros en el ámbito de estudio.

De acuerdo a los objetivos establecidos, el diseño que corresponde es de una investigación Descriptivo, Correlacional, Explicativo con el fin de intentar determinar las causas y consecuencias del fenómeno de la variación de evapotranspiración, rendimiento del cultivo y huella hídrica en las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa. Para ello se emplearon diferentes métodos, como el método observacional, correlacional y experimental (Hernández *et al.*, 2014).

Tabla 5

*Ubicación política de distritos de producción de kañiwa en las cuencas hidrográficas base:
Coata e Illpa, Puno*

Dpto.	Provincia	Distrito	Altitud media (msnm)	Cuenca hidrográfica
	Lampa	Lampa	3892	Coata
		Cabanilla	3876	Coata
		Palca	4020	Coata
		Santa Lucía	4025	Coata
		Calapuja	3843	Pucará
		Pucará	3860	Pucará
	San Román	Juliaca	3824	Coata
		Caracoto	3825	Coata
		Cabana	3901	Illpa
		Cabanillas	3885	Coata
	Puno	Capachica	3860	Inter-Cca L. T.
		Coata	3814	COATA
		Huata	3848	Inter-Cca L. T.
Puno		Paucarcolla	3847	Inter-Cca L. T.
		Atuncolla	3831	Illpa
		Tiquillaca	3885	Illpa
		Vilque	3860	Illpa
		Mañazo	3926	Illpa
		Puno	3827	Ilave
		Pichacani	3975	Ilave
	Azángaro	Caminaca	3835	Azángaro
	Melgar	Llalli	3980	Pucará
		Ayaviri	3907	Pucará
		Umachiri	3921	Pucará
	Huancané	Pusi	3835	Coata

Fuente: Dirección de Estadística Agraria e Informática, Puno (DRA-Puno, 2019)



Figura 2. Cuencas hidrográficas Coata e Illpa (Región hidrográfica del Titicaca)

Fuente: MINAGRI-ANA (2008)

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

Sobre las técnicas, mediciones y unidades, equipos y tecnología empleadas en la obtención de informaciones base de las variables se muestran en el ítem “Operacionalización de Variables” (Tabla 15). La toma de datos, el procesado, métodos, y el análisis estadístico están ordenados de acuerdo a los objetivos específicos.

Cabe indicar que para efectos del logro íntegro de los objetivos propuestos inicialmente se ha iniciado con la obtención de información base y el tratamiento correspondiente de las informaciones meteorológicas, rendimiento del cultivo, área cosechada, zonas agroecológicas, etc., con su justificación pertinente.

3.5.1 Para el objetivo 1: “Especificar la evapotranspiración del cultivo de kañiwa”:

Materiales e instrumentos:

- Registro de información meteorológica proporcionado por SENAMHI DZ 13, Puno; de las siguientes variables: Temperatura (Termómetro), Humedad relativa (Higrómetro), Velocidad del viento (Anemómetro) y Hr-sol (Heliómetro).

- Equipo de cómputo y Software utilizado: Excel, Cropwat 8, SPSS, Hidroesta, Minitab (Softwares libre).
- Equipo de Lisimetría NFC, instalado en CIP-ILLPA-UNA.
- Equipo fotográfico

Métodos:

Para obtener la ETc método indirecto, el procedimiento es:

- Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

Se ha procedido a partir de las informaciones meteorológicas mensuales de la campaña agrícola del cultivo de kañiwa, de acuerdo a la metodología de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani.

- Ecuación de FAO Penman-Monteith

El Programa FAO Cropwat 8,0, utiliza el siguiente modelo (Onyancha y Gachene, 2017) :

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Dónde:

- ETo : Evapotranspiración sobre un cultivo de referencia (mm día-1)
- Rn : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)
- G : Flujo de calor del suelo (MJ m-2 día-1)
- T : Temperatura promedio del aire a 2 metros de altura (°C)
- U2 : Velocidad promedio diaria del viento a 2 metros de altura (m s-1)
- es : Presión de vapor en saturación (kPa)
- ea : Presión de vapor actual (kPa)
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor y temperatura (kPa °C-1)
- γ : Constante psicométrica (kPa °C-1).

El Cropwat 8,0 para Windows es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y los requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego

para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos (Onyancha & Gachene, 2017). En el presente trabajo también fue usado para el procesado y obtención de RACv de kañiwa.

- Ecuación de Hargreaves - Samani

Se plantea como alternativa (Allen *et al.*, 2006), que la evapotranspiración de referencia puede ser estimada utilizando la ecuación de Hargreaves (Hargreaves and Samani, 1985) donde:

$$ET_o = 0,023(T_{\text{mean}} + 17,8) (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5} Ra$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día^{-1}).

$T^{\circ} \text{ mean}$ = Temperatura promedio del día ($^{\circ}\text{C}$).

$T^{\circ} \text{ máx}$ = Temperatura máxima promedio del día ($^{\circ}\text{C}$).

$T^{\circ} \text{ mín}$ = Temperatura mínima promedio del día ($^{\circ}\text{C}$).

Ra = Radiación solar extraterrestre (mm día^{-1}).

- Coeficiente único del cultivo (K_c)

En principio se tiene dos enfoques de cálculo: los enfoques del coeficiente único y del coeficiente dual del cultivo. En el enfoque del coeficiente único del cultivo, las diferencias entre el cultivo (ET_c) y el pasto de referencia (ET_o) se combinan dentro de un coeficiente sencillo. En el enfoque del coeficiente dual del cultivo, el coeficiente del cultivo se divide en dos factores que describen por separado las diferencias en la evaporación y la transpiración entre el cultivo y el pasto de referencia (Allen *et al.*, 2006). El trabajo fue desarrollado bajo el primer enfoque.

Es así, para el cálculo de K_c único del cultivo, se utilizó la metodología propuesta por la FAO en su publicación N°56 Evapotranspiración del cultivo (2006), en donde se emplea la relación de ET_o y la frecuencia de riego para obtener el K_c de la primera fase fenológica del cultivo. Luego, para estimar los valores de K_c

siguientes es de acuerdo al agrupamiento del ciclo vegetativo en cuatro fases de desarrollo.

Durante las etapas de crecimiento del cultivo de cañiwa, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación de K_c , a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo; para ello es necesario los valores: K_{ci} , K_{cm} y K_{cf} para fases inicial, mediados y final, respectivamente. Para la obtención de la curva del coeficiente de cultivo de cañiwa fue de acuerdo al procedimiento establecido por la metodología FAO empleando la Fig. 5, y la Tabla correspondiente que es de conocimiento universal (Anexo 2: T:47).

Para la obtención de la Figura específica de la Curva de Coeficiente del cultivo de cañiwa para las diferentes condiciones de las zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa fue necesario informaciones locales como: las fechas de siembra y cosecha del cultivo, duración de las etapas de crecimiento, que fueron obtenidos por revisión bibliográfica especializada (Apaza, 2010 ; Tapia, 2017), y está mostrado en el Anexo 2 (T:46).

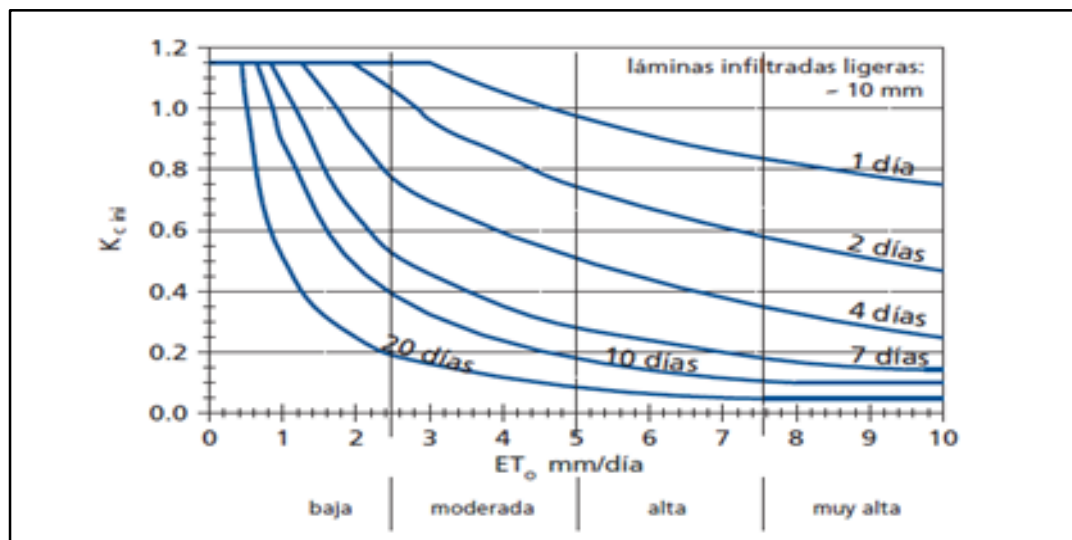


Figura 5. Valor promedio de K_{ci} relacionado con el nivel de ET_0

Fuente: Allen *et al.* (2006)

En cuanto del Método de Lisímetro NFC como método experimental, tanto el período vegetativo total, duración en días de diferentes etapas de desarrollo del cultivo fue “in situ” vía observación directa verificando los cambios anatómicos, morfológicos de las plantas en la parcela experimental instalado en CIP-ILLPA.

- Cálculo de la evapotranspiración del cultivo en función a métodos indirectos

Para estimar la evapotranspiración del cultivo (ET_c) por métodos en base a informaciones meteorológicas se utilizó la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (\text{Allen } et al., 2006 ; \text{ Vasquez } et al., 2017)$$

Donde: K_c = Coeficiente del cultivo.

ET_o = Evapotranspiración de referencia.

Se indica, que a efectos de cuantificar la huella hídrica del cultivo de kañiwa para las condiciones de las cuencas de Coata e Illpa, para sus diferentes zonas agroecológicas (I, II, III), se obtuvo en todo el procesado vía programa Cropwat 8.0 en lo que es evapotranspiración de agua verde (ET_v), y evapotranspiración de agua azul (ET_a). Luego, por practicarse en todas las zonas el cultivo de kañiwa bajo un sistema tradicional y eminentemente pluvial no se consideró en el requerimiento de agua para el cultivo lo que es agua gris, sólo agua verde (RAC_v) para agricultura pluvial y agua azul para el sistema lisimetría por la conducción del experimento bajo riego.

- Evapotranspiración del cultivo de kañiwa por método lisimetría.

La determinación de ET_c por el método lisímetro NFC, fue en base al balance de entradas y salidas de humedad del tanque de cultivo (TC), para luego deducir la fracción que corresponde a la ET_c. En efecto, la variable en referencia, se ha determinado aplicando de acuerdo al balance hídrico general aplicado al sistema:

$$ET_c = PE + R + \Delta H - P_p$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm)

PE = Precipitación efectiva en mm (no se consideró)

R = Riego (mm)

ΔH = Variación de humedad en el suelo

P_p = Percolación profunda (aquí el sistema fue impermeable).

Para el caso referido sistema Lisímetro NFC, la determinación de la ETc de kañiwa se realizó directamente por medio de las lecturas diarias del limnómetro ubicado en el tanque alimentador de agua (TA) durante todo el ciclo vegetativo (Anexo 5: Fig. 25).

▪ Sobre información meteorológica

A efectos de lograr resultados de precisión en el presente trabajo de investigación fue necesario contar con información actualizada de las principales variables meteorológicas como es la temperatura, humedad atmosférica, velocidad del viento, insolación solar y precipitación pluvial, los cuales se obtuvieron como información base de SENAMHI DZ 13, Puno (Serie histórica de 1997-2018) para una estimación por métodos indirectos del requerimiento de agua del cultivo de kañiwa en el ámbito de estudio. Los elementos meteorológicos que determinan la evapotranspiración de los cultivos son los componentes del tiempo que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante. Las principales variables meteorológicas que se han requerido se presentan en las Tablas del 6 al 11 (información base, Anexo 1).

En las Tablas 6 y 7 se muestran las temperaturas mínima y máxima promedio mensual respectivamente, y para su visualización de la T° mínima en la Figura 3, de las diferentes estaciones meteorológicas ubicados en las cuencas de Coata, Illpa y cuencas colindantes de apoyo de los meses de la campaña agrícola normal del cultivo de kañiwa. El valor promedio de T° mínima para las zonas estuvo alrededor de $2,5^{\circ}\text{C}$ y para la T° máxima de $16,5^{\circ}\text{C}$, para una serie histórica de 22 años (1997/2018). Aquí se deduce un gradiente de disminución de temperatura mínima de $1,24^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m de desnivel. Para las Estaciones de Santa Lucía y Pampahuta (Paratía), o sea en las partes altas de la zona Puna semihúmeda se registra las temperaturas más bajas siendo los promedios para el período vegetativo del cultivo de $-3,5$ y $-5,4^{\circ}\text{C}$ respectivamente, lo que limitaría en el establecimiento y desarrollo adecuado del citado cultivo.

Para una campaña agrícola normal el mes de octubre es el de menor temperatura baja ($0,3^{\circ}\text{C}$), temporada en el que se inicia la siembra del cultivo de kañiwa en

algunas localidades de acuerdo a las precipitaciones pluviales que se presentan. Una vez establecido el cultivo, luego es muy resistente al frío, soportando temperaturas de hasta $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la ramificación; por otro lado, puede soportar hasta $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, si cuenta con la humedad necesaria en la zona de raíces (en las cuencas Coata e Illpa el mes más cálido es noviembre con $18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de promedio (Tabla 7). En cuanto a la oscilación de temperatura que se da durante el período vegetativo del cultivo de kañiwa en el altiplano, al respecto no hay mayor perjuicio (Velasquez, 2018).

Tabla 6

Temperaturas mínima promedio mensual ($^{\circ}\text{C}$) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata, Illpa, Puno (1997-2018)

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom.
Estación M.							PV (*)
Lampa	0,5	1,0	3,0	4,3	4,6	3,9	2,9
Chuquibam.	-1,2	-0,4	1,6	2,6	3,3	2,5	1,4
Puno	4,0	4,9	5,7	5,9	6,0	5,6	5,4
Santa Lucía	-3,5	-1,8	1,2	2,4	2,9	1,8	0,5
Pampahuta	-5,4	-4,2	-1,4	0,1	0,4	-0,3	-1,8
Pucará	0,9	1,7	3,2	4,2	4,6	3,6	3,0
Cabanillas	3,5	4,1	4,6	5,0	5,1	4,7	4,5
Mañazo	1,9	2,8	3,9	4,3	4,4	3,7	3,5
Capachica	2,4	3,1	4,2	5,2	5,2	4,6	4,1
Laraqueri	-0,9	0,2	1,5	2,5	2,6	1,9	1,3
Llally	0,8	1,2	2,8	3,8	4,0	3,3	2,7
Ayaviri	-0,2	1,1	2,2	3,0	3,0	2,7	2,0
Juliaca	0,5	1,2	2,6	3,7	4,2	3,3	2,6
Prom.Ccas	0,3	1,1	2,7	3,6	3,9	3,2	2,5

Fuente: SENAMHI DZ 13, Puno; (*) PV: Período vegetativo del cultivo

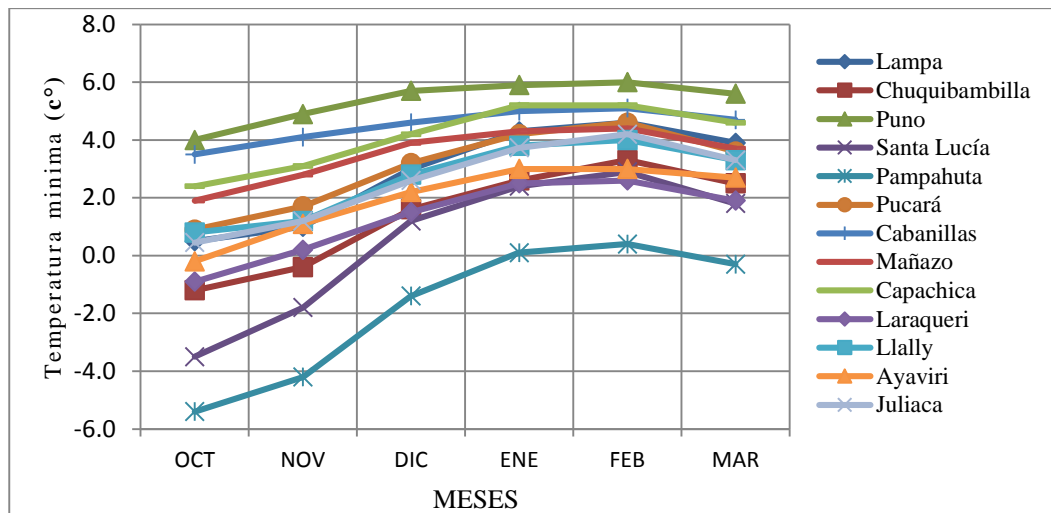


Figura 3. Temperatura mín. promedio mensual en estaciones de las cuencas Coata, Illpa

Tabla 7

Temperatura máxima promedio mensual (°C) - promedio multianual; en estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom.
Estación M.							PV
Lampa	18,2	19,0	18,0	16,3	16,2	16,2	17,3
Chuquibambilla	17,5	17,8	16,5	15,0	15,2	15,4	16,2
Puno	17,3	18,0	17,3	16,1	15,7	15,7	16,7
Santa Lucía	18,2	18,7	17,1	15,7	15,4	15,7	16,8
Pampahuta	15,1	15,6	14,8	13,4	13,2	13,5	14,2
Pucará	18,4	18,9	17,8	16,4	16,2	16,5	17,4
Cabanillas	18,1	18,7	17,6	16,3	16,0	16,2	17,2
Mañazo	18,2	18,8	17,7	16,0	15,6	15,9	17,0
Capachica	15,7	16,3	15,6	14,5	14,4	14,7	15,2
Laraqueri	17,8	18,3	17,2	15,5	15,2	15,4	16,6
Llally	18,2	18,4	17,1	15,7	15,6	15,8	16,8
Ayaviri	17,4	17,5	16,6	15,5	15,5	15,5	16,3
Juliaca	17,9	18,5	18,1	16,7	16,2	16,5	17,3
Prom.Ccas:	17,5	18,0	17,0	15,6	15,4	15,6	16,5

Fuente: SENAMHI DZ 13, Puno (2020)

Tabla 8

Humedad relativa promedio mensual (%) - promedio multianual campaña agrícola; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom.
Estación M.							PV
Lampa	53,0	53,0	56,0	68,0	70,0	70,0	61,7
Chuquibambilla	59,0	60,4	66,8	71,3	71,2	72,4	66,9
Puno	55,0	52,7	62,1	69,0	70,3	69,1	63,0
Santa Lucía	60,8	62,5	68,3	71,8	71,4	72,8	67,9
Pampahuta	53,9	55,2	63,5	71,0	72,6	67,9	64,0
Pucará	61,8	60,8	64,1	68,5	67,7	69,4	65,4
Cabanillas	46,4	48,1	58,7	65,7	69,3	67,2	59,2
Mañazo	44,9	48,6	59,8	67,4	70,5	70,5	60,3
Capachica	55,8	57,0	62,8	70,0	68,7	69,1	63,9
Laraqueri	46,9	48,6	59,8	67,4	70,5	70,5	60,6
Llally	59,0	60,4	66,8	71,3	71,2	72,4	66,9
Ayaviri	58,0	59,4	65,8	70,3	70,2	71,4	65,9
Juliaca	44,0	48,0	55,0	64,7	68,3	66,2	57,7
Prom.Ccas	53,7	55,0	62,3	69,0	70,1	69,9	63,3

Fuente: SENAMHI DZ 13, Puno (2020)

De acuerdo a la Tabla 8 para una campaña agrícola normal del cultivo de kañiwa en las cuencas en estudio, los valores de humedad relativa están alrededor de 63,3 %, presentándose en lo temporal (variación en el tiempo) valores menores durante los meses de octubre y noviembre de 54 y 55 % respectivamente, lo que implicaría una necesidad de riego complementario en el cultivo por su mayor poder evaporante. En lo espacial se observa que en las estaciones ubicadas en las partes altas de las cuencas (Santa Lucía, Chuquibambilla) registran mayores valores con respecto a las estaciones ubicadas en la parte media “Suní altiplánica” (Juliaca, Cabanillas ..) por la variación de tensiones de vapor actual con respecto al de saturación.

En la Tabla 9, se presenta información sobre la velocidad del viento media mensual ($m s^{-1}$) que se produce en las diferentes estaciones meteorológicas de las cuencas de Coata e Illpa, donde los valores promedio están alrededor de $2,5 m s^{-1}$ durante el período vegetativo del cultivo de kañiwa. En lo estacional las mayores

velocidades del viento se presentan durante el mes de octubre ($2,7 \text{ m s}^{-1}$) valor de menor significación en la influencia del desarrollo normal del cultivo, quizá influya en el incremento de la evapotranspiración. En lo espacial en estaciones ubicadas a mayor altura de las zonas Puna (Santa Lucía, Llally..) se presentan vientos de mayor velocidad (alrededor de 3 m s^{-1}), sin afectar al cultivo por la fricción con la superficie terrestre por parte de estos vientos.

Tabla 9

Velocidad de viento promedio mensual (m s^{-1}) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom.
Estación M.							PV
Lampa	2,4	2,3	2,4	2,2	2,2	2,0	2,3
Chuquibambilla	3,4	3,4	3,4	3,2	3,0	3,0	3,2
Puno	2,2	2,2	2,3	2,1	2,1	2,0	2,2
Santa Lucía	3,0	2,9	2,8	2,7	2,9	2,9	2,9
Pampahuta	2,3	2,3	2,2	2,0	2,1	2,0	2,1
Pucará	2,4	2,3	2,4	2,2	2,2	2,0	2,3
Cabanillas	2,3	2,3	2,0	1,6	1,5	1,6	1,9
Mañazo	2,2	2,1	1,9	1,5	1,6	1,5	1,8
Capachica	3,0	3,0	3,1	2,8	2,7	2,5	2,8
Laraqueri	2,4	2,3	2,4	2,2	2,2	2,0	2,3
Llally	3,4	3,4	3,4	3,2	3,0	3,0	3,2
Ayaviri	3,4	3,4	3,4	3,2	3,0	3,0	3,2
Juliaca	2,5	2,6	2,3	2,1	1,7	1,7	2,2
Prom.Ccas:	2,7	2,6	2,6	2,4	2,3	2,2	2,5

Fuente: SENAMHI DZ 13, Puno (2020)

Es importante resaltar que en condiciones húmedas (enero, febrero), el viento puede sustituir el aire saturado solamente por aire levemente menos saturado y así reducir la energía térmica. Por tanto, bajo condiciones húmedas la velocidad del viento afecta a la evapotranspiración en un grado mucho menos importante que bajo climas áridos en los que variaciones pequeñas en la velocidad del viento pueden dar lugar a importantes variaciones en la evapotranspiración (Allen *et al.*, 2006). En las cuencas de la región del altiplano el caso es probable con énfasis en las zonas Suni y Puna.

Tabla 10

Insolación solar promedio mensual (hr-sol) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom.
Estación M.							PV
Lampa	8,8	8,9	7,7	5,9	5,7	6,3	7,2
Chuquibambilla	7,9	7,9	5,7	4,8	4,9	6,0	6,2
Puno	8,6	8,8	7,8	5,9	6,0	7,0	7,4
Santa Lucía (+)	8,1	8,2	7,2	5,9	5,9	6,1	6,9
Pampahuta (+)	7,7	7,6	6,5	5,3	5,8	5,6	6,4
Pucará	7,9	7,9	6,0	5,8	6,1	7,1	6,8
Cabanillas (+)	8,6	8,8	7,6	6,1	5,9	6,8	7,3
Mañazo (+)	8,3	8,5	7,5	6,2	6,0	6,5	7,2
Capachica (+)	8,6	8,8	7,8	5,9	6,0	7,0	7,4
Laraqueri (+)	8,1	8,1	7,1	5,8	5,9	6,0	6,8
Llally (+)	8,2	8,0	7,4	5,3	5,1	6,1	6,7
Ayaviri (+)	8,1	7,9	6,2	5,0	5,1	6,2	6,4
Juliaca	8,8	8,8	7,8	6,4	6,3	6,5	7,4
Prom.Ccas:	8,3	8,3	7,1	5,7	5,7	6,4	6,9

Fuente: SENAMHI DZ 13, Puno (2020); (+) por regresión

En cuanto a la influencia de la radiación solar en el proceso de evapotranspiración de los cultivos Allen *et al.* (2006) señalan, que la radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización (altitud, latitud,..) y época del año. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud, altitud y para las diversas estaciones del año. La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmosfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación.

En la Tabla 10, se muestran los valores de horas-sol que se obtuvieron sólo en cinco estaciones meteorológicas de las cuencas de Coata, Illpa y de apoyo; para los restantes fueron completados vía tratamiento estadístico de regresión con

altitud (Allen *et al.*, 2006). Al respecto Grossi y Righini (2002), mencionan que “en variadas circunstancias y a fin de salvar este inconveniente existe reportes de investigación de la dependencia de la heliofanía efectiva con la altura (msnm) sino es para todos los meses del año con efectividad, obteniéndose las pendientes y las ordenadas de confiabilidad al origen de la recta de correlación para los meses analizados en Argentina”. Así, en el ámbito de estudio realizado para los meses de la campaña agrícola de kañiwa los resultados fueron aceptables al menos a efectos de estimar la evapotranspiración de referencia de los cultivos.

El valor promedio para la campaña agrícola fue de 6,9 horas-sol, siendo el mayor valor para los meses de octubre y noviembre (8,3 horas-sol); lo que confirma que se presentaría una mayor evapotranspiración necesitándose implementar y/o operativizar una agricultura de riego tecnificado complementario por el exiguo o la no ocurrencia de las precipitaciones en las zonas en referencia.

El régimen de las precipitaciones pluviales en las cuencas como es Coata e Illpa reviste gran importancia por cuanto casi toda la producción agrícola en sus zonas agroecológicas en la actualidad es bajo secano; es decir dependiente de las lluvias. En la Tabla 11, y en la Figura 4 se muestran la variación de valores promedio en lo estacional y espacial, siendo la precipitación total promedio anual de 742,5 mm de lámina hídrica, en tanto para los meses de la campaña agrícola es de 649,1 mm (87,4 % del anual). El valor indicado aparentemente cubriría la demanda; sin embargo, la distribución irregular nunca es acorde a las necesidades de las fases fenológicas de los cultivos, así en los meses de octubre y noviembre se presentan los menores valores (47,6 y 54,5 mm respectivamente) siendo meses de siembra de los cultivos de granos andinos, de ahí la necesidad de funcionalidad de las irrigaciones.

Tabla 11

Precipitación pluvial promedio mensual (mm mes⁻¹) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno (1997-2018)

Mes Estación M.	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Acum- PV(*) (mm)
Lampa	52,8	55,2	128,1	151,0	145,9	120,7	653,7
Chuquibambilla	49,9	66,3	129,3	159,2	146,2	130,2	681,1
Puno	49,6	44,1	93,8	172,7	162,2	130,4	652,8
Santa Lucía	38,8	52,0	134,3	170,8	152,5	117,4	665,8
Pampahuta	43,9	58,6	129,7	178,3	182,4	135,4	728,2
Pucará	57,0	56,1	116,2	140,0	131,8	117,7	618,9
Cabanillas	48,5	59,7	113,8	145,7	145,4	104,3	617,5
Mañazo	34,2	48,9	98,9	153,5	146,3	103,9	585,7
Capachica	48,5	44,1	103,5	170,2	149,7	132,3	648,3
Laraqueri	31,2	45,3	112,5	180,5	181,3	109,8	660,6
Llally	53,0	56,2	139,2	176,4	163,1	142,4	730,3
Ayaviri	68,2	83,4	106,1	166,7	128,8	113,7	666,9
Juliaca	43,6	39,1	62,8	153,0	137,5	92,2	528,2
Prom.Ccas:	47,6	54,5	112,9	162,9	151,8	119,3	649,1

Fuente: SENAMHI, Puno (2020); (*) Acum-PV: pp acumulado meses PV del cultivo

Aquí, resalta la notoriedad del parámetro altitud sobre su influencia de manera directa en la mayor ocurrencia de las precipitaciones, probable por la alta radiación, mayores vientos y humedad relativa que coadyuvan en la formación permanente de nubes y/o transferencia de masa de aire de las cordilleras húmedas del norte de la región. En lo espacial, las zonas Puna semihúmeda y alto andinas son donde se presentan mayores precipitaciones (Pampahuta, Llally..), y los menores en las condiciones de zona media “Suní altiplánica” (Juliaca, Mañazo..) donde la incorporación del agua a la zona de raíces del suelo es función directa de la precipitación efectiva, que puede o no satisfacer el requerimiento del agua de kañiwa. En todo caso, en los meses húmedos (Ene-Mar) la práctica de la cosecha de agua a todo nivel es urgente para aprovechar luego en forma de agua azul (en irrigaciones y otros usos).

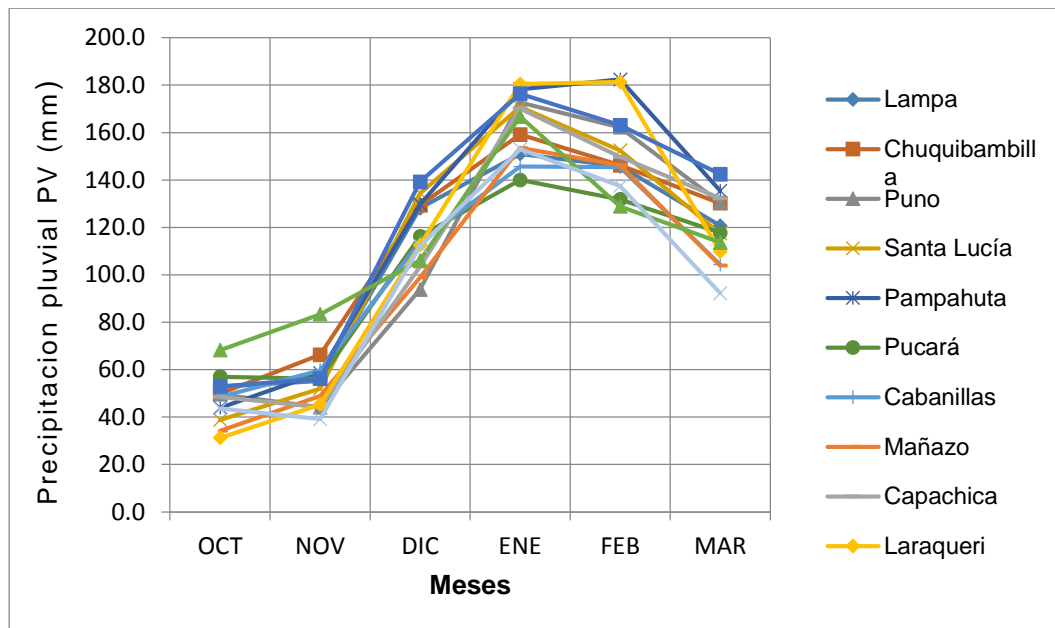


Figura 4. Precipitación pluvial promedio mensual campaña agrícola (mm mes^{-1}) - promedio multianual; estaciones de las cuencas Coata e Illpa

- **Zonas agroecológicas**

A efectos de la cuantificación de huella hídrica del cultivo de kañiwa en las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas de Coata, Illpa y cuencas colindantes motivo del presente trabajo de investigación, se ha considerado la propuesta de Dr. Tapia (2013) basado en la Tesis de Pulgar (1987). “En el país, un primer nivel macro de clasificación se diferencian las subregiones Norte, Central, Centro Sur, de Vertiente occidental con orientación hacia el Océano Pacífico, de Vertiente oriental al este, dando inicio a la Selva, y la subregión del Altiplano alrededor del lago Titicaca”.

Las zonas agroecológicas (ZAE) propuesta para los ecosistemas alto andinos (para el Altiplano-Puno esta mostrado en la Tabla 12), presentan diferentes índices potenciales de productividad, influenciados por condiciones como la modificación de la fertilidad de los suelos, el tipo y distribución de la pendiente, capacidad de los suelos de retención de la humedad, así como las condiciones micro climáticas que ocurren en las propias zonas agroecológicas en espacios reducidos, que son las zonas homogéneas de producción (ZHP), única manera de diferenciar y comprender la diversidad y evaluar el potencial productivo alto andino. Para el caso, el cultivo de kañiwa.

De acuerdo con Tapia (2013), Apaza *et al.* (2020), en cada una de las subregiones como es el altiplano-Puno, se distinguen las diferentes zonas agroecológicas según la altitud, exposición y el índice de precipitación, que determinará el uso de la tierra, el empleo de diferentes cultivos y variedades, tipo de crianzas así como especies forestales. El acceso al riego y tecnología empleada se consideran variables modificables que determinan las zonas homogéneas de producción, que son finalmente las unidades territoriales que manejan los agricultores andinos y que definen mejor los índices de productividad.

Tabla 12

Zonas agroecológicas y uso agropecuario en la subregión altiplano, Puno

Subregión / ZAE	Uso agropecuario (los principales)
Circunlacustre	Papa, tubérculos andinos, quinua, vacunos de engorde.
Suni altiplano	Pastizales, quinua, kañiwa, vacunos, ovinos.
Puna (semiárida, <u>semihúmeda</u>)	Pastizales, <u>vacunos, ovinos</u> , camélidos
Janca	Pastizales, camélidos.

Fuente: Tapia (2013)

Tapia (2013): El departamento de Puno está constituido por diversas zonas agroecológicas (ZAE): Circunlacustre, Suni altiplánica, Puna, Janca, Selva Alta y Selva Baja.

La ZAE Circunlacustre, es una extensión aledaña al Lago Titicaca, con altitudes que oscilan entre los 3812 hasta los 3900 msnm. La precipitación pluvial (pp) total promedio anual oscila entre 650 y 750 mm y la temperatura promedio anual entre 1°C a 15°C. Aquí prosperan cultivos de pan llevar (cultivos andinos, hortalizas, gramíneas forrajeras y pastos cultivados), y crianzas como vacunos, ovinos y animales menores.

La ZAE Suni altiplánica. Su altitud varía desde los 3830 a los 4000 msnm entre los lados occidentales y oriental de ambas cordilleras, representa una topografía relativamente plana o medianamente accidentada; la T° promedio anual oscila entre 1°C y 16°C, con una pp total promedio anual de 600 a 850 mm. Se considera como una zona de mayor prosperidad para la ganadería, destacando las especies

vacunos y ovinos. La producción de cultivos andinos como (en Zonas Homogéneas de Producción: ZHP) papa amarga, kañiwa, forrajes y pastos cultivados es sin mayores limitaciones.

La zona agroecológica Puna (Húmeda y Seca): Su altitud varía desde los 3900 hasta los 4800 msnm. Se caracteriza por presentar relieve fisiográfico y una topografía muy accidentada y heterogénea. El clima reinante es frío y seco, con T° que oscilan de -16°C a 14°C y una precipitación total promedio anual oscilante entre 500 a 1000 mm. Las crías que se explotan son los camélidos, luego el ganado vacuno y ovino con restricciones. En las ZHP se cultivan: papa amarga, kañiwa y gramíneas forrajeras con limitaciones.

Considerando los análisis expuestas, en la Tabla 13 está mostrado las diferentes zonas de producción diferenciados en bloques (conjunto de distritos) para el cultivo de kañiwa en las cuencas de Coata, Illpa y cuencas de apoyo en función estricta a la mayor cantidad de superficie de cultivo, altitud (msnm), y clima (T° y pp) principalmente. Así para el presente trabajo, las Zonas Agroecológicas I, II y III son Circunlacustre, Suni-altiplano, y Puna semihúmeda, respectivamente.

La identificación y delimitación cartográfica de las zonas agroecológicas por cuencas, ayuda a administrar los sistemas sociales y sus procesos productivos. Además, permite planificar espacios heterogéneos para investigar, hacer labor de extensión, proyección social, planificación de cultivos y crías (Vejarano y Morales, 2007), y que el desempeño de los componentes agrarios sea más eficiente; por lo que se recomienda en el futuro realizar estudios en todo el ámbito de la subregión ALTIPLANO estudios de zonificación agroecológica con mayor rigurosidad.

- **Método Lisímetro**

Para determinar la evapotranspiración del cultivo de kañiwa a nivel experimental, se utilizó el lisímetro del tipo nivel freático constante (LNFC), conformado por tres tanques de hierro galvanizado: tanque alimentador (TA), tanque controlador del nivel freático (TCNF) y el tanque de cultivo (TC), que presenta dimensiones de 1.2 m de lado y una profundidad de 1,1 m. El tanque alimentador y el tanque de control fueron de dimensiones menores siendo estas de 0,25 * 0,40 * 0,50 m (Anexo 5: Fig. 25). Además, en el campo experimental se dispuso de un techo

móvil de agrofilm (250 micras), con el propósito de proteger de las precipitaciones pluviales para que ésta no se considere en el balance hídrico del sistema lisímetro.

Se señala también, que para la determinación del requerimiento de agua para el cultivo (RACa) fue considerado como agua azul, por la conducción del sistema de cultivo en toda la campaña agrícola bajo riego.

3.5.2 Para alcanzar el objetivo 2: “Precisar el rendimiento del cultivo de kañiwa”, se puntualiza:

Materiales e instrumentos:

- Registro de producción del cultivo de kañiwa de los distritos y provincias de las cuencas Coata e Illpa: Serie histórica 1997/2018 obtenido de Dirección Regional Agraria, Puno (DRA-Puno, 2019); e informes de investigación sobre granos andinos de UNA (2019).
- Equipo de gravimetría y de medición de superficie de DRA-P y FCA-UNA.
- Equipo de cómputo y Software: Excel, Hydroesta, SPSS.
- Equipo de Lisimetría NFC instalado en CIP-ILLPA.

Método

La obtención y análisis de informaciones del rendimiento del cultivo en unidad por superficie fue a nivel distrital de la DRA-Puno principalmente, de una serie histórica de 22 años (campañas agrícolas de 1996/97 a 2017/2018), en el escenario de las diferentes zonas agroecológicas elegidas (Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda) para ver la variación y tendencias a ocurrir en las cuencas hidrográficas de Coata, Illpa y cuencas colindantes (Pucará, Azángaro, e intercuencas). La cantidad de años ha sido coincidente con la de variables climáticas en la obtención de evapotranspiración del cultivo, a efectos de realizar las correlaciones correspondientes.

La variación del rendimiento en el cultivo de kañiwa es influido por sus características genéticas de productividad potencial, rusticidad y de las condiciones ambientales. La interacción de estos tres aspectos principales determina el rendimiento del cultivo en las zonas, y por esta razón, el rendimiento

tiene una variabilidad alta en el tiempo y en el espacio. Así, por ejemplo, una misma variedad o ecotipo aporta rendimientos diferentes de una zona agroecológica a la otra al variar las condiciones climáticas, aunque los demás factores ambientales sean iguales. Al suponer condiciones climáticas iguales algún tiempo, el rendimiento puede variar de acuerdo con las características del suelo (Callohuanca *et al.*, 2019).

- Sobre especie cultivado

Para el cultivo de kañiwa a nivel experimental, es decir Lisimetría en CIP-ILLPA la variedad instalada fue “INIA-406-ILLPA”, con hábito de crecimiento Saihua, que se obtuvo tal variedad por el método de mejoramiento, selección panoja-surco a partir de la línea poligénica-1 (LP-1). Su aceptación comercial es muy buena, con rendimientos promedio de 2800 kg ha⁻¹, periodo vegetativo de 140 días, y las demás características morfológicas esta mostrado en la Tabla 14.

El departamento de Puno siempre ha sido el primer productor de kañiwa en el Perú, dentro de ella las provincias más productoras en orden de importancia en hectáreas cosechadas son: Azángaro, Chucuito, Lampa, San Román y Puno según DRA-Puno (2019). A efectos del trabajo de investigación en referencia, se expone como se muestra en la Tabla 14, los principales ecotipos y variedades cultivados en las zonas de mayor potencial de producción específicamente en las cuencas de Coata, Illpa y cuencas de apoyo en sus diferentes zonas agroecológicas.

Tabla 13

Distritos con cultivo de kañiwa en las zonas agroecológicas diferenciadas de la sub-región Altiplano-Puno; cuencas base: Coata e Illpa (1997-2018)

Distrito	Área cosechada	Altitud media	pp promed. anual	T°med Prom. anual	ZAE (*)
	(ha)	(msnm)	(mm)	(°C)	
Coata	21,8	3814			I
Puno	10,3	3827			I
Atuncolla	21,1	3831			I
Pusi	85,0	3835			I
Paucarcolla	19,9	3847			I
Huata	22,2	3848			I
Capachica	7,2	3860	752,6	8,9	I
Juliaca	142,5	3824			II
Caracoto	117,1	3825			II
Caminaca	100,9	3835			II
Calapuja	80,7	3843			II
Vilque	35,5	3860			II
Pucara	67,3	3860			II
Cabanilla	220,1	3876			II
Cabanillas	56,3	3885			II
Tiquillaca	23,9	3885			II
Lampa	311,3	3892			II
Mañazo	76,1	3926			II
Cabana	149,9	3901	669,9	8,8	II
Ayaviri	31,4	3907			III
Umachiri	38,1	3921			III
Pichacani	29,3	3975			III
Llalli	18,0	3980			III
Palca	25,3	4020			III
Santa lucia	23,5	4025	755,7	7,0	III

(*) ZAE: Zonas Agroecológicas; Área cosechada: I (11 %), II (75 %) y III (14 %)

Tabla 14

Características morfológicas de los ecotipos/variedades de cañiwa; cuencas Coata e Illpa, Puno

Nombre	Habito de crecimiento	Altura planta (m)	Periodo vegetativo (días)	Rdto (kg ha ⁻¹)	Color hojas	Color grano	φ grano (mm)	Grado dehiscencia
-Cabanilla Misturita	Lasta	0,45	150		Amarillo-Rojizo	Gris Suave	1,4	Regular
-Cabanilla Saihua Roja	Lasta	0,46	150		Púrpura	Negro	1,2	Regular
-Alto Catacha Lun-tusa Amarilla	Lasta	0,5	140		Amarillo claro	Gris Claro	1,3	Li gera
-Condor Saya	Saihua	0,5	150		Púrpura Pálido	Gris Claro	1,2	Regular
-Killu Churo	Saihua	0,5	140	780	Anaranjado Dorado	Anaranjado D.	1	Regular
-Naranjado Saihua kañawa	Saihua	0,46	150	800	Anaranjado Dorado	Canela	1	Regular
-Chupica Cunacatama	Lasta	0,46	160	900	Rosado claro Rojizo	Café	1,3	Regular
-Pacco Luntuza	Lasta	0,45	160		Verde Amarillento	Café	0,9	Regular
-Killu Wila kañawa	Saihua	0,4	140		Rojo Pajizo	Canela clar	1,1	Regular
-Ramis	Saihua	0,52			Púrpura Pálido	Gris oscuro	1,1	Li gera
-Cupi	Saihua	0,6			Púrpura Pálido	Café claro	1	Regular
-Illpa INIA 406 (*)	Saihua	0,6	140	3000	Anaranjado Dorado	Café claro	1,1	Li gera

Fuente: DRA-Puno; Cañiwa-Variabilidad Genética (2012); (*): Utilizado en el experimento de CIP-Illpa

Cabe exteriorizar, que en una gran mayoría de localidades el sistema de cultivo es tradicional y de “secano”. Así el pequeño y mediano productor maneja una mayor plasticidad en el cultivo con el uso de mezcla de ecotipos locales asegurando la producción para su consumo familiar y en segundo orden para su comercialización; es decir la producción es netamente primaria sin acceder aún a los procesos de transformación mayor (Callohuanca *et al.*, 2019). Se remarca que los datos históricos de producción sobre kañiwa fueron obtenidos principalmente de Dirección Regional Agraria, Puno (DRA-Puno, 2019).

3.5.3 Para el objetivo 3: “Cuantificar la huella hídrica del cultivo de kañiwa”

Materiales e instrumentos:

- Registro de resultados del procesado de evapotranspiración y requerimiento de agua del cultivo de kañiwa de las diferentes zonas agroecológicas de las Ccas Coata e Illpa, Puno (Anexo 2: T-49 ..).
- Registro de información de rendimiento del cultivo analizada en función al área a nivel distrital, y otras fuentes especializadas de la producción de kañiwa en las cuencas Coata e Illpa y de las cuencas de apoyo, Puno. (Anexo 3: T-52 ..)
- Equipo de cómputo, y software para el modelo de evaluación de HH agrícola optado (Cropwat 8,0; Excel, SPSS).

Método

Fue de acuerdo al manual de evaluación de la huella hídrica agropecuaria propuesto por Hoekstra *et al.* (2011). La huella hídrica verde se refiere al volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción (ecuación 1). Esto es particularmente relevante para los productos agrícolas de las zonas en estudio por ser de una agricultura de “secano” (sistema tradicional), por lo que:

$$WF_{Green} = CWU_{Green} / Y \quad (1)$$

Donde:

WF_{green} : huella hídrica verde ($L\ kg^{-1}$).

CWU : componente verde en el uso del agua ($L ha^{-1}$).

Y : rendimiento del cultivo ($kg ha^{-1}$).

En cambio, para la situación experimental de lisimetría (cultivo bajo riego subterráneo en CIP-ILLPA) está considerado como huella hídrica azul (ecuación 2), que hace referencia al uso consuntivo del agua de riego, proveniente de fuente de agua de origen subterráneo (manantial). Representa el volumen que ha sido efectivamente retirado del flujo de escorrentía total, por lo que muestra la "capacidad de apropiación del suministro", y por tanto sería la fracción evapotranspirada que ha sido cubierta por el agua de riego aplicada al cultivo.

$$WF_{blue} = CWU_{blue} / Y \quad (2)$$

Donde:

WF_{blue} : huella hídrica azul ($L kg^{-1}$).

CWU : componente azul en el uso del agua ($L ha^{-1}$).

Y : rendimiento del cultivo ($kg ha^{-1}$).

La principal variable analizada fue la huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano en las cuencas Coata e Illpa, Puno en sus diferentes zonas agroecológicas.

El uso de agua del cultivo depende de las necesidades hídricas del cultivo y del agua disponible en el suelo. Para el presente caso, el agua del suelo se repone de forma natural a través de la lluvia (sistema tradicional), y riego vía sistema lisímetro NFC (situación experimental). El requerimiento de agua para el cultivo equivale a la cantidad total de agua necesaria para la evapotranspiración en condiciones de crecimiento ideales entendidas por tales el mantenimiento de una humedad del suelo adecuada por las lluvias o riego de modo que ni el crecimiento de las plantas ni el rendimiento del cultivo se vean limitados (ANA-PERU-WWF., 2013).

Existen modelos para obtener las necesidades de agua de un cultivo establecido bajo circunstancias climáticas particulares. *El uso de agua real* del cultivo es igual

a las necesidades de agua del cultivo si el agua de lluvia es suficiente o si su escasez se compensa mediante irrigación (Hoekstra *et al.*, 2011).

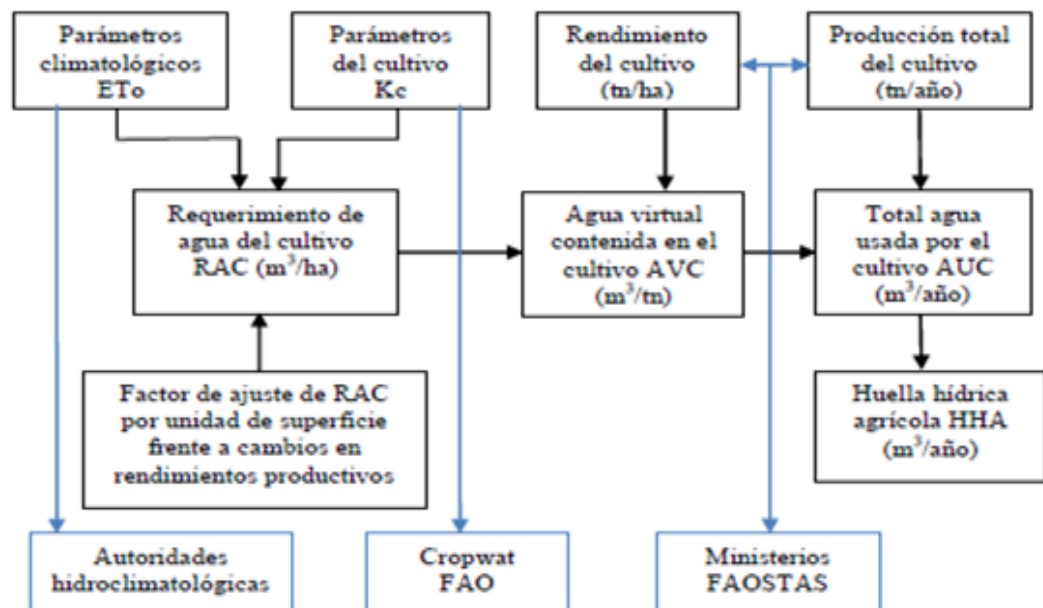


Figura 6. Esquema de estimación de la huella hídrica en la agricultura

Fuente: Hoekstra *et al.* (2011)

En la Figura 6, se presenta la secuencia a seguir de acuerdo al Manual de Evaluación de la huella hídrica propuesta por Hoekstra *et al.* (2011), definiendo como una norma global en la actualidad en el entendido que tales indicadores son de impacto en el uso del agua en la agricultura, y para los de la gestión del agua en la Región Puno es de necesidad diseñar políticas adecuadas para el uso eficiente del agua en los cultivos.

Tabla 15

Operacionalización de variables, huella hídrica del cultivo de kañiwa en las cuencas Coata e Illpa, Puno

Variables	Dimensión(es)	Indicador(es)	Índice(s)	Instrumento(s)
Evapotranspiración	Agua transferida a la	Cantidad de agua	.mm/d	Termómetro
	atmósfera por el cultivo	evapotranspirada	.mm/periodo vegetativo	Higrómetro, pluviómetro Heliómetro, Anemómetro (SENAMHD); Cropwat 8; Excel; Hidroesta.
Zona agroecológica	Circunlacustre			
	Suni Altiplano	Altitud, clima, cultivos	.msnm,	
	Zona Puna semihúmeda		.mm pp, T °C	FAO-MINAM (Tapia, 2013)
Rendimiento del cultivo	Grano (semilla)	Cantidad/superficie	kg ha ⁻¹	Balanza, Wincha (DRA-P) ; Excel, Hidroesta.
Huella hídrica	Escenarios propuestos	Cant.agua/Cant.semilla en	L kg ⁻¹ ; m ³ t ⁻¹	Hoekstra <i>et al.</i> (2011); Excel;
		ZAE	; m ³ kg ⁻¹	Hidroesta.

3.5.4 Análisis estadístico

Los tratamientos estadísticos para el trabajo de investigación fueron de acuerdo a los objetivos establecidos, siendo principalmente:

- Estadística descriptiva (prom., σ , CV) en la estimación de evapotranspiración de referencia en las estaciones meteorológicas, ETc, rendimiento del cultivo, y en la cuantificación de la huella hídrica.
- Estadística inferencial:
 - Análisis de regresión lineal (R^2 , R) en la validación de ETo entre los métodos Penman-Monteith y Hargreaves-Samani.
 - Prueba de bondad de ajuste de registro de datos hidrometeorológicos (Smirnov-Kolmogorov).
 - Prueba “t” ($\alpha=0,05$) en la comparación entre métodos de obtención de ETo, en la verificación de las hipótesis planteadas en ETc, Rendimientos del cultivo y huella hídrica en zonas agroecológicas.
 - ANOVA (F) en el comparativo de ETc entre fases fenológicas del cultivo y métodos de obtención de ETc, a un nivel de significancia de 5% de error ($\alpha=0,05$).
 - Regresión no lineal entre $HH=f(\text{altitud; Rdto., Precipitación efectiva; Sistemas de producción } (R^2, R)$.
- Los Programas Computacionales utilizados fueron:
 - ✓ Microsoft: Excel, Word, Power point
 - ✓ Hidroesta
 - ✓ Cropwat 8,0; SPSS
 - ✓ Minitab
 - ✓ Mendeley

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evapotranspiración del cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)

A saber, existen diferentes métodos para cuantificar la evapotranspiración de un cultivo: método directo (gravimetría), lisimetría, en función a informaciones meteorológicas, entre otros. El procedimiento convencional para la obtención de evapotranspiración del cultivo (ET_c) de acuerdo a datos meteorológicos es el siguiente (Serruto, 2017 ; Vásquez *et al.*, 2017):

- Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)
- Obtención del coeficiente del cultivo (K_c)
- Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c)

4.1.1 Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) por métodos indirectos.

4.1.1.1 Método FAO Penman-Monteith (ET_o P-M)

De acuerdo a la metodología expuesta en el ítem 3.5.1, y procesado los datos meteorológicos necesarios para la obtención de ET_o (evapotranspiración del cultivo de referencia); en la Tabla 16 está mostrado los resultados de la ET_o para los meses del período vegetativo (PV) del cultivo de kañiwa (mm día⁻¹) método FAO Penman-Monteith para las estaciones ubicadas en las cuencas de Coata, Illpa y cuencas colindantes, Puno.

El promedio para las cuencas en referencia es de 569 mm para la campaña agrícola, siendo un 44 % del anual (1293,2 mm). En lo temporal los meses extremos en ET_o fueron marzo y noviembre con 3,3 y 4,4 mm día⁻¹ respectivamente. En cambio, en lo espacial en la estación de Puno resultó el mayor valor (637,7 mm), y en el de Pampahuta con menor valor (492 mm).

Tales variaciones son atribuibles a los cambios de los términos energéticos y aerodinámicos climáticos de las zonas. En efecto, la variación de la evapotranspiración de referencia para las zonas agroecológicas fue de mayor a menor, siendo los valores de 628,4; 575,1 y 544,1 mm PV⁻¹ para las zonas agroecológicas de Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda respectivamente. A nivel Región hidrográfica del Titicaca referente a la ETo, Charaja (2017) obtuvo en promedio una ETo de 1263 mm anual, valor relativamente similar a lo obtenido.

Al respecto, Allen *et al.* (2006) considera que para la estimación de ETo, la localización geográfica como es la altitud de la zona (msnm), y su latitud (grados norte y sur) deben ser muy especificados. Así, Flores (2013) en su investigación concluye que para la región Puno un modelo no lineal de serie de Fourier de segundo orden relaciona la ETo con la latitud con R²=0,75. En tanto, para las condiciones de las cuencas de Coata e Illpa como una operación inicial se obtuvo relaciones entre ETo y altitud, obteniéndose una función potencial siguiente: ETo (mm anual⁻¹) = 637479 h^{-0,747}(msnm) (R=0,7), ecuación que sería útil para estimar la evapotranspiración de referencia de un lugar sin información en las zonas de Coata.

En la Figura 7, se aprecia la variación mensual de la ETo para el período vegetativo del cultivo de kañiwa en las zonas donde está ubicado las estaciones meteorológicas consideradas para la presente investigación; en lo cual se visualiza mejor las variaciones en el espacio-temporal del ámbito. En las localidades de la zona “Puna semihúmeda” (Pampahuta, Chuquibambilla,) se muestra que la ETo son menores en comparación con la de zona media “Suní altiplánica” (Juliaca, Lampa,..) donde en promedio la ETo está alrededor de 3,9 mm día⁻¹ lo que induce en el mayor requerimiento de agua en los cultivos andinos por ende en kañiwa para su normal desarrollo.

Tabla 16

Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹), método Penman-Monteith, estaciones de cuencas Coata e Illpa-Puno, campaña agrícola del cultivo de kañiwa

Estación M.	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom.	PV (mm)*
Capachica	4,1	4,4	4,1	3,5	3,5	3,4	3,8	619,2
Puno	4,2	4,5	4,2	3,6	3,5	3,5	3,9	637,7
Juliaca	4,5	4,7	4,3	3,8	3,6	3,4	4,1	598,4
Pucará	4,0	4,2	3,8	3,5	3,5	3,5	3,8	560,6
Cabanillas	4,5	4,7	4,2	3,7	3,5	3,5	4,0	589,1
Lampa	3,9	4,1	3,9	3,6	3,5	3,3	3,7	551,9
Mañazo	4,4	4,6	4,1	3,6	3,4	3,3	3,9	575,7
Ayaviri	4,2	4,3	3,8	3,4	3,4	3,3	3,7	550,1
Chuquibam.	4,2	4,3	3,7	3,3	3,3	3,3	3,7	539,2
Laraqueri	4,4	4,5	4,1	3,6	3,4	3,2	3,9	567,2
Llally	4,3	4,4	4,0	3,5	3,4	3,3	3,8	562,7
Pampahuta	3,6	3,8	3,5	3,1	3,1	2,9	3,3	492,0
Santa Lucía	4,2	4,3	3,9	3,5	3,4	3,3	3,7	553,1
Prom.Mes Cca	4,2	4,4	4,0	3,5	3,4	3,3	3,8	569,0

(*): Período vegetativo del cultivo

Al respecto, en el altiplano peruano la evapotranspiración de referencia es una variable que depende fundamentalmente de los elementos del clima como: temperatura, radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa y presión atmosférica; también depende de los factores geográficos como: posición geográfica, relieve, distancias a masas de agua y dirección de los vientos (Flores, 2013).

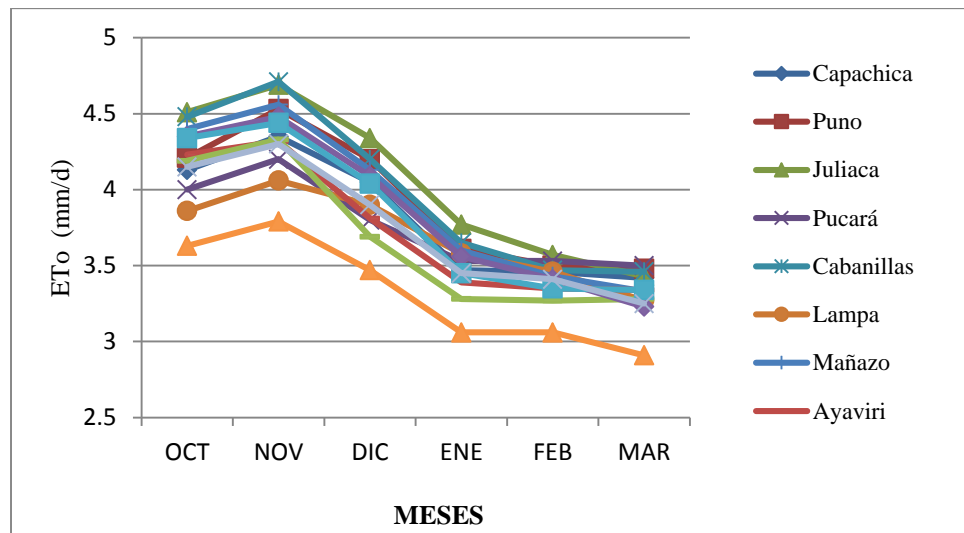


Figura 7. Variación mensual de ETo mét. Penman-Monteith, Est. Ccas Coata, Illpa.

4.1.1.2 Evapotranspiración de referencia, método de Hargreaves-Samani (ETo H-S)

De acuerdo al método de Hargreaves-Samani para el estimado de la evapotranspiración de referencia (ETo) en las estaciones de las cuencas Coata e Illpa, los resultados están mostrados en la Tabla 17, donde el promedio para la campaña agrícola es de 575.2 mm de lámina de agua, relativamente similar a lo obtenido por la ecuación de FAO Penman-Monteith (569 mm). Para el caso (H-S), la ETo del período vegetativo es de un 46,3 % con respecto al valor anual (1242,4 mm). De acuerdo con Salazar *et al.* (2007), los resultados logrados son relativamente de confiabilidad ya que la fórmula de ETo H-S considerado como el método más simple y práctico, llegan a decir que “no existe evidencia de que haya otro método indirecto mejor” cuando se alude a un reporte para subcuencas de Cabanillas y Lampa un promedio de ETo de 1236 mm año⁻¹.

Tabla 17

Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹; mm pv⁻¹), método Hargreaves-Samani para estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno

Estación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom.	PV (mm)
Capachica	3,5	3,8	3,6	3,7	3,2	3,1	3,48	567,4
Puno	3,8	4,1	3,9	3,6	3,4	3,2	3,67	597,5
Juliaca	4,1	4,4	4,3	3,9	3,7	3,5	3,98	598,3
Pucará	4,2	4,4	4,1	3,8	3,6	3,5	3,93	586,2
Cabanillas	4	4,3	4	3,7	3,5	3,4	3,82	571,1
Lampa	4,2	4,5	4,2	3,8	3,6	3,4	3,95	589,2
Mañazo	4,1	4,4	4,1	3,7	3,5	3,4	3,87	577,2
Ayaviri	4,4	4,5	4	3,4	3,4	3,3	3,83	561,9
Chuquibambilla	4,1	4,3	4	3,6	3,5	3,4	3,82	568,0
Laraqueri	4,1	4,4	4,2	3,8	3,6	3,4	3,92	586,2
Llally	4,1	4,3	4	3,7	3,5	3,4	3,83	571,1
Pampahuta	3,6	3,9	3,6	3,2	3,1	3	3,40	507,6
Santa Lucía	4,3	4,6	4,2	3,8	3,6	3,5	4,00	595,3
Prom.Mes Cca	4,04	4,30	4,02	3,67	3,48	3,35	3,81	575,2

En la distribución espacial a nivel zonas, la variación de los valores fueron de 507,6 (Pampahuta) a 597,5 mm (Puno), el valor menor es probable a la influencia de los factores geográficos y elementos climáticos adversos que siempre se manifiesta en las partes altas de la subregión altiplano durante la campaña agrícola. En lo temporal el menor valor de la ETo fue para el mes de marzo (3,35 mm día⁻¹) y el valor mayor para el mes de noviembre (4,3 mm día⁻¹), valías similares a lo obtenido por el método recomendado por la FAO, Penman-Monteith.

En las cuencas ámbito de estudio del presente trabajo, durante los meses de octubre y noviembre con frecuencia ocurren la presentación de los “veranillos” (Δ de T° y Hr-sol), en especial en las zonas Circunlacustre y Suni altiplánica, lo que causa el incremento de la ETo donde prima el término energético (Ra y T°) en el período mencionado.

En la Figura 8, se visualiza mejor la variación de la evapotranspiración del cultivo de referencia para la campaña agrícola de kañiwa, en función a la

metodología de Hargreaves-Samani, tanto a nivel de estaciones meteorológicas como a nivel mensual de las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas de Coata, Illpa y cuencas de apoyo. Más adelante se realizará una comparación de resultados de la ETo haciendo una prueba “t” de los dos métodos en función a informaciones meteorológicas considerados.

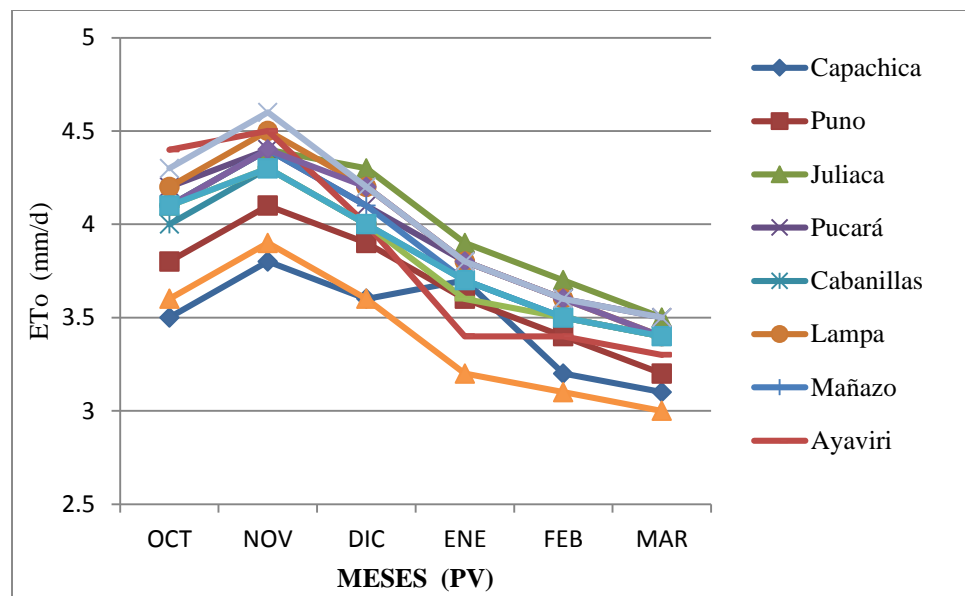


Figura 8. Evapotranspiración de referencia método Hargreaves-Samani, estaciones de las cuencas Coata, Illpa

Para el altiplano de Puno, en el trabajo de Modelación de la evapotranspiración potencial en función del rango de temperatura, aplicando la estimación de parámetros de regresión por máxima verosimilitud bajo tres modelos Flores *et al.* (2015) en uno de sus conclusiones indica, que en la región homogénea 2 (condiciones de Lampa) se recomienda el uso del método de Hargreaves-Samani. Es más, todas las estaciones en la región siempre presentan informaciones de temperatura; por lo que estudios de modelamientos y su validación vía evapotranspirómetro es de importancia para las condiciones de Puno.

En efecto, realizado la prueba “t” en la comparación de medias en la estimación de ETo por los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani para las cuencas de Coata e Illpa estadísticamente son similares ($t_c=0,79$; $t_t=2,2$) ($\alpha=0,05$) con un $R=0,64$ (grado de asociación buena); por lo que para el ámbito del presente estudio en el cálculo de ETo ambos métodos presentan un validez confiable; sin embargo, el uso con prioridad

debe ser el método FAO Penman-Monteith. Se manifiesta, que como resultado de una consulta de expertos realizada en 1990, el método de FAO Penman-Monteith en la actualidad se recomienda como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia (Allen *et al.*, 2006).

4.1.1.3 Regresión lineal entre métodos de cálculo de evapotranspiración de referencia (ET_o): Penman-Monteith y Hargreaves-Samani

Con el propósito de reforzar el comparativo de los datos obtenidos de ET_o por diferentes métodos, fue necesario regresionar valores para cada estación meteorológica. En efecto, en la Tabla 18 se observa los resultados de la regresión lineal, donde la variable independiente y dependiente fueron los métodos de Hargreaves-Samani y Penman-Monteith respectivamente.

El grado de correlación entre los métodos mencionados fue en promedio de 91 %, un nivel de significación alta (Villón, 2016); luego, la explicación base que reporta el método de Hargreaves-Samani hacia Penman-Monteith es de 0,82; valor de mucha confiabilidad entre los métodos. El valor mayor fue para la estación Pucará (R=0,97) y el menor para Chuquibambilla (R=0,82), por lo que para el trabajo, el uso de la ecuación de Penman-Monteith en adelante es de confiabilidad para las condiciones de las cuencas de Coata e Illpa, por tratarse de un método estándar para el cálculo de la evapotranspiración de referencia basado en información meteorológica.

Flores (2013) en su investigación, en uno de sus conclusiones para la región de Puno señala, que la Evapotranspiración Potencial en función al Tanque de evaporación no se relaciona linealmente con lo obtenido por Penman-Monteith, pero sí con la de Hargreaves-Samani. Así mismo se reporta que el método recomendado por FAO, es el que mejor desempeño tiene en diferentes escalas de tiempo (Vasquez *et al.*, 2017); lo que fortalece la decisión de estimar y aplicar en la subregión los resultados de la ET_o con el método recomendado por FAO.

Tabla 18

Ecuaciones de regresión lineal y r² entre métodos de evapotranspiración de referencia en estaciones de las cuencas Coata e Illpa (1997-2018)

Est.Meteorológ	Variables Dep-Indep.	Ecuación	R ²	R
Lampa	PM-HS	$y = 0,877x + 0,5638$	R ² = 0,9158	0,96
Chuquibambilla	PM-HS	$y = 0,6001x + 1,4872$	R ² = 0,6682	0,82
Puno	PM-HS	$y = 0,9768x + 0,4287$	R ² = 0,9266	0,96
Santa Lucía	PM-HS	$y = 0,5709x + 1,5923$	R ² = 0,8149	0,9
Pampahuta	PM-HS	$y = 0,6876x + 1,1317$	R ² = 0,8683	0,93
Pucará	PM-HS	$y = 0,7485x + 0,8938$	R ² = 0,9346	0,97
Cabanillas	PM-HS	$y = 0,7797x + 1,1338$	R ² = 0,7399	0,86
Mañazo	PM-HS	$y = 0,8829x + 0,5837$	R ² = 0,8980	0,95
Capachica	PM-HS	$y = 0,9362x + 0,5887$	R ² = 0,7991	0,89
Laraqueri	PM-HS	$y = 0,7885x + 0,8457$	R ² = 0,8582	0,93
Llally	PM-HS	$y = 0,7675x + 0,9771$	R ² = 0,8131	0,9
Ayaviri	PM-HS	$y = 0,6203x + 1,4483$	R ² = 0,7014	0,84
Juliaca	PM-HS	$y = 0,7134x + 1,3038$	R ² = 0,7184	0,85

En la Tabla 19 y en la Figura 9, se presentan los resultados obtenidos de la ETo promedio mensual y anual calculados por los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani para las estaciones integrantes de las cuencas de Coata, Illpa y cuencas vecinas de apoyo, donde en lo temporal la ETo para ambos métodos los valores menores se observan para el mes de junio (3,0 y 2,6 mm día⁻¹) y valores mayores para el mes de noviembre (4,4 y 4,3 mm día⁻¹). Las diferencias mínimas se le imputa a la consideración no igual de factores geográficos y climáticos principalmente en su metodología. Así, para la sub-región (cuencas consideradas) el promedio de la ETo con la ecuación de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani es de 3,5 y 3,4 mm día⁻¹ respectivamente, con valores anuales de 1293 mm para con

el primer método y 1242,4 mm de lámina de agua para con el segundo método considerado.

Tabla 19

Evapotranspiración de referencia promedio mensual (mm día^{-1}) y anual (mm) calculado por diferentes métodos, estaciones de las cuencas Coata e Illpa, Puno.

Mét. ETo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.	Anual
P-M	3,5	3,4	3,3	3,2	3,2	3,0	3,1	3,5	3,9	4,2	4,4	4,0	3,5	1293,2
H-S	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	2,7	3,1	3,6	4,0	4,3	4,0	3,4	1242,4

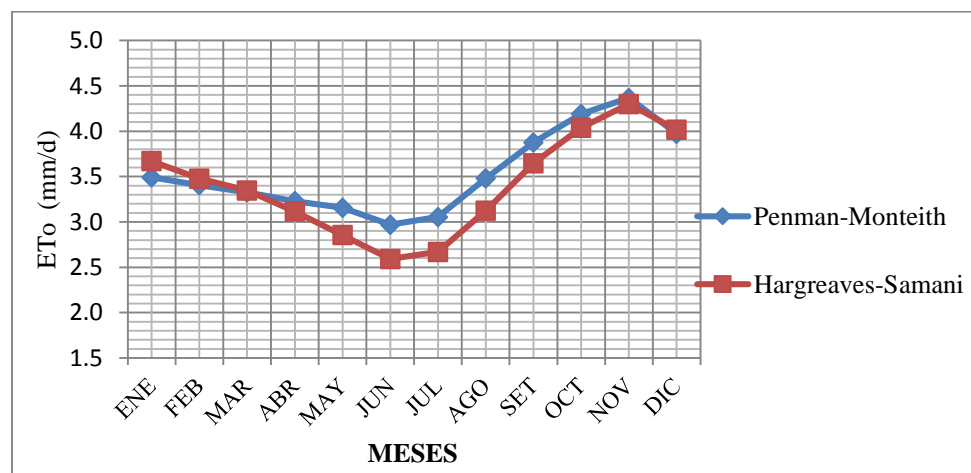


Figura 9. Evapotranspiración de referencia promedio mensual por métodos indirectos. Estaciones de las cuencas Coata e Illpa

4.1.2 Estimación de coeficientes de cultivo (K_c), metodología FAO para el cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)

De acuerdo a la metodología FAO, la primera actividad del proceso fue obtener el gráfico de la Curva de Coeficiente “ K_c ” del cultivo de kañiwa para las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa de conformidad a las informaciones expuestas en el capítulo Metodología (ítem 3.5.1), referido al período vegetativo del cultivo, fecha de siembra, duración de etapas de crecimiento de las plantas; donde los resultados del procedimiento está mostrado en la Figura 10, y luego el extracto interpolado de datos en la Tabla 20.

De la Figura 10, en principio, los valores en obtener es a nivel decadal; pero luego se puede a nivel mensual y fase fenológica. La variación de la curva representa los cambios en la vegetación y el grado de cobertura del suelo durante el desarrollo

de la planta y la maduración, los cuales afectan el cociente entre ET_c y ET_o . A partir de esa curva (Figura clave) se puede derivar el coeficiente K_c de acuerdo al interés, y luego la cuantía de la evapotranspiración del cultivo de cañiwa (ET_c) para cualquier intervalo de la temporada de desarrollo (Allen *et al.*, 2006).

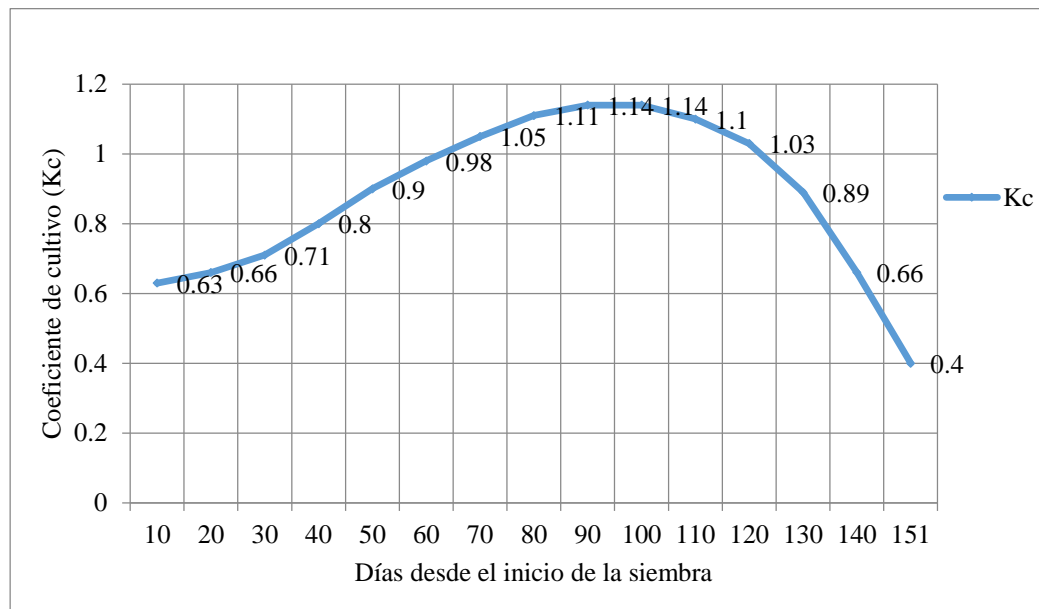


Figura 10. Curva de coeficiente de cultivo (K_c) de cañiwa para ZAE I, II; cuencas Coata e Illpa

En efecto, en la Tabla 20 está presentado los valores de K_c promedios para las zonas agroecológicas: Circunlacustre (I), Suni altiplánica (II) y Puna semihúmeda (III) con 0.84 de promedio para todos los casos; siendo los valores mayores para la fase fenológica media (inflorescencia) con 1,13 y 1,15 para las ZAE I y II respectivamente. Los coeficientes son de acierto por cuanto el cultivo de cañiwa en esta fase muestra un mayor desarrollo vegetativo (mayor índice de área foliar: IAF), evidenciándose en una mayor actividad fisiológica, cobertura vegetal máximo, y luego un máximo requerimiento de agua por las plantas debido a una mayor evapotranspiración en la etapa fenológica.

Las diferentes fases fenológicas del cultivo de cañiwa que se consideraron con sus respectivos días de duración, como es el período vegetativo para la ZAE I de 161 días y 151 días para II y III; la variedad, el ecotipo, la variabilidad climática (irregularidad de las precipitaciones) afectan los momentos oportunos de la siembra y cosecha del cultivo haciendo variar la duración del período vegetativo y de las fases fenológicas.



En general en el ámbito de estudio, el período de tiempo entre la siembra y la cobertura completa (Kcd) varía con el comportamiento del tiempo meteorológico, altitud, fecha de siembra y ecotipo del cultivo. Luego, una vez alcanzada tales fases en forma adecuada, la tasa adicional de etapas posteriores es más dependiente del genotipo de la planta que de las condiciones climáticas (aún se presenten anomalías en los meses de enero y febrero en la zona).

Tabla 20

Coefficientes de cultivo (Kc) de cañiwa para diferentes ZAE de las cuencas Coata e Illpa, metodología FAO y lisímetro NFC

ZAE I				ZAE: II ; III			
Fase fenológica (días)	Kc (prom.)	Decadal: días desde el inicio	Kc	Fase Fenológica (d)	Kc (prom)	Decadal: días desde el inicio	Kc
I (30 d)	0,67 (a 15d)	10	0,65	I (25 d)	0,65 (a 13d)	10	0,63
II (40 d)	0,84 (a 50d)	20	0,67	II (40 d)	0,89 (a 45 d)	20	0,66
III (51 d)	1,13 (a 95d)	30	0,69	III (52 d)	1,15 (a 90d)	30	0,71
IV (40 d)	0,72 (a 142d)	40	0,75	IV (34 d)	0,65 (a 135d)	40	0,8
PV (d): 161		50	0,84	PV (d): 151		50	0,9
Siembra:05 Oct		60	0,94	Siembra: 01 Nov		60	0,98
MES:	Kc (prom.)	70	1,02	MES:	Kc (prom.)	70	1,05
OCT	0,65	80	1,08	NOV	0,66	80	1,11
NOV	0,8	90	1,13	DIC	0,9	90	1,14
DIC	1,05	100	1,15	ENE	1,14	100	1,14
ENE	1,08	110	1,13	FEB	1,1	110	1,1
FEB	0,85	120	1,05	MAR	0,67	120	1,03
MAR	0,45	130	0,95	Lisímetro NFC:	Kc	130	0,89
		140	0,8	I (27 d)	0,47	140	0,66
		150	0,6	II (35 d)	0,73	151	0,4
		161	0,4	III (39 d)	1,06		
				IV (45 d)	0,85		
				PV (d): 146			

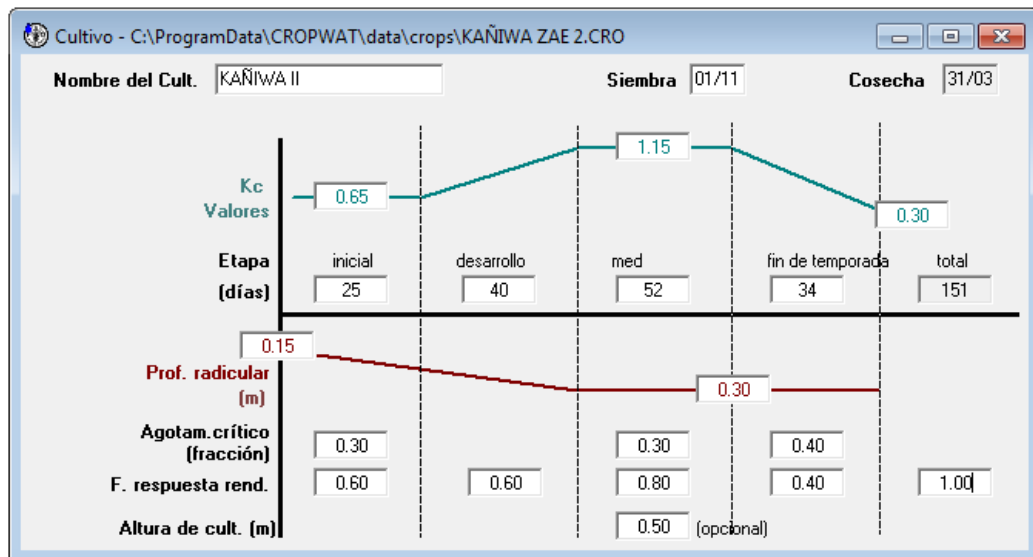


Figura 11. Curva de coeficiente de cultivo (Kc) de kañiwa para ZAE I, II; cuencas Coata e Illpa (Programa Cropwat 8.0)

La Figura 11, muestra la plantilla del módulo de cultivos del Programa Cropwat 8.0, específicamente para la introducción de datos que han sido obtenidos del procesado de la Curva Kc del cultivo; en el presente caso de kañiwa, requiriendo datos en forma obligatoria como: Fecha de siembra, Coeficiente de cultivo para fases fenológicas, días de etapas de crecimiento, profundidad radicular, fracción de agotamiento crítico (p), factor de respuesta del rendimiento (Ky) y, la máxima altura del cultivo (opcional).

Si la ETo representa un índice de la demanda climática, en tanto Kc varía principalmente con las características del cultivo específico y sólo en forma limitada con el clima, y la evaporación del suelo. Esto permite la transferencia de valores estándar para Kc entre localidades y climas; razón principal de la aceptación mundial y la utilidad del enfoque de coeficiente de cultivo (Allen *et al.*, 2006).

4.1.3 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ETc) y requerimiento de agua (RAC: ETv; ETa) por métodos indirectos

En el presente subcapítulo del informe, se detalla la evapotranspiración del cultivo de kañiwa que se produce en las diferentes zonas de las cuencas de Coata, Illpa y cuencas vecinas de apoyo. Es decir, la ETc que se origina bajo condiciones de humedad del suelo producto de la precipitación efectiva que se presenta en la campaña agrícola, así mismo, abonamiento sólo residual de la campaña anterior

(papa amarga); en la cual alcanza su productividad relativamente bajo, y se resalta que es de acuerdo a las condiciones climáticas (en especial la aleatoriedad de las precipitaciones) como está mostrado en la información meteorológica de Serie histórica de 22 años (1997/2018).

Nombre del suelo		
Medium (loam)		
Datos generales de suelo		
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	290.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	40	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	290.0	mm/metro

Figura 12. Plantilla de consideración del factor suelo en el cálculo de ETC de kañiwa para ZAE, cuencas Coata e Illpa (programa Cropwat 8,0)

La Figura 12, muestra la plantilla de consideración del factor suelo empleado para el cálculo de ETC método ETo Penman-Monteith en las diferentes ZAE de las cuencas de Coata e Illpa, donde se observa las características hidrofísicas y disponibilidad de humedad del suelo a insertar, de acuerdo a su textura principalmente.

En la Tabla 21, están mostrados los resultados de la evapotranspiración para el cultivo de kañiwa, donde el promedio para el ámbito de las cuencas en referencia es de 509,9 mm de lámina hídrica para el período vegetativo del cultivo (PV), siendo los promedios para las zonas Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda de 557, 513 y 492 mm PV⁻¹ respectivamente. La presentación de un gradiente de evapotranspiración descendente en la subregión es probable por la variación de altitud y la funcionalidad con rigor de términos de energía (Radiación solar, temperatura) en el desarrollo del cultivo.

Tabla 21

Evapotranspiración (ETc) y requerimiento de agua del cultivo de kañiwa (RACv; RACa), para estaciones de cuencas Coata, Illpa. (ETo mét. Penman-Monteith)

Estación Meteor.	ETc	ETc : ZAE	PE (*)	ETv	ETa	RACv
	mm/PV	mm/PV	mm/PV	mm/PV	mm/PV	m3/ha
Capachica	553,9		342,6	306,7	248,2	3067
Puno	560,3	I = 557,1	346,8	304,2	257	3042
Juliaca	535,8		275,5	275,5	260,3	2755
Pucará	502,6		332	327,6	174,9	3276
Cabanillas	519,2		336,9	336,8	182,1	3368
Lampa	497,3		363,5	356,1	141,3	3561
Mañazo	509,4	II = 512,9	325,3	324,8	184,2	3248
Ayaviri	500,1		359	355,9	144	3559
Chuquibambilla	488,2		385,5	373,5	114,7	3735
Laraqueri	510,7		388,2	375,9	134,7	3759
Llally	509,4		424,2	402,1	107,2	4021
Pampahuta	439,5		342	332,1	107,5	3321
Santa Lucía	502,6	III = 491,8	385,1	380,6	122,2	3806
Promedio Ccas:	509,9		354,4	342,4	167,6	3424

(*): Precipitación efectiva (mét. Ecuación FAO/AGLW); PV: período vegetativo del cultivo.

ETv: Evapotranspiración agua verde; ETa: evapotranspiración agua azul

Prueba de bondad de ajuste

Efectuado la prueba de bondad de ajuste para comprobar estadísticamente si la Serie hidrológica analizada se ajusta a la función de probabilidad teórica de Distribución Normal, y por las características de la variable como es evapotranspiración, se realizó la prueba de ajuste de acuerdo a Smirnov-Kolmogorov (Moraguez *et al.*, 2015 ; Villón, 2016). Luego, como el delta teórico 0,1326, es menor que el delta tabular 0,3772, los datos se ajustan a la Distribución Normal, con un nivel de significación del 5 %.

Prueba “t” de comparación de ETc entre diferentes zonas agroecológicas, cuencas Coata e Illpa.

La primera hipótesis planteada en el presente trabajo fue:

H1: “La evapotranspiración del cultivo de kañiwa calculada mediante diferentes métodos, varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa”. A efectos de verificar tal posibilidad se realizó la prueba “t” en la comparación de medias en la estimación de ET_c de kañiwa por el método de Penman-Monteith. Los resultados entre las zonas agroecológicas (ZAE) estadísticamente fue lo siguiente:

- ZAE I & II. Como $t_c (5,88) > t_t (2,57)$, por consiguiente, se acepta la hipótesis planteada, por lo que la evapotranspiración del cultivo en las ZAE I y II son diferentes ($\alpha=0,05$).
- ZAE II & III. Como $t_c (1,64) < t_t (2,3)$, entonces se rechaza la hipótesis planteada, por lo que la evapotranspiración del cultivo en las ZAE II y III son similares ($\alpha=0,05$).
- ZAE I & III. Como $t_c (5,72) > t_t (2,45)$, entonces se acepta la hipótesis planteada, por lo que la evapotranspiración del cultivo en las ZAE I y III son diferentes ($\alpha=0,05$).

En consecuencia, la ET_c en el cultivo de kañiwa varía de acuerdo a las zonas agroecológicas (ZAE) de las cuencas Coata e Illpa, con un gradiente negativo en función a la altitud, excepto entre ZAE II y III estadísticamente.

En lo que se refiere de la evapotranspiración de agua verde (ET_v) y evapotranspiración de agua azul (ET_a) en el cultivo de kañiwa en las cuencas indicadas son de 342,4 y 167,6 mm PV^{-1} respectivamente. La cantidad de agua verde evapotranspirada es proveído de la precipitación efectiva (PE) que se presenta en la zona; que por su gran aleatoriedad en el espacio y en el tiempo afectan en las cosechas esperadas del cultivo ya sea en rendimientos y calidad física del producto.

En cuanto de la cantidad necesaria de agua azul en los primeros estadios del cultivo (octubre noviembre), si bien la cuantía es relativamente menor; sin embargo, la oportunidad podría ser clave en el momento de establecimiento ya que en muchas oportunidades se han fracasado en la germinación de kañiwa, y han sido resembradas las parcelas, pero para forrajes (Mamani y Aliaga, 2017).

Luego, incluir a una agricultura de riego localizado complementario al cultivo de kañiwa en Puno sería una alternativa viable, por cuanto al respecto ya se tiene iniciado algunos trabajos de investigación (Ramirez *et al.*, 2016).

Generalizando, tanto la tasa de crecimiento a la cual se desarrolla la cobertura vegetal como el tiempo para alcanzar la cobertura completa están afectados por las condiciones climáticas y particularmente por la humedad del suelo y la temperatura diaria del aire. Así, el periodo de tiempo entre la siembra y la cobertura completa variará con el clima, latitud, altitud y fecha de siembra. Este periodo también cambiará fundamentalmente con la variedad o ecotipo del cultivo. Luego, una vez alcanzada la completa cobertura vegetal, la tasa adicional de desarrollo fenológico (floración, desarrollo de la semilla, madurez y senescencia) es más dependiente del genotipo de la planta que de las condiciones climáticas, similar al cultivo de quinua (Jacobsen, Mujica y Ortiz, 2003).

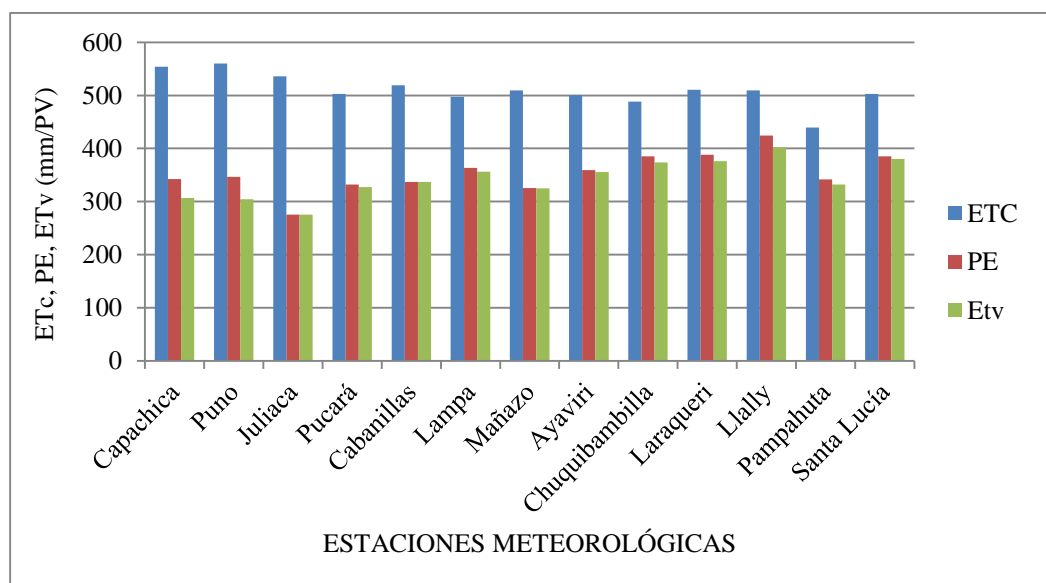


Figura 13. Evapotranspiración (ETc) y ETv del cultivo de kañiwa, (ETo mét. P-M); Estaciones de cuencas Coata e Illpa

En las Figuras 13 y 14 se muestran la evapotranspiración del cultivo de kañiwa, precipitación efectiva y ETv en las distintas estaciones meteorológicas donde se visualiza la variación espacial en el ámbito de estudio. Los valores mayores están para la zona Circunlacustre (Capachica, Puno) y los menores para la zona Puna semihúmeda (Pampahuta, Chuquibambilla ...), atribuible a la variación de factores geográficos y climáticos en la subregión. La ETc en las estaciones meteorológicas

que se ubican en la zona agroecológica “Suní altiplánica” intermedia los valores extremos; por lo que un añadido de agua azul en las primeras etapas de crecimiento del cultivo de kañiwa, su potencialidad de producción se fortalecería en gran medida.

Tabla 22

Evapotranspiración (ETc) y requerimiento de agua del cultivo de kañiwa (RACv; RACa), para estaciones de cuencas Coata, Illpa (ETo método Hargreaves-Samani)

Estación meteor.	ETc	Prom. Etc	PE	ETv	ETa	RACv
	mm/PV	mm/PV	mm/PV	mm/PV	mm/PV	m3/ha
Capachica	523,3		342,6	302,7	221,5	3027
Puno	545,2	534,3	346,8	304,1	241,7	3041
Juliaca	557,8		275,5	275,5	282,4	2755
Pucará	547,6		453,7	433,8	113,7	4338
Cabanillas	530,7		457	439,6	91,4	4396
Lampa	549,1		363,5	358,9	190,5	3589
Mañazo	533,7	543,8	325,1	325,1	208,5	3251
Ayaviri	531,1		359	356,8	174,2	3568
Chuquibambilla	528		385,5	374,9	153,1	3749
Laraqueri	542,7		388,2	385,8	156,7	3858
Llally	532,4		424,2	406,8	125,5	4068
Pampahuta	470		342	334,8	135,2	3348
Santa Lucía	549,1	525,6	385,1	383,3	165,7	3833
Promedio Cca:	533,9		372,9	360,2	173,9	3602

(*): Precipitación efectiva; PV: período vegetativo del cultivo

En efecto, la precipitación efectiva para las zonas de gran potencialidad para la producción de kañiwa, por decir para las condiciones de Lampa, Juliaca, Cabana, etc (zona Suní altiplánica) es bajo (327 mm), en tanto para las zonas I y III es 345 y 381 mm de lámina de agua para el período vegetativo; sin embargo, aún es necesario complementar para todas las zonas con agua azul, en especial en los primeros estadíos del cultivo, conociendo que la necesidad de ETc promedio para la campaña agrícola es de 510 mm de altura de agua.

De manera similar en la Tabla 22, se muestra los resultados de la evapotranspiración del cultivo de kañiwa para las condiciones de las cuencas de

Coata e Illpa, pero obtenido la ETo basado en la ecuación de Hargreaves-Samani. Aquí el valor promedio de ETc de kañiwa para las cuencas es de 533,9 mm PV⁻¹, relativamente mayor a lo obtenido en base a ecuación de FAO Penman-Monteith, probable a la diferencia de componentes meteorológicos en sus modelos.

Realizado una prueba “t” para efectos comparativos de medias de muestras de ETc calculados por los métodos indirectos en referencia; el coeficiente de correlación de Pearson fue de un 63 % (grado de asociación relativamente alto), y luego se acepta la hipótesis alterna ($\alpha=0,05$; $t_c=3,6$; $t_t=2,2$), señalándose luego que no es lo mismo la obtención de evapotranspiración del cultivo por cualquiera de los métodos; se recomendaría priorizar en el cálculo de ETo por el mét. FAO Penman-Monteith por integrar en su ecuación tanto los términos energéticos como aerodinámicos (Anexo 2: T-51).

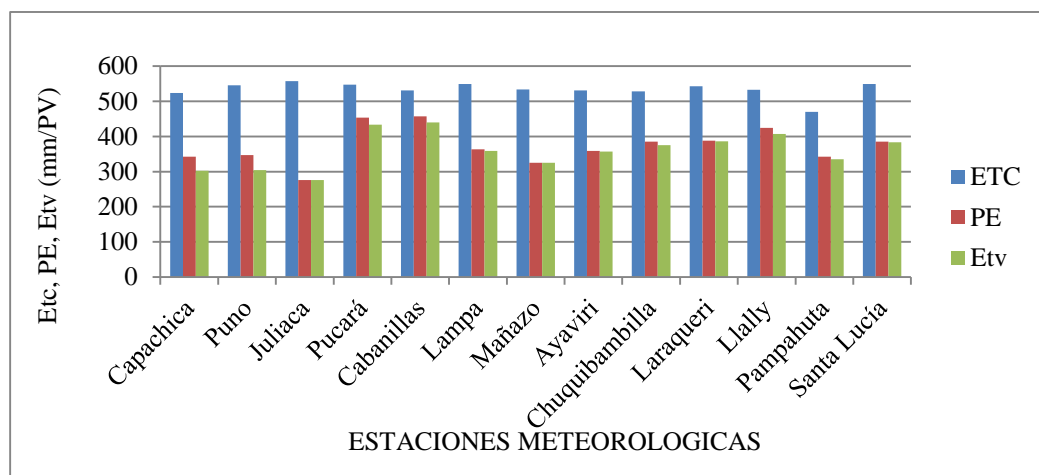


Figura 14. Evapotranspiración (ETc) y ETv del cultivo de kañiwa (ETo método H-S) para estaciones de cuencas Coata, Illpa

4.1.4 Evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ETc) método de lisímetro NFC

El período vegetativo del cultivo de kañiwa a nivel experimental en CIP-Illpa-UNA-Puno resultó ser de 146 días; lo cual ha permitido ratificar sobre el ciclo vegetativo precoz de la variedad “ILLPA-INIA-406”. El número de días promedio observados “in situ” de cada fase fenológica en la campaña agrícola del cultivo y su adecuación a fases FAO están mostrados en el Anexo.

La evapotranspiración del cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) variedad “ILLPA-INIA 406” en las condiciones de CIP-Illpa-Puno, alcanzó 445,3

mm de lámina de agua, bajo el sistema lisímetro nivel freático constante (NFC) como se muestra en la Tabla 23. La evapotranspiración (3,05 mm/día de promedio) obtenido en el experimento en referencia puede considerarse de confiabilidad, no solo por el carácter de conducción adecuada del cultivo, sino también por integrar “in situ” las condiciones locales reales de todos los factores influyentes en la evapotranspiración del cultivo.

Tabla 23

Evapotranspiración del cultivo de kañiwa para las fases fenológicas del período vegetativo (mm) por diferentes métodos, ZAE II cuencas Coata, Illpa-Puno

Fase fenológica	Métodos de cálculo de ETo		
	Penman-M.	Hargr.-Samani	Lisímetro
I. Inicial	57,4	56,6	57,9
II. Desarrollo	143,1	149,7	103,6
III. Mediados	210,2	229,1	158,8
IV. Final	102,2	108,4	125,1
TOTAL (mm)	512,9	543,8	445,3

En todo el ciclo vegetativo, las fases fenológicas que mostraron mayor consumo de agua fueron: Floración, grano lechoso y grano pastoso con un 53% del total (234,8 mm) ocurrido entre los meses de enero y febrero. Tal resultado es imputable a la mayor actividad fisiológica de las plantas, evidenciándose en un incremento mayor de longitud de altura de planta, máxima cobertura vegetal. Así, en la Tabla 23, se observa la adecuación de fases primigenias del cultivo a fases de crecimiento propuesta por la FAO (Doorembos y Pruit, 1982), siendo así las cuantías para las fases I, II, III y IV de 57,9; 103,6; 158,8 y 125,1 mm de ETc respectivamente.

Además, en la Tabla 23 se presenta los resultados de evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ETc) calculado por métodos indirectos, como también la evapotranspiración del cultivo obtenido vía lisímetro. La ETc para casi todas las fases fenológicas, los valores obtenidos por las metodologías de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani fueron aritméticamente diferentes comparado al del lisímetro, razón por el cual más adelante se presenta el procesado de un análisis estadístico.

En efecto, en la Tabla 24 está mostrado los resultados del procesado de un análisis estadístico de ETc, Diseño Bloque Completo al Azar (DBCA) donde los tratamientos (métodos de obtención de ETc) y los bloques (fases fenológicas del cultivo) están indicados en tal ordenamiento para el ANVA y el comparativo de medias correspondientes (Anexo 2: T-48).

Tabla 24

ANVA para Evapotranspiración del cultivo de kañiwa para las fases fenológicas del ciclo vegetativo por diferentes métodos (mm), ZAE II de cuencas Coata, Illpa-Puno.

Fases Fenológicas	Tratamientos (métodos ETo)			ETc Prom. (mm)	&
	Penman-Monteith	Hargreaves-Samani	Lisímetro		
I.Inicial	57,4	56,6	57,9	57,3	C
II.Desarrollo	143,1	149,7	103,6	132,1	B
III.Mediados	210,2	229,1	158,8	199,4	A
IV.Final	102,2	108,4	125,1	111,9	BC
Total :	512,9	543,8	445,3		
&	A	A	A		

& = Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey).

Prom. = 125,18 ; CV = 17,6 %

Realizado el ANVA de la ETc de kañiwa para las condiciones de la zona de Illpa-Puno (ZAE II), se determinó que para bloques la Fc fue mayor que Ft ($p=0,01$); interpretándose que existe una alta significancia estadística para fases fenológicas del periodo vegetativo (es decir; al menos la ET de una fase fenológica es diferente a otros). En tanto, para los tratamientos (métodos empleados en la obtención de la ETc) se acepta la hipótesis nula (no existe diferencia estadística, $\alpha=0,05$). Es decir, para el cálculo de la ETc de kañiwa en las condiciones de zona agroecológica II (Suni altiplánica) es indiferente usar el método Penman-Monteith o el de Hargreaves-Samani en la obtención de la ETo, por su marcada adecuación de ambos al método de Lisímetro. El coeficiente de variabilidad obtenido (17,6 %), es considerado “buena” para este tipo de experimentos conducido a nivel intemperie (Calzada, 1982 ; Vásquez *et al.*, 2017).

La diferencia estadística altamente significativa en el requerimiento de agua entre las diferentes fases del periodo vegetativo del cultivo de kañiwa, entre otros es imputable:

- A la desigualdad número de días de cada fase
- Las actividades fisiológicas e índices de área foliar (IAF) no son similares entre fases
- El comportamiento meteorológico a nivel mensual de la campaña agrícola es diferente en la zona durante el lapso de desarrollo entre fases; siendo la radiación solar incidente y temperatura que son variables principales influyentes en la ETC.

En efecto, la fase fenológica “MEDIADOS” (inicio de floración, floración y grano lechoso) estadísticamente es la que más difiere en el fenómeno de la evapotranspiración con respecto a las demás fases, superando significativamente en mm de lámina hídrica, atribuible a la mayor actividad fisiológica desarrollada en tal fase (III), mayor número de días (43 % del periodo vegetativo), y además por el aprovisionamiento de la humedad del suelo en condiciones aprox. a capacidad de campo (mayor índice de área foliar y maduración).

Las fases inicial y final son en los que existe suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula ($H_0=0$), en el primero por el desarrollo exiguo aún, y en el último por la etapa de senescencia de las plantas.

4.2 Rendimiento del cultivo de kañiwa en grano

La kañiwa es uno de los granos andinos que se produce desde hace muchos milenios en los Andes del Perú y Bolivia. En los últimos tiempos los departamentos productores a nivel nacional en orden de importancia fueron: Puno ($\approx 95\%$), Cusco y Arequipa. En relación a la superficie cosechada, en el año 2000 alcanzó 6,3 miles hectáreas. Sin embargo, en el 2017, cerró en 6,2 miles ha. Mientras el rendimiento en el 2000 fue de 0,7 t ha⁻¹, manteniéndose alrededor de 0,74 t ha⁻¹ en los últimos 18 años (DRA-Puno, 2019). En el departamento de Puno destacan en área cultivada las provincias de Azángaro, Lampa, San Román, y otros con 32, 18, 10 y 40 % respectivamente.

4.2.1 Área cultivada, rendimiento en grano del cultivo de kañiwa sistema tradicional en las cuencas Coata e Illpa

En la Tabla 25, está mostrado los resultados del área cosechada y rendimientos promedio del cultivo de kañiwa de los distritos productores que están ubicadas en las cuencas de Coata, Illpa y cuencas colindantes de apoyo de una Serie histórica de campañas agrícolas de 1996/97-2017/18 bajo régimen pluvial. La mayor área cosechada está en el distrito de Lampa (311,3 ha) y el menor es para Capachica (7,23 ha).

Generalizando (se visualiza en la Figura 15), la mayor superficie cosechada se encuentra en la zona “Suni altiplánica” con 1305,4 ha (75 %), seguido por la zona Puna semihúmeda con 242 ha (14 %) y zona Circunlacustre con 187,6 ha (11 %). Los cuales se atribuye al hábito de priorización de cultivos, clima, ataque ornitológico, características edafológicas, entre otros. Así pues, las zonas de condiciones similares a los de Lampa, Cabana, Mañazo .. presentan gran potencialidad en la producción del grano andino cada vezpreciado como es la kañiwa.

En cuanto de los rendimientos por unidad de superficie, en la Tabla 25 y Figura 15, de un promedio de 22 años el valor promedio para los distritos considerados es de 730,2 kg ha⁻¹, siendo la variación espacial de 621,9 (Palca) a 818,8 kg ha⁻¹ (Mañazo). Especificando por zonas agroecológicas, la mayor productividad fue para la zona Circunlacustre con 770,9 kg ha⁻¹ y, para las zonas Suni altiplánica y Puna semihúmeda los rendimientos fueron de 723 y 697,3 kg ha⁻¹ respectivamente. Cabe indicar, que la información mostrada está basada de lo obtenido de las estadísticas de la DRA-Puno (2019) referidas en si a sistemas de producción con tecnología tradicional; es decir tecnología de los pequeños agricultores dirigidos a consumo familiar, semilla y en menor proporción para su comercialización.

Tabla 25

Área y rendimientos del cultivo de kañiwa a nivel distrital (cuencas Coata e Illpa; Serie: 1997-2018), Puno

Distrito	Área cosecha (ha)	Altitud media (msnm)	ZAE (*)	Rdto (kg ha⁻¹)
Coata	21,82	3814	I	763,44
Puno	10,33	3827	I	783,60
Atuncolla	21,14	3831	I	777,05
Pusi	85,00	3835	I	716,03
Paucarcolla	19,86	3847	I	772,01
Huata	22,23	3848	I	786,30
Capachica	7,23	3860	I	797,57
Juliaca	142,50	3824	II	664,74
Caracoto	117,05	3825	II	707,03
Caminaca	100,91	3835	II	703,05
Calapuja	80,73	3843	II	695,42
Vilque	35,52	3860	II	809,90
Pucara	67,27	3860	II	751,68
Cabanilla	220,09	3876	II	679,57
Cabanillas	56,27	3885	II	684,37
Tiquillaca	23,86	3885	II	755,48
Lampa	311,32	3892	II	677,76
Cabana	149,91	3901	II	728,49
Mañazo	76,09	3926	II	818,79
Ayaviri	31,41	3907	III	728,48
Umachiri	38,14	3921	III	733,93
Pichacani	29,32	3975	III	768,15
Llalli	17,95	3980	III	691,70
Palca	25,27	4020	III	621,93
Santa lucia	23,45	4025	III	639,35
Total:	1734,7			730,2

(*): Zona agroecológica: f (área cosechada, altitud media del distrito ..)

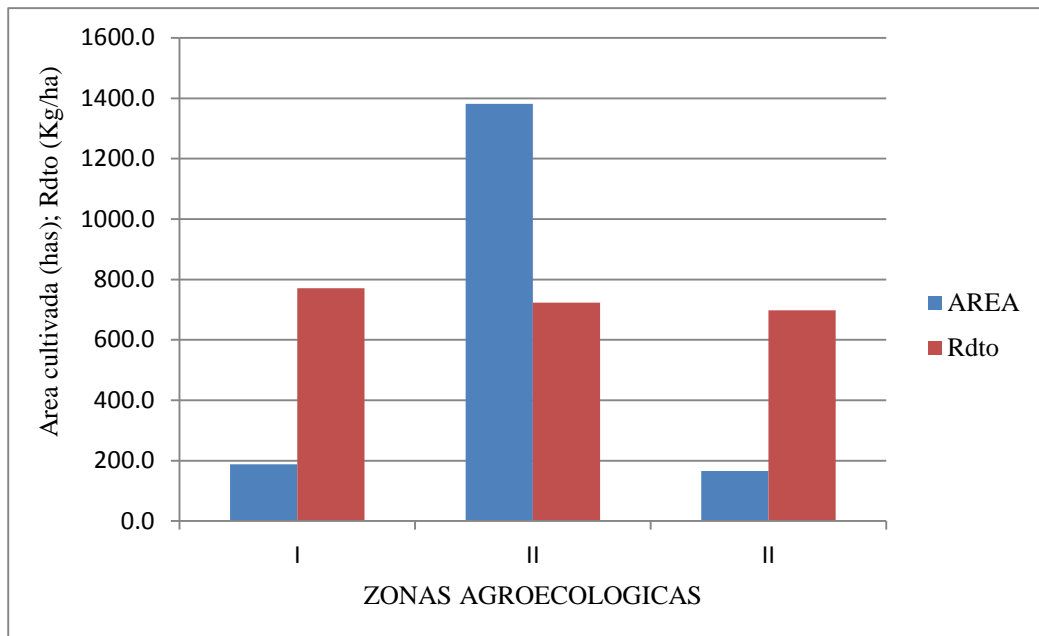


Figura 15. Área y rendimiento del cultivo de kañiwa en las Ccas Coata e Illpa.

Se agrega, que a nivel Región Puno de acuerdo a la Serie histórica 1997/2018 de DRA-Puno (2019) los promedios en el rendimiento y área cosechada de kañiwa están en 749 kg ha^{-1} y 5740 ha respectivamente. La necesidad de incrementar la producción, productividad y la calidad del producto en la Región es indudable, a fin de mejorar el régimen alimentario y actividad económica de los productores y población en general.

Prueba “t” de comparación de rendimientos del cultivo, en diferentes zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa

Como segunda hipótesis planteada en el presente trabajo fue: H2: “Los rendimientos en grano del cultivo de kañiwa producidos en las distintas zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa, son diferentes”. A efectos de confirmar tal posibilidad se realizó la prueba “t” en la comparación de medias (Anexo 3: T-54) de la variación del rendimiento de kañiwa en grano; donde los resultados entre las zonas agroecológicas (ZAE) estadísticamente ($\alpha=0,05$) fueron lo siguiente:

- ZAE I & II. Como $t_c(2,68) > t_t(2,1)$, en consecuencia, se acepta la hipótesis planteada, por lo que el rendimiento del cultivo en las ZAE I y II son diferentes.

- ZAE II & III. Como $t_c (0,9313) < t_t (2,262)$, entonces se rechaza la hipótesis planteada, por lo que el rendimiento del cultivo en las ZAE II y III son similares.
- ZAE I & III. Como $t_c (2,893) > t_t (2,365)$, entonces se acepta la hipótesis planteada, por lo que el rendimiento del cultivo en las ZAE I y III son diferentes.

De acuerdo con especialistas se atina que el cultivo de kañiwa es originario de los andes, y que su proceso de cultivo aún no es completo (debilidad a dehiscencia), es un producto apto para los pisos ecológicos del altiplano entre 3850 a 4400 msnm (ZAE Suni-altiplano); es muy resistente a las heladas y sequías como pocos cultivos, y gracias a esta resistencia múltiple, se usa principalmente como alimento de gran valor nutricional y seguro en cosechas para las comunidades del altiplano peruano-boliviano, de ahí la revaloración del grano como alimento para sobrevivir (Callohuanca *et al.*, 2019).

De acuerdo a revisiones bibliográficas especializadas realizadas se han obtenido rendimientos promedio bajo un sistema tradicional para pequeños agricultores de 748 kg ha^{-1} . En tanto, para el sistema con “tecnología intermedia” se logró una productividad de alrededor 1375 kg ha^{-1} tal como está reportado en el Anexo 3: T-55 (Tapia, 2017 ; Velásquez, 2018).

Reportes desde Bolivia se tiene también, que los agricultores cosechan y logran obtener en promedio 550 kg ha^{-1} , en otras zonas cosechan 750 kg ha^{-1} , estos resultados son de campo a nivel agricultor con manejo tradicional. Mientras se informa en las parcelas donde se realizan investigaciones con diferentes fines hasta 3000 kg ha^{-1} . Los rendimientos adecuados son posibles de lograr con la aplicación de técnicas y prácticas mejoradas a nivel agricultor y con la atención necesaria del uso de tecnología adecuada, como resultado de las investigaciones académicas (Mamani y Aliaga, 2017).

En la cuantificación del área cosechada expuesta en la Tabla 25, se destaca al distrito de Lampa como un referente de potencialidad del cultivo de kañiwa; por lo que fue necesario realizar un mayor análisis. En efecto, en la Tabla 26 y en la Figura 16, están mostrados las informaciones tanto del área cosechada y los



rendimientos correspondientes. En cuanto del área cosechada se tiene un promedio anual de 311,3 ha de Serie histórica de 1997-2018. El valor máximo es 420 ha (2017) y el mínimo de 140 ha (2001), donde los valores bajos con seguridad son imputables a los “veranillos severos” que se presentan durante los meses de noviembre y diciembre.

Tabla 26

Producción de kañiwa por campañas agrícolas en el distrito de Lampa-Puno (1997-2018).

Campaña agrícola	Área cosechada ha	Tasa crecim. %	Rdto kg ha⁻¹	Tasa crecim. %
1996-1997	168		690,5	
1998	240	42,9	695,8	0,78
1999	255	6,3	703,9	1,16
2000	275	7,8	680,0	-3,40
2001	140	-49,1	607,1	-10,71
2002	280	100,0	685,7	12,94
2003	270	-3,6	651,9	-4,94
2004	270	0,0	600,0	-7,95
2005	275	1,9	658,2	9,70
2006	290	5,5	665,5	1,11
2007	310	6,9	700,0	5,18
2008	320	3,2	665,6	-4,91
2009	336	5,0	663,7	-0,29
2010	345	2,7	687,0	3,51
2011	365	5,8	674,0	-1,89
2012	385	5,5	677,9	0,59
2013	346	-10,1	653,2	-3,65
2014	380	9,8	678,9	3,95
2015	368	-3,2	682,1	0,46
2016	406	10,3	724,1	6,17
2017	420	3,4	761,9	5,22
2017-2018	405	-3,6	703,7	-7,64
Prom.; Σ :	311,3	147,3	677,8	5,37
TASA CRECIMIENTO (%)		6,7		0,3
Prospección:				
2018	405,0	6,7	703,7	0,3
2019	432,1	6,7	705,8	0,3
2020	461,1	6,7	707,9	0,3
2021	492,0	6,7	710,0	0,3
2022	524,9	6,7	712,1	0,3
2023	560,1	6,7	714,2	0,3
2024	597,6	6,7	716,3	0,3

En la Figura 16, se observa la tendencia de variación de área cosechada del cultivo de kañiwa en el tiempo, el cual es positivo (tasa de crecimiento de 6,7 %), y el modelo lineal incluido la proyección a mediano plazo es el siguiente: $A \text{ (ha)} = 12,58 * (\text{campaña agrícola}) - 24934$, con un alto grado de asociación entre las variables ($r=0,947$). La razón principal del incremento del área cultivada es probablemente por la mayor motivación por parte de los agricultores y demanda actual de granos andinos, ya sea a nivel nacional y regional por ser un alimento nutracéutico y funcional, valorado cada vez por la población.

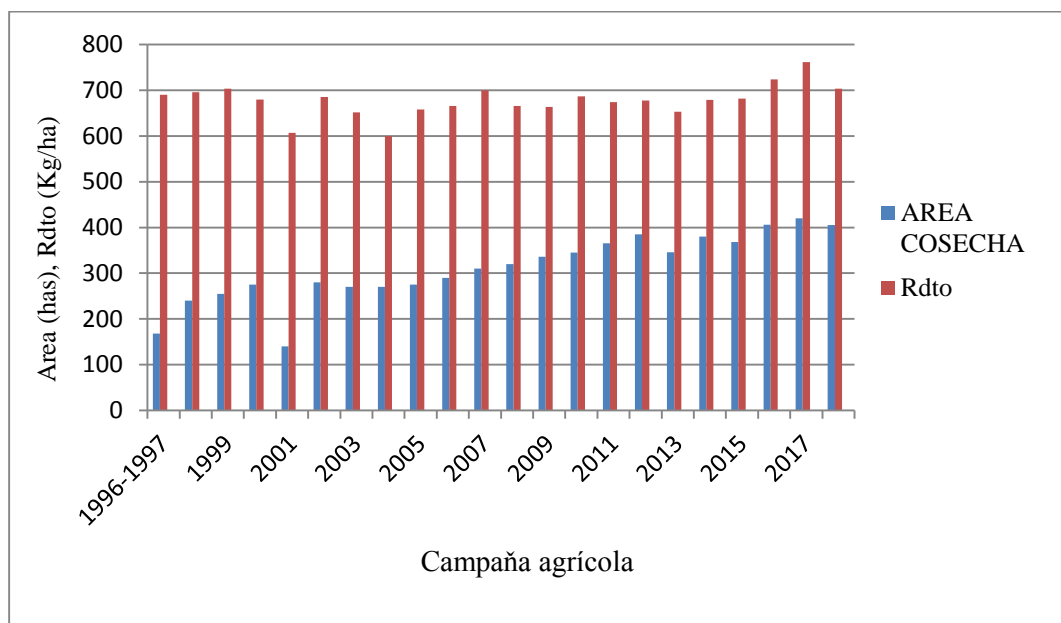


Figura 16. Área de cultivo, rendimiento de kañiwa en el distrito de Lampa-Puno

Respecto a la productividad por unidad de superficie, para el distrito de Lampa está en promedio de $677,8 \text{ kg ha}^{-1}$, siendo la variación de 600 kg ha^{-1} (2004) a 762 kg ha^{-1} (2017). Aquí, los incrementos de la productividad en función a campañas agrícolas consecutivas son muy insignificantes (tasa de crecimiento de 0.3 %), atribuible al factor tecnológico muy tradicional; por lo que es necesario ya la práctica de una agricultura planificada criterio empresarial sostenible. Al respecto, el INIA (Apaza, 2010) se ha dedicado a apoyar a los agricultores para que mejoren su productividad y que logren uniformidad de maduración para su cosecha. Hay que potenciar ese trabajo, para especializar la kañiwua ya sea para consumo, comercialización o para ser usada solo como semilla.

Para Lampa, considerando el área de cultivo como variable independiente, y el rendimiento como dependiente, por el momento la correlación no es el indicado

($r=0,52$), por lo que se exhorta mejorar el rendimiento en el tiempo. La ecuación obtenida fue el siguiente: $Rdto (kg ha^{-1}) = 0,2404 (\text{área: ha}) + 602,9$

4.2.2 Rendimiento del cultivo de kañiwa en el sistema lisímetro NFC

A nivel experimental realizado en CIP-ILLPA, el cultivo de kañiwa variedad “ILLPA-INIA-406” bajo condiciones de Lisímetro NFC, realizado la cosecha en grano del tanque de cultivo (parcela experimental), procesado los datos, y luego deducido a $kg ha^{-1}$ fue de 4485, valor que es superior a otros resultados que se reportan a nivel experimental en la región Puno como es de $3,5 t ha^{-1}$ (Condori, 1970; citado por Callohuanca *et al.*, 2019).

En el experimento realizado en CIP-Illpa, el logro de un rendimiento relativamente mayor, se atribuye a que las condiciones de la campaña agrícola fueron favorable (2010/2011), como también el aprovisionamiento adecuado y permanente de humedad en la zona radicular de las plantas (\approx a capacidad de campo), labores culturales oportunas, la casi no presentación del ataque de plagas y enfermedades; en resumen, las condiciones favorables que se dio en el proceso de cultivo en el sistema lisímetro. Se colige que la potencialidad es aún mayor.

En otras investigaciones realizadas por otros autores con diferentes variedades y/o ecotipos de kañiwa (Anexo 3: T-55), se obtuvieron rendimientos desde 1950 a $4485 kg ha^{-1}$, siendo el promedio de $3070 kg ha^{-1}$. El dato promedio es referencial que anima a alcanzar y/o superar alguna vez la productividad en la producción formal del cultivo nutracéutico en la región de Puno. Los rendimientos que superen los $1500 kg ha^{-1}$ permiten obtener un balance económico rentable, considerándose además que el rastrojo tiene uso como forraje (tallos, ramas, hojas quiri, jipi) con una producción de más de $15 t ha^{-1}$. Experimentalmente se ha conseguido rendimientos de más de $3 t ha^{-1}$, que muestran el potencial del cultivo en condiciones del altiplano de Puno (Cahuana, 1975; citado por Tapia, 2017).

4.3 Cuantificación de la huella hídrica del cultivo de kañiwa

4.3.1 Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa (HHv)

De acuerdo a la metodología expuesta en el ítem 3.5.3, para la cuantificación de la huella hídrica del cultivo de kañiwa estuvo de acuerdo al “*Manual de evaluación de huella hídrica*” propuesta por Hoekstra *et al.* (2011), practicado en

las condiciones de las cuencas de Coata, Illpa y cuencas de apoyo, bajo sistemas de cultivo tradicional considerándose entonces en el tipo de huella hídrica verde. Se resalta que la huella hídrica verde es el volumen de agua evapotranspirada desde los recursos globales de agua verde, principalmente agua de lluvia almacenada en el suelo agrícola en forma de humedad durante el período de crecimiento de los cultivos.

En lo que se refiere a la precipitación efectiva procesada para las diferentes zonas agroecológicas consideradas (PE); la información base como es la precipitación pluvial fue de la Serie histórica de las campañas agrícolas de 1996/97 a 2017/18 obtenido de SENAMHI DZ, Puno.

4.3.1.1 Huella hídrica verde del cultivo en función de ETo método Penman-Monteith

En la Tabla 27, se presenta los resultados de los cálculos correspondientes de HHv, y se señala que en lo espacial para las cuencas Coata e Illpa los valores de huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano de mayor a menor fueron para los distritos de Santa Lucía y Capachica con $5,95$ y $3,85 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ respectivamente. El promedio general de $4,48 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ valor relativamente mayor, es atribuible con seguridad por los rendimientos menores del cultivo; y ello entre otros factores, es por las precipitaciones pluviales no acorde a las necesidades hídricas de las fases fenológicas del cultivo. Al respecto, ANA-WWF-PERÚ (2015) para Puno en sus resultados de huellas hídricas sectoriales obtuvo para el cultivo de quinua un valor de $3,65 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ relativamente menor, imputable a los rendimientos mayores considerados.

Tabla 27

Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa en los distritos de las cuencas Coata e Illpa; ETo f(Penman-Monteith)

Distrito	Altitud distrito (msnm)	ETv (m3/ha/PV)	Rdto Kañiwa (kg/ha)	H-H Kañiwa (m3/kg)	H-H Kañiwa (L/kg)	Prom. HH-ZAE (L/kg)
Coata (I)	3860	3067	763,4	4,017	4017	
Puno	3814	3042	783,6	3,882	3882	
Atuncolla	3848	3042	777,1	3,915	3915	I
Pusi	3847	3067	716,0	4,283	4283	3969
Paucarcolla	3831	3042	772,0	3,940	3940	
Huata	3827	3067	786,3	3,901	3901	
Capachica	3835	3067	797,6	3,845	3845	
Juliaca (II)	3892	2755	664,7	4,144	4144	
Caracoto	3876	2755	707,0	3,897	3897	
Caminaca	3843	2755	703,1	3,919	3919	
Calapuja	3860	2755	695,4	3,962	3962	
Vilque	3825	3248	809,9	4,010	4010	II
Pucara	3824	3276	751,7	4,358	4358	4359
Cabanilla	3901	3368	679,6	4,956	4956	
Cabanillas	3885	3368	684,4	4,921	4921	
Tiquillaca	3885	3248	755,5	4,299	4299	
Lampa	3860	3561	677,8	5,254	5254	
Cabana	3926	3368	728,5	4,623	4623	
Mañazo	3804	3248	818,8	3,967	3967	
Ayaviri (III)	4020	3559	728,5	4,886	4886	
Umachiri	4025	3735	733,9	5,089	5089	III
Pichacani	3975	3759	768,2	4,894	4894	5329
Llalli	3854	4021	691,7	5,813	5813	
Palca	3907	3321	621,9	5,340	5340	
Santa lucia	3921	3806	639,4	5,953	5953	
Promedios:			730,23	4,48	4483	

Realizado una prueba de bondad de ajuste de huella hídrica verde del cultivo de kañiwa (Smirnov-Kolmogorov) en los distritos de cuencas de Coata e Illpa (Tabla 27), donde el Δ teórico es menor a Δ tabular; por lo que los resultados obtenidos de la huella hídrica se ajustan a la distribución normal con un nivel de significación del 5 % (Anexo 4: T-56).

En lo concerniente a la tercera hipótesis planteada en el presente investigación, lo cual es, H3: “La huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano, varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa”. Por consiguiente, a efectos de reafirmar tal posibilidad se realizó la prueba “t” en la comparación de medias (Anexo 4: T-57) de la variación de huella hídrica verde de la producción de kañiwa en grano en el ámbito en referencia. Los resultados entre las zonas agroecológicas (ZAE) estadísticamente ($\alpha=0.05$) fueron lo siguiente:

- ZAE I & II. Como $t_c(2,65) > t_t(2,14)$; por lo cual se acepta la hipótesis planteada, de modo que la huella hídrica del cultivo en las ZAE I y II son desiguales.
- ZAE II & III. Como $t_c(4,17) > t_t(2,23)$, entonces se acepta también la hipótesis planteada, por lo que la huella hídrica verde del cultivo en las ZAE II y III son también diferentes.
- ZAE I & III. Como $t_c(6,91) > t_t(2,45)$, en consecuencia, se acepta la hipótesis planteada, por lo cual la huella hídrica del cultivo en las ZAE I y III son diferentes.

Sobre el particular, la variación de la huella hídrica del cultivo en los diferentes ámbitos agroecológicos que se consideraron en el presente estudio, como es las zonas Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda; los valores promedio fueron de 3969, 4359 y 5329 L kg⁻¹ respectivamente. Tal variación de la huella hídrica de menor a mayor en las ZAEs como se observa en la Tabla 27, es también, por la variación de los rendimientos del cultivo de manera inversa, que están en función de los factores básicos de producción como es clima, genética, suelo, y la tecnología practicada. En principio la prospectiva sería mejorar los

rendimientos para así reducir el indicador medioambiental en todas las zonas agroecológicas.

4.3.1.2 Huella hídrica del cultivo en función de ETo Met. Hargreaves-Samani

En la Tabla 28, se muestra los resultados de la huella hídrica cuantificada para el cultivo de kañiwa para las condiciones de las localidades de producción ubicadas en las cuencas de Coata, Illpa y cuencas colindantes; pero basado aquí para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) de acuerdo al método de Hargreaves-Samani. El promedio obtenido para el ámbito fue de $4,72 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, valor similar (5,1 % de diferencia) a lo obtenido con la ecuación de Penman-Monteith, más adelante apreciaremos un análisis de comparación entre los métodos.

Para las diferentes zonas agroecológicas del ámbito en estudio, la variación de la huella hídrica en función al método ETo Hargreaves-Samani, es también de acuerdo a la altitud geográfica (msnm) siendo de menor a mayor para las zonas Circunlacustre, Suni altiplano y Puna semihúmeda con valores de 3939, 4850 y 5381 L kg^{-1} respectivamente. Especificando a nivel espacial territorial, el menor valor es para el distrito de Coata (3965 L kg^{-1}) y el mayor valor para Santa Lucía (5995 L kg^{-1}). Aquí, la variación de huella hídrica es también por la variación de los rendimientos del cultivo de manera inversa. Luego, el rendimiento del cultivo es función de la aleatoriedad de las precipitaciones, nivel de fertilidad de los suelos y tecnología practicada.

Realizado la Prueba “t” en la comparación de medias de huella hídrica obtenidas en base a diferentes métodos de estimación de evapotranspiración del cultivo de referencia; es decir, el método FAO Penman-Monteith y Hargreaves-Samani, considerando $H_0 = 0$; para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; el coeficiente de correlación de Pearson resultó 0,924, $t_c=1,06$ y $t_t = 4,3$; concluyéndose en aceptar la H_0 . Por lo cual, el uso de cualquiera de los métodos en cuantificar la huella hídrica verde en la zona es indistinto; sin embargo, se reitera recomendar el empleo del método para ETo el de FAO Penman-Monteith por contener mayores componentes meteorológicos en su

ecuación (Allen *et al.*, 2006), claro está subsanando la variable heliofanía para las condiciones de la Región Puno.

Tabla 28

Huella hídrica del cultivo de kañiwa en los distritos de las cuencas Coata e Illpa; ETo f(Hargreaves-Samani)

Distrito	Altitud distrito msnm	ETv (m3/ha /PV)	Rdto kañiwa (kg/ha)	H-H kañiwa (m3/kg)	H-H kañiwa (L/kg)	Prom. HH-ZAE (L/Kg)
Coata (I)	3860	3027	763,4	3,965	3965	
Puno	3814	3041	783,6	3,881	3881	
Atuncolla	3848	3041	777,1	3,914	3914	I
Pusi	3847	3027	716,0	4,227	4227	3939
Paucarcolla	3831	3041	772,0	3,939	3939	
Huata	3827	3027	786,3	3,850	3850	
Capachica	3835	3027	797,6	3,795	3795	
Juliaca (II)	3892	2755	664,7	4,144	4144	
Caracoto	3876	2755	707,0	3,897	3897	
Caminaca	3843	2755	703,1	3,919	3919	
Calapuja	3860	2755	695,4	3,962	3962	
Vilque	3825	3251	809,9	4,014	4014	II
Pucara	3824	4338	751,7	5,771	5771	4850
Cabanilla	3901	4396	679,6	6,469	6469	
Cabanillas	3885	4396	684,4	6,423	6423	
Tiquillaca	3885	3251	755,5	4,303	4303	
Lampa	3860	3589	677,8	5,295	5295	
Cabana	3926	4396	728,5	6,034	6034	
Mañazo	3804	3251	818,8	3,970	3970	
Ayaviri (III)	4020	3568	728,5	4,898	4898	
Umachiri	4025	3749	733,9	5,108	5108	III
Pichacani	3975	3858	768,2	5,022	5022	5381
Llalli	3854	4068	691,7	5,881	5881	
Palca	3907	3348	621,9	5,383	5383	
Santa lucia	3921	3833	639,4	5,995	5995	
Promedios:			730,23	4,72	4722	

La Tabla 29, presenta en forma de resumen las huellas hídricas verde para diferentes zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa, de acuerdo a métodos indirectos de obtención de evapotranspiración del cultivo de kañiwa, además complementado por la Figura 17 en forma gráfica para su mejor visualización. Para con el método de ETo P-M, los valores de HHv: 3969, 4359 y 5329 L kg⁻¹ para ZAE Circunlacustre, Suni altiplano y Puna semihúmedo son para rendimientos del cultivo que varían de mayor a menor de 771, 723 y 697 kg ha⁻¹, resultando una función inversa entre los indicadores en cuestión. Las altitudes geográficas en las cuencas de Coata e Illpa corroboradas con el factor clima y suelo, repercuten con gran rigurosidad sobre el desarrollo de los cultivos, aun kañiwa que es considerado el cultivo que soporta la adversidad climática en la región.

Tabla 29

Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa (L kg⁻¹) según zonas agroecológicas para las cuencas de Coata e Illpa, Puno

ZAE	Altitud media (msnm)	Rdto (kg ha ⁻¹)	Métodos para ETo	
			Penman- Monteith	Hargreaves- Samani
I	3837,4	770,9	3969	3939
II	3865,1	723,0	4359	4850
III	3950,3	697,3	5329	5381

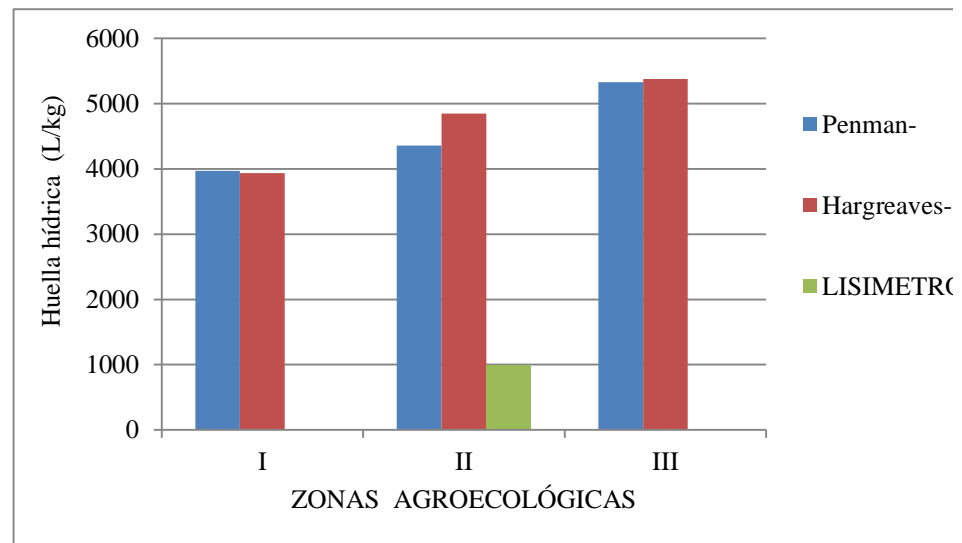


Figura 17. HHv del cultivo de cañiwa según ZAE para las cuencas Coata, Illpa y HHa

4.3.2 Huella hídrica azul en el cultivo de cañiwa

En el escenario del uso eficiente del agua en el cultivo de cañiwa, se ha establecido el experimento sistema lisímetro Nivel Freático Constante (NFC) en la ZAE II: CIP-ILLPA-UNA (campaña agrícola 2009/10); primero para determinar la eficiencia de uso del agua en el cultivo de cañiwa, y luego para cuantificar la huella hídrica azul (2020). Se recalca que el agua azul es el agua de escorrentía, las fuentes de agua superficial, ríos y lagos, y fuentes de agua subterránea, acuíferos (Ariza y Arévalo, 2018). En el presente caso el agua de riego ha sido de un manantial.

Considerando un consumo de agua de riego (RAC_{azul}) de 445,3 mm PV^{-1} , y haber obtenido 4485 kg ha^{-1} de rendimiento en grano, la huella hídrica correspondiente fue de 993 L kg^{-1} (Figura 17), valor muy bueno al momento, comparado con otros sistemas de producción a nivel de cuencas consideradas. El resultado puede ser referente, en tanto se mejore los niveles de producción, productividad y calidad del producto (producción orgánica) mejor aún en irrigaciones, sugiriéndose entonces la instalación de cultivos con riego localizado en las condiciones de zonas de gran potencialidad del cultivo de cañiwa como es en la zona agroecológica “Suní altiplánica” de región Puno.

Huella hídrica verde del cultivo de cañiwa en ZAE II “Suní altiplánica”

De las diferentes zonas de producción de kañiwa en grano en las cuencas de Coata e Illpa, en la zona agroecológica II “Suní altiplánica” están las localidades de gran potencial de producción (DRA-Puno, 2019) ya sea por mayores áreas cosechadas (75% del ámbito) y rendimientos del cultivo relativamente aceptables; por citar algunos distritos como es: Lampa, Juliaca, Cabana, Mañazo, Cabanillas, Cabanilla, Vilque, entre otros, como está mostrado en la Tabla 30, y para su mejor visualización en la Figura 18.

Tabla 30

Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa en ZAE II “Suní altiplánica”; Ccas Coata e Illpa, (ETo Penman-Monteith y Hargreaves-Samani: 1997-2018)

Distrito	Rdto (kg/ha)	ETo f(P-M)		ETo f(H-S)	
		H-Hv (m3/kg)	H-Hv (L/kg)	H-Hv (m3/kg)	H-Hv (L/Kg)
Juliaca (II)	664,7	4,144	4144	4,144	4144
Caracoto	707,0	3,897	3897	3,897	3897
Caminaca	703,1	3,919	3919	3,919	3919
Calapuja	695,4	3,962	3962	3,962	3962
Vilque	809,9	4,010	4010	4,014	4014
Pucara	751,7	4,358	4358	5,771	5771
Cabanilla	679,6	4,956	4956	6,469	6469
Cabanillas	684,4	4,921	4921	6,423	6423
Tiquillaca	755,5	4,299	4299	4,303	4303
Lampa	677,8	5,254	5254	5,295	5295
Cabana	728,5	4,623	4623	6,034	6034
Mañazo	818,8	3,967	3967	3,970	3970
Promedio ZAE:	723,0	4,359	4359	4,850	4850

Al momento, la huella hídrica del cultivo de kañiwa que representa a la zona agroecológica “Suní altiplánica” del ámbito en estudio es de 4359 L kg⁻¹ (ETo P-M), donde el valor mayor está para el distrito de Lampa y menor para Caracoto con 5254 y 3897 L kg⁻¹ respectivamente. Si cabe subrayar, la reducción requerida de la huella hídrica en los cultivos, más aún en granos andinos, en principio será mejorando la productividad vía mejora de sistemas de producción, y en ello como una de las estrategias de respuesta sería la incorporación del cultivo en una agricultura de riego tecnificado.

El riego localizado del cultivo de kañiwa, de acuerdo con Ramirez *et al.* (2016) muy probable sea practicado en los meses de octubre a diciembre (meses de siembra y primeros estadios), donde existe déficit en el requerimiento de agua para el cultivo por cuanto las precipitaciones efectivas en la zona (315,3 mm) son de menor cuantía e irregular, más aún en los actuales tiempos de cambio climático. En tanto, en zonas de sólo agricultura pluvial la estrategia de respuesta sería vía gestión y manejo integral de cuencas hidrográficas, priorizando proyectos de siembra y cosecha de agua a todo nivel.

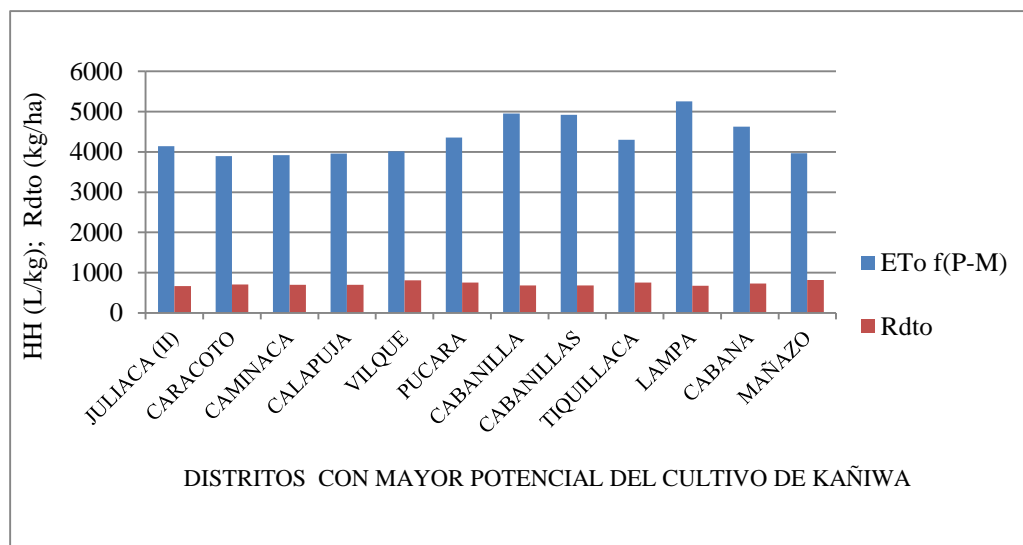


Figura 18. Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa ZAE II , cuencas Coata e Illpa

Para la zona agroecológica “Suní altiplánica” (Tabla 30) realizado un análisis de regresión entre variables independientes, rendimiento del cultivo (kg ha^{-1}) y dependientes huella hídrica (L kg^{-1}), la función que más se ajustó es la potencial, siendo la ecuación: $\text{HH} = 1\text{E} + 07 (\text{Rdto})^{-2,3}$, con un coeficiente de correlación de $r = 0,652$, donde el grado de asociación entre las variables es aceptable. La pendiente negativa de la función indica la relación inversa entre los variables; es decir, una menor huella hídrica será con mayores rendimientos.

Tabla 31

Ecuaciones de regresión y r^2 entre huella hídrica verde y sus componentes en la producción de kañiwa, cuencas Coata e Illpa

Variabes Depend-Indep.	Ecuaciones	R ²	R
1. HH = f(Rdto)	$y = 4E+11x^{-2,765}$	R ² = 0,8716	r = 0,93
2. HH = f(PE)	$y = 15,814x - 929,4$	R ² = 0,539	r = 0,73
3. HH = f(h)	$y = 1E - 32x^{9,9378}$	R ² = 0,9941	r = 0,997

HHv: Huella hídrica verde (L kg⁻¹); ZAE II; Rdto: Rendimiento del cultivo en grano (kg ha⁻¹)
PE: Precipitación efectiva (mm PV⁻¹); h: altitud media del lugar (msnm).

Generalizando, para las cuencas de Coata, Illpa y cuencas de apoyo, en el cultivo de kañiwa existen factores principales que sin duda explican la variación de valores de la huella hídrica como es: rendimiento del cultivo, factor clima y la ubicación geográfica de las parcelas productivas. En la Tabla 31 esta mostrado las ecuaciones de regresión producto del procesado de resultados de huella hídrica verde (HHv) en las diferentes zonas agroecológicas.

Para la 1^a ecuación HH = f (Rdto del cultivo), la pendiente es negativo, por lo que se ratifica la relación inversa entre las dos variables, siendo la alternativa a priorizar para reducir la HH mejorar los rendimientos del cultivo en unidad de superficie. Aquí el grado de explicación de la variable rendimiento hacia HHv es de un 87% coeficiente de alta confiabilidad. Casi en todas las zonas de producción, al momento las labores culturales en el cultivo de kañiwa son poco practicados, por lo que mejorar la producción y productividad es un reto a fin de lograr las recomendaciones de investigaciones realizadas en el ámbito de la región Puno.

La 2^a ecuación está referida a la relación de HHv y la variable precipitación efectiva que es preponderante en asegurar cosechas de kañiwa en las zonas de régimen pluvial. Así, en localidades con mayor demanda evaporativa (ZAE II) la necesidad de agua para los cultivos es mayor, siendo decisivos en magnitud y oportunidad la presentación adecuada de las precipitaciones pluviales. Para las zonas del ámbito como está mostrado en la Tabla 31, incluido aquí la ecuación 3^a, la huella hídrica es directamente proporcional a la precipitación efectiva y altitud, donde la explicación de estas variables hacia HH es de un 54 y 99 % respectivamente. Proyectos de adaptación al cambio climático basado en estudios

de vulnerabilidad en el marco de gestión y manejo integrado de cuencas hidrográficas sería como una de las estrategias de respuesta.

4.3.3 Huella hídrica en diferentes sistemas de cultivo

A efectos comparativos e ilustrarse mejor sobre la variación de la huella hídrica con respecto a los rendimientos del cultivo de kañiwa obtenidos bajo diferentes sistemas de cultivo que se practica en las diversas condiciones reportados por DRA-Puno (2019)), y producto de revisiones bibliográficas especializadas; en la Tabla 32, se presenta los resultados de rendimientos de otros sistemas de cultivo como es de nivel tecnológico “intermedio”, y de resultados de investigaciones realizadas a la fecha (ítem 4.2.1). Se señala, que la “tecnología media o intermedio” es cuando se considera, el uso de maquinaria agrícola para la preparación del suelo, calidad de semilla aceptable, uso de fertilizantes con dosis mínimo en el cultivo y prácticas culturales (Callohuanca *et al.*, 2019).

Tabla 32

Huella hídrica para el cultivo de kañiwa según sistemas de cultivo

Sistema y/o Nivel	RACv (ET_v) ETo f (P-M) (m3/ha /PV)	Rdto Kg ha⁻¹	HH L kg⁻¹
Tradicional	3242	723	4484
Intermedio	3242	1375	2358
Investigación	3242	3070	1056
Lisímetro (*)	4453	4485	993

(*): Nivel experimental, HHa : f(ETa).

En la Figura 19 se visualiza que a menores rendimientos del cultivo la huella hídrica es mayor, lo que induce a incrementar tal variable vía consideración cabal de los factores de producción cualquiera fuere la zona de producción. En el caso específico de producción en sistema lisimetría donde la producción de kañiwa en grano muestra tal vez la máxima potencial del cultivo en condiciones de ZAE “Suní altiplánica”, puede considerarse referente en cuanto de la reducción de la HH. Por ello, se subraya que en la agricultura pluvial practicado en todas las zonas de la región, implementar sistemas con riego tecnificado complementario es viable en zonas con irrigación. En zonas de agricultura pluvial solamente, la

adecuación al régimen climático y tecnología adecuada es la alternativa de respuesta.

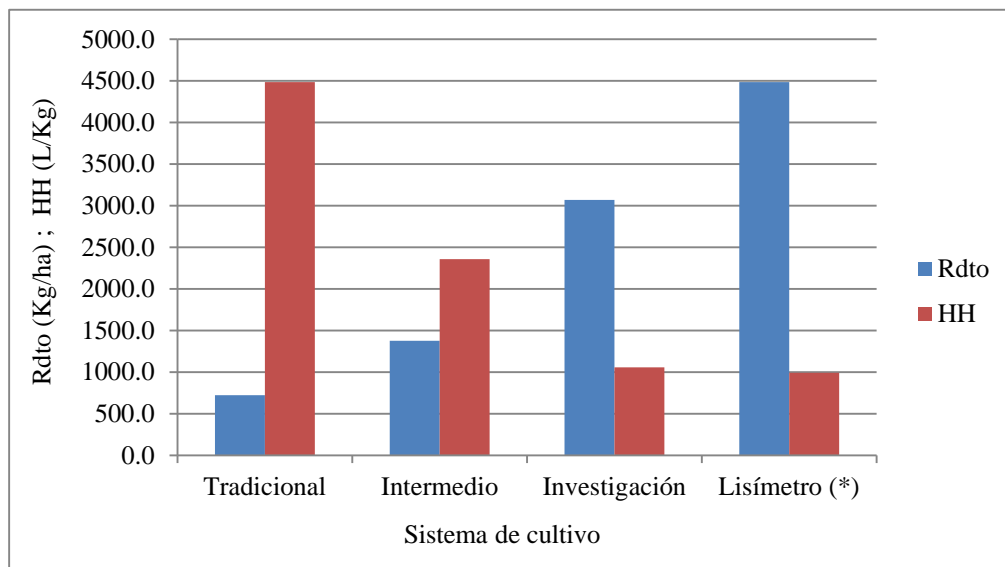


Figura 19. HH de cañiwa según sistemas de cultivo: ZAE “Suní altioplánica”

En la Figura 20, se muestra el resultado de la regresión realizado en base a los variables independiente como el rendimiento en diferentes sistemas del cultivo y, dependiente como huella hídrica. El modelo que se ha adecuado mejor es la potencial, donde la pendiente es negativa, lo que ratifica que la HH está en relación inversa con el rendimiento. Se indica además que el indicador HH está explicado por el rendimiento en un 97,4 % de confiabilidad en las condiciones referidas de producción de cañiwa en Puno.

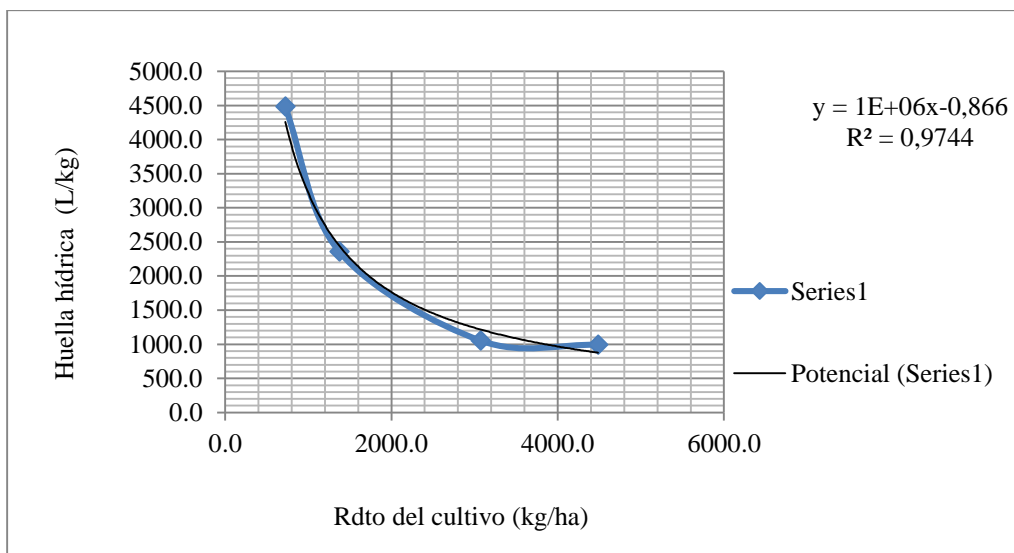


Figura 20. Regresión de rendimiento de diferentes sistemas de cultivo de cañiwa y huella hídrica

4.3.4 Prospectiva de huella hídrica del cultivo de cañiwa

En la Tabla 33, están presentados los resultados de la variación de la huella hídrica en el tiempo para el cultivo de cañiwa para los distritos de Lampa (ZAE Suni altioplánica) y Capachica (ZAE Circunlacustre) basado en los datos de Serie histórica de campañas agrícolas de 2008/2009 a 2017/2018 y, una prospectiva a 2024.

Tabla 33

Huella hídrica temporal del cultivo de kañiwa, distritos de Lampa y Capachica (2009/2018, con prospectiva a 2024)

Año	Lampa			Capachica		
	ETv	Rdto L	HH Lamp	ETv	Rdto C	HH Cap
	ETo f(P-M) (m3/ha /PV)	(kg/ha)	(L/kg)	ETo f(P-M) (m3/ha /PV)	(kg/ha)	(L/kg)
2009	3188	663,7	4803	2233	875,0	2552
2010	2808	687	4087	3805	875,0	4349
2011	3425	674	5082	3447	875,0	3939
2012	3702	677,9	5461	3281	888,9	3691
2013	3047	653,2	4665	2718	875,0	3106
2014	2773	678,9	4085	2490	888,9	2801
2015	2537	682,1	3719	2568	877,8	2926
2016	2115	724,1	2921	2222	860,0	2584
2017	3779	761,9	4960	2307	1,000,0	2307
2018	3379	703,7	4802	2842	1,000,0	2842
Prom.:	3075,3	690,7	4458,5	2791,3	901,6	3109,7
TASA CREC. (%)		0,3			2,5	
2019	3075,3	705,8	4357	2791,3	1025,0	2723
2020	3075,3	707,9	4344	2791,3	1050,6	2657
2021	3075,3	710,0	4331	2791,3	1076,9	2592
2022	3075,3	712,1	4319	2791,3	1103,8	2529
2023	3075,3	714,2	4306	2791,3	1131,4	2467
2024	3075,3	716,3	4293	2791,3	1159,7	2407

Para Lampa, como distrito representativo de mayor área cultivada (promedio 375,6 ha) el valor promedio de huella hídrica fue de 4458,5 L kg⁻¹, observándose en la Tabla 33 un pendiente exiguo negativo excepto los años 2017 y 2018 produciéndose saltos aun con rendimientos aceptables. Tal variación, se atribuye a las precipitaciones no acordes a las necesidades hídricas de las fases fenológicas del cultivo de kañiwa en especial en los meses de primeros estadios (Oct-Dic) y, la ocurrencia de mayores precipitaciones en los meses húmedos (Ene-Mar). Para el caso en mención, se verificó con la revisión de la Serie histórica y se evidenció el comportamiento irregular de las precipitaciones en la zona.

Como estrategias de respuesta, es viable la reducción de la huella hídrica verde con el incremento de la productividad del agua y suelo en la agricultura de “secano” mediante la mejora de sistemas de cultivo (tecnología intermedia), aumentando las eficiencias de uso del agua en el cultivo de kañiwa, ya que la potencialidad de incrementar la producción, productividad y calidad del cultivo es viable. En el distrito de Lampa y condiciones similares de las zonas agroecológicas “Suní altiplánica”, es factible mejorar los indicadores de uso eficiente del agua vía proyectos productivos en el contexto de una agricultura sostenible, seguridad alimentaria y nutricional, pero, con seguridad hídrica.

Para Capachica, distrito que representa a la ZAE Circunlacustre con rendimientos en el cultivo de kañiwa aceptables ($\approx 902 \text{ kg ha}^{-1}$), el indicador huella hídrica resultó en promedio de 3110 L kg^{-1} , un 30.2 % menor que de Lampa. La explicación está por los mayores rendimientos del cultivo que se obtienen, esto por los mejores factores de producción que se aprovecha; pero las áreas de cultivo son menores (8,8 ha en promedio).

La población del distrito de Capachica como en otras localidades de la zona Circunlacustre del Lago Titicaca se dedican o priorizan a otros cultivos (papa, quinua, habas, hortalizas, etc.), tal vez de mayor actividad comercial; sin embargo, el incremento de áreas de cultivo en condiciones de Huata, Coata, Pusi, etc es posible con la ampliación de frontera agrícola, considerando que a futuro el grano andino kañiwa será el líder tan similar a quinua incluyéndose a proyectos estratégicos de prioridad de acuerdo a DRA-Puno.

Realizado algunas regresiones para los distritos de Lampa y Capachica, considerando la huella hídrica como variable dependiente (Y , Lkg^{-1}), y precipitación efectiva como variable independiente (X , mm PV^{-1}), las ecuaciones fueron de tipo potencial, siendo para Lampa $y=55,67x^{0,7503}$, explicándose aquí que la ocurrencia de la precipitación pluvial en la variación de huella hídrica es de un 80,8 % ($R^2=0,8085$) y una correlación de un 0,899 entre variables.

En cambio, para Capachica la ecuación resultó: $Y=34,22 x^{0,7778}$ ($R^2 = 0,7148$), siendo el grado de correlación muy alta de ambas variables. Generalizando, en las cuencas de Coata y Illpa la ocurrencia de las precipitaciones en una campaña agrícola debiera ser de acuerdo a las fases fenológicas de los cultivos por ende en



la producción de kañiwa en la región Puno. Es decir, al menos una distribución regular de las precipitaciones en el período vegetativo y, una tecnología adecuada son factores clave que aseguraría la reducción de la huella hídrica verde en el futuro. Luego, la implementación gradual de sistemas de riego localizado, la práctica de una agricultura orgánica sostenible, selección de ecotipos apropiados a las condiciones locales, un manejo integral de cuencas hidrográficas son recomendaciones como estrategias de respuesta.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación permiten concluir:

1. La evapotranspiración del cultivo de kañiwa para su periodo vegetativo por métodos indirectos para las zonas agroecológicas: Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda de las cuencas de Coata e Illpa, los valores obtenidos por el método de ETo Penman-Monteith fueron de 557, 513 y 492 mm de lámina hídrica respectivamente. Realizado una prueba “t” de comparación de medias con el método Hargreaves-Samani se acepta la hipótesis alterna ($\alpha=0,05$). En cambio, a nivel experimental la evapotranspiración del cultivo de kañiwa variedad “ILLPA-INIA 406” por el método de lisímetro NFC fue de 445,3 mm de altura de agua.
2. Con el sistema tradicional, los rendimientos del cultivo de kañiwa en grano para las zonas agroecológicas Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda fueron de: 770,9; 723 y 697,3 kg ha⁻¹. En la variación de rendimientos en ZAEs, basado en la prueba “t” de comparación de medias se acepta la hipótesis planteada ($\alpha=0,05$). En cambio, el rendimiento del cultivo de kañiwa en grano obtenido en el sistema lisímetro NFC deducido a kg ha⁻¹ fue de 4485. El buen rendimiento en el experimento es atribuible a las condiciones adecuadas de los factores de producción que se dieron en la campaña agrícola 2010/11, en especial a la buena dotación y oportuna de agua de riego.
3. La variación de la huella hídrica verde (HHv) para las zonas agroecológicas Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda, para con el método “ETo Penman-Monteith” fueron de 3969, 4359 y 5329 L kg⁻¹. En cambio, para con el método “ETo Hargreaves-Samani” fueron de 3939, 4850 y 5381 L kg⁻¹. Realizado la prueba “t” en la comparación de medias, la HHv en las ZAEs es diferente ($\alpha=0,05$). Los rendimientos adecuados y una distribución aceptable de la precipitación efectiva corroborarían en la reducción de la HHv. Mientras la Huella hídrica azul para el cultivo de kañiwa variedad “ILLPA-INIA-406” a nivel experimental conducido en CIP-ILLPA, para la producción en grano, fue necesario de 993 L kg⁻¹ bajo el sistema lisímetro NFC en condiciones sin déficit de humedad del suelo.



RECOMENDACIONES

- Determinar la evapotranspiración de cultivos andinos mediante métodos directos como Lisímetros y Evapotranspirómetros en zonas agroecológicas estratégicas, y a nivel de zonas homogéneas de producción en cuencas hidrográficas.
- Considerar los resultados del presente estudio a efectos de obtener el volumen de agua virtual de exportación nacional e internacional de kañiwa en grano, y en la implementación de proyectos de riego localizado (RLAF) con énfasis en la producción orgánica.
- Realizar estudios de zonificación agroecológica en la Región Puno para cultivos andinos, considerando la huella hídrica verde y azul en el escenario de uso eficiente del agua en los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. 258 pp.
Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- ANA-WWF-PERÚ (2015). *Huella Hídrica del Perú Sector Agropecuario-Perú*. 115 pp.
Recuperado de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/197>
- Apaza, S., Huanca, E., y Apaza, C. (2020). *Densidad poblacional, grados de infestación e influencia de factores edafoclimáticos en la infestación de Nacobbus spp. y Globodera spp. en papa (Solanum spp.) de Puno*. Polo del Conocimiento, 5.
<https://doi.org/10.23857/pc.v5i12.2066>
- Apaza, V. (2010). *Manejo y mejoramiento de kañiwa*. INIA- Puno y CIRNMA. Puno, Perú. 76 pp. Recuperado de
http://www.nuscommunity.org/uploads/tx_news/Libro_Manejo_y_Mejoramiento_Kañiwa.pdf
- Arévalo, D., Zárate, E., Fernández, A., Kuiper, D., y Moreira, D. (2017). *Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica*. GSI-Euroclima-IICA. Editorial: R. Cascante. 54 pp . Recuperado de
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2996/BVE17068913e.pdf;jsessionid=6261D0122311877748A8C1310A81501A?sequence=1>
- Ariza, W., y Arévalo, D. (2018). *Estimation of the blue and green water footprint of coffee production in eight basins in the south of the Department of Huila*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.2284>
- Arnillas, C., Carranza, C., Mesones, C., Moretti, M., y Bueno, O. (2013). *Plan estratégico de la cañihua*. Centrum Graduate Business School-Pontificia Universidad Católica del Perú-EPG. 232 pp.
Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9595>
- Bartolo, E., y Dolly, E. (2013). *Propiedades nutricionales y antioxidantes de la cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. Revista de Investigación Universitaria, 2(1), 47-53.



- Bedoya-perales, N., Mujica, A., Talamini, E., Pumi, G., Padula, A., y Alegre, P. (2018). *Expansión de la quinua en Perú y sus implicaciones para la ordenación territorial*. Sustainability - MDPI. <https://doi.org/10.3390/su10020532>
- Benique, E. (2019). *Impacto del cambio climático en el rendimiento de la producción de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) en la Región - Puno*. Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research, 21(2), 100–110. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.454>
- Callohuanca, A., Mamani, E., Quispe, A., y Yucra, M. (2019). *Cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) alimento funcional*. UNA-Puno, ed. Primero. Recuperado de <http://isbn.bn.p.gob.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=108539>
- Calzada Benza, J. (1982). *Métodos Estadísticos para la Investigación* (D. E. Jurídica.); 3ª ed.). Recuperado de https://books.google.com.ec/books/about/Métodos_estadísticos_para_la_investiga.html?id=SupUAAAAYAAJ
- Canga, J. (2015). *La Huella de Agua (ISO 14046)*. Iso 14046, 7. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/jose-luis-canga/huella-agua-o-huella-hidrica-que-que damos>
- Cardona, C. M., y Ochoa, B. C. (2013). *La huella hídrica un indicador de impacto en el uso del agua*. Tecnogestión, 10(1), 20–25.
- Charaja, A. (2017). *Evapotranspiración de los cultivos papa, quínua y alfalfa estimados mediante métodos empíricos aplicados a la cuenca del Lago Titicaca Peruano*. Universidad Nacional del Altiplano, Tesis EPG. 115 pp. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7784>
- Chirinos Ortiz, T. (2018). *Efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en Ccaje, 2015 – 2016*. 051, 631–644. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2018.3.87>
- DRA-Puno. (2019). *Serie histórica de producción agrícola*. Recuperado de <https://www.agropuno.gob.pe/informacion-estadistica/estadistica-agricola/>



- Flores, L. (2013). *Evapotranspiración en función de factores y elementos del clima en el Altiplano Peruano*. Universidad Nacional del Altiplano, Tesis EPG. 221 pp.
Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/250>
- Flores, L., Silva, C., y Flores, E. (2015). *Modeling of potential evapotranspiration in the high plains of Puno*. *Ciencia & Desarrollo*, 83–90.
Recuperado de <http://www.revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/519>
- Gade, D. (1970). *Ethnobotany of cañihua (Chenopodium pallidicaule), rustic seed crop of the Altiplano*. 24(January), 55–61. <https://doi.org/DOI>.
<https://doi.org/10.1007/BF02860637>
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher. (2008). *Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa*. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 6–8. Recuperado de <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010042505>
- Grossi, H., y Righini, R. (2002). *Acerca de la distribución de la heliofanía*. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 6(0329–5184), 37–41.
- Guerra, E. (2015). *Efectos de la variabilidad climática en la producción de cultivos bajo riego complementario en el altiplano del Perú*. Universidad Nacional del Altiplano, EPG. 177 pp.
Recuperado de <http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/434>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. S. A. D. C. V. McGRAW-HILL / Interamericana editores; Sexta ed. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., y Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Recuperado de <http://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/key/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf>
<http://www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf>
- Huanca, E., y Quispe, E. (2011). *Determinación de ET y eficiencias de uso del agua en el cultivo de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. *Revista Ciencias Agrarias, UNA-Puno*, 1(2225–5176), 7 pp.



- Ibañez, V. (2015). *Análisis y diseño de experimentos* (UNA-PUNO).ed.1^a. 446 pp.
- Jacobsen, S., Mujica, A., y Ortiz, R. (2003). *La importancia de los cultivos andinos*. Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología, 13(36), 14–24.
Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/705/70503603.pdf>
- Juaréz, F., Villatoro, J., y López, E. (2002). *Apuntes de Estadística Inferencial*.
<http://www.rincondepaco.com.mx/rincon/Inicio/Apuntes/Inferencial.pdf>
- Mallma, T., y Mejía, J. (2015). *Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la sierra central y comercializados en Lima*. Apuntes de Ciencia & Sociedad, 05(01), 128–134. <https://doi.org/10.18259/acs.2015020>
- Mamani, E. (2013). *Caracterización molecular de 26 accesiones de cañihua (chenopodium pallidicaule Aellen) con mayor rendimiento en grano: altiplano, Puno* [Universidad Nacional del Altiplano EPG]. 109 pp.
Recuperado de <http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/252>
- Mamani, F. y Aliaga, S. (2017). *Estado de arte del cultivo de Cañahua (Chenopodium pallidicaule Aellen) en Bolivia*. Congreso, memoria: saberes y conocimientos en cañahua-Bolivia. 60 pp. Recuperado de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cidab.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=021413>
- Mayta, N. (2019). *Prospectiva económica de la producción y comercialización de la cañihua (chenopodium pallidicaule Aellen) en la Región Puno* [Universidad Nacional Agraria La Molina].121 pp.
Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4065>
- MINAGRI-ANA. (2008). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú*, ANA (p. 38).
Recuperado de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1880>
- MINAGRI-ANA. (2013). *Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú: Memoria 2013*. Autoridad Nacional del Agua, 255 pp.



- Moraguez A., E. M. y G. A. (2015). *La prueba de hipótesis Kolmogorov-Smirnov para dos muestras pequeñas. I* (ISSN 1814-151X), 78–90.
Recuperado de <https://luz.uho.edu.cu/index.php/luz/article/view/686/579>
- Novoa, V., Rojas, O., Arumí, J. L., Ulloa, C., Urrutia, R., y Rudolph, A. (2016). *Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile*. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 35–50.
Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222016000200035&script=sci_abstract&tlng=pt
- Onyanha, D. y Gachene, C. (2017). *FAO-Cropwat model-based estimation of the crop water requirement*. *Research Journal's Journal of Ecology*, April 2018.
<https://doi.org/324803989>
- Pulgar, V. (1987). *Las ocho regiones naturales del Perú*. *Terra Brasilis (Nova Série)*, 5, 17 pp. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Ramírez-Cando, L. J., Vilches, R., Lizano, R. X., Pinzón, I., Colmenares, P., y Sandoval, E. (2017). *Estimación de la Huella Hídrica y de Carbono en los cultivos comunitarios de Quínoa (Chenopodium quinoa Wild) correspondientes a la zona central de los andes ecuatorianos*. 78(2), 173–182.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1054>
- Ramirez, D., Chipana, R., y Echenique, M. (2016). *Aplicación de biol y riego por goteo en diferentes cultivares de cañahua*. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, La Paz., 3, 30–38.
Recuperado de http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n1/v3n1_a05.pdf
- Rendón, E. (2015). *La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú*. (Vol. 2).
Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/143615435.pdf>
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., y Jacobsen, E. (2006). *Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (Chenopodium quinoa) and Kañiwa (Chenopodium pallidicaule)*. In *Food Reviews International* (Vol. 19, Issue 1).
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/FRI-120018884>



- Salazar, L., Aguirre, M., Leandro, V., Velásquez, O. (2007). *Evaluación de los recursos hídricos de las cuencas Cabanilla y Lampa*. 240 pp. Recuperado de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1830>
- Seguí, L., García, D., y Guerrero, H. (2016). *Huella Hidrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos*. Revista Ciencia Nicolaita, December. Recuperado de <https://www.cic.cn.umich.mx/index.php/cn/index>
- SENAMHI-P. (2019). *Plan Estratégico Institucional del SENAMHI : 2017 - 2019*. Recuperado de https://www.senamhi.gob.pe/pdf/trans/2.2.2_2017-2019-01.pdf
- Serruto, A. (2017). *Nuevo método para el cálculo de la evapotranspiración potencial*. Ciencias Agrarias, UNA-Puno, 1(2225–5176), 5–8.
- Tapia, M. (2013). *Diagnóstico de los ecosistemas de montañas en el Perú*. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain_partnership/doc/TCP_Andes/DiagnosticoPeruVersion_2_de_sept-_1-55.pdf
- Tapia, Mario. (2017). *Industrialización de la kañihua en el Centro Promotor de La Industrialización de la Kañiwa*. Universidad Global, 01, 54 pp. Recuperado de [http://repositorio.uglobal.edu.pe/bitstream/uglobal/19/3/Industrializacion de la Kanihua.pdf](http://repositorio.uglobal.edu.pe/bitstream/uglobal/19/3/Industrializacion%20de%20la%20Kanihua.pdf)
- Tapia, M. (2018). *Los Granos Andinos, en la historia*. Universidad Global Del Cusco; ANPE, Perú . 18 pp. Recuperado de <http://www.indap.gob.cl/docs/default-source/vii-congreso-quinua/ejes-tematicos/recursos-geneticos/los-granos-andinos-en-la-historia-peru.pdf>
- Tolón, A., Lastra, X., y Fernández, V. (2013). *Water footprint and sustainability of water resources use*. MOA, 56–86.
Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4814567>
- Vasquez, A., Vasquez, I., Vasquez, C., y Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de la Ingeniería de Riegos*. PRIMERA (Ed.), UNALM (Vol. 1). 440 pp.
Recuperado de <https://www.hidrosm.com/2018/05/fundamentos-de-la-ingenieria-de-riegos.html>



Vejarano, A., y Morales, G. (2007). *Agroecological zones of hydrographic basins of Peru*. Pueblo Cont., 18(1), 109–116. Recuperado de <http://journal.upao.edu.pe/PuebloContinente/article/view/615>

Velásquez, R. (2018). *Cosecha orgánica de granos andinos* (Universidad Nacional del Altiplano) (ed. Primero). 240 pp.

Vilca, J. (2018). *Huella hídrica de cultivos andinos de la Región Puno comercializados en la Región Arequipa*. Riepg. Recuperado de, <http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/1310>

Villón, M. (2016). *Hidrología Estadística* (UNALM-CENIDA. 5ª ed.). 436 pp. Recuperado de [_http://maximovillon.blogspot.com/p/hidrologia-estadistica.html](http://maximovillon.blogspot.com/p/hidrologia-estadistica.html)



ANEXOS

ANEXOS DE TABLAS:

1. INFORMACION METEOROLÓG. DE DIFERENTES ESTACIONES DE CUENCAS COATA E ILLPA, PUNO

TABLA 36 : *Inform. Meteorológ., Estación Lampa (CO. 110779; 1997-2018); (*): 96-2001)*

LAT. Sur: 15°21'24.4" LONG. Oeste: 70°22'14.6" ALT.: 3892 msnm

Var.	T ^o mín	T ^o máx	T ^o med	HR	Vv	Insolación	pp
Mes	°C	°C	°C	%	m/s	Hr/d (*)	mm
ENE	4.3	16.3	10.3	68.0	2.2	5.9	151.0
FEB	4.6	16.2	10.3	70.0	2.2	5.7	145.9
MAR	3.9	16.2	10.0	70.0	2.0	6.3	120.7
ABR	1.5	16.5	9.0	65.0	1.9	7.6	48.1
MAY	-3.1	16.5	6.7	58.0	1.9	9.5	7.8
JUN	-5.5	16.0	5.3	55.0	1.9	9.4	2.7
JUL	-5.9	15.9	5.0	53.0	2.0	9.8	4.4
AGO	-4.6	16.7	6.1	52.0	2.4	9.5	6.7
SET	-2.1	17.7	7.9	53.0	2.4	9.1	21.1
OCT	0.5	18.2	9.4	53.0	2.4	8.8	52.8
NOV	1.0	19.0	10.0	53.0	2.3	8.9	55.2
DIC	3.0	18.0	10.5	56.0	2.4	7.7	128.1
PROM.	-0.2	16.9	8.4	58.8	2.2	8.2	744.5

Fuente: SENAMHI DZ 13 - Puno

TABLA 37 : *Información meteorológica, Estación Chuquibambilla -Melgar (1997-2018)*

LAT: 14°47'05.2"

LONG: 70°42'56.5

ALT. 3971 msnm

Var.	T ^o mín	T ^o máx	T ^o med	HR	Vv	Insolación	pp
Mes	°C	°C	°C	%	m/s	Hr/d	mm
ENE	2.6	15.0	8.8	71.3	3.2	4.8	159.2
FEB	3.3	15.2	9.3	71.2	3.0	4.9	146.2
MAR	2.5	15.4	9.0	72.4	3.0	6.0	130.2
ABR	0.0	15.9	8.0	68.2	2.8	7.4	54.3
MAY	-5.6	15.8	5.1	62.4	2.9	9.1	7.1
JUN	-9.0	15.4	3.2	59.0	2.9	9.5	3.8
JUL	-9.4	15.3	3.0	58.8	3.0	9.7	4.2
AGO	-7.4	16.3	4.5	56.7	3.1	9.3	9.0
SET	-4.0	17.3	6.7	57.5	3.3	8.6	20.2
OCT	-1.2	17.5	8.2	59.0	3.4	7.9	49.9
NOV	-0.4	17.8	8.7	60.4	3.4	7.9	66.3
DIC	1.6	16.5	9.1	66.8	3.4	5.7	129.3
PROM.:	-2.3	16.1	6.9	63.6	3.1	7.6	779.7

Fuente de Información base: SENAMHI DZ 13 - Puno

TABLA 38 : *Infor. meteorológica de Estación Puno (1997-2018; (*): 2015-2018)*

LAT.Sur: 15°49'34.5" LONG. Oeste: 70°00'43.5"

ALT. 3820 msnm

Var. Mes	T ^o mín °C	T ^o máx °C	T ^o med °C	HR %	Vv m/s	Insolación Hr/d (*)	pp mm
ENE	5.9	16.1	11.0	69.0	2.1	5.9	172.7
FEB	6.0	15.7	10.9	70.3	2.1	6.0	162.2
MAR	5.6	15.7	10.7	69.1	2.0	7.0	130.4
ABR	4.1	15.7	9.9	62.7	1.9	7.2	53.1
MAY	1.2	15.5	8.4	53.7	1.8	9.1	7.5
JUN	-0.3	15.0	7.4	50.0	1.7	9.5	2.8
JUL	-0.6	14.9	7.2	50.5	1.8	9.3	4.1
AGO	0.5	15.7	8.1	51.0	2.0	9.9	9.0
SET	2.4	16.7	9.5	53.9	2.2	9.2	27.4
OCT	4.0	17.3	10.6	55.0	2.2	8.6	49.6
NOV	4.9	18.0	11.4	52.7	2.2	8.8	44.1
DIC	5.7	17.3	11.5	62.1	2.3	7.8	93.8
PROM.:	3.3	16.1	9.7	58.3	2.0	8.2	756.7

Fuente base: SENAMHI DZ 13 - Puno

TABLA 39 : *Infor. Meteorológ. De Estación PUCARÁ -Lampa (1997-2018) (-):2014-17*

LAT.Sur: 15°02'19.2" LONG. Oeste: 70°20'56.9"
msnm

ALT: 3910

Var. Mes	T ^o mín °C	T ^o máx °C	T ^o med °C	HR %	Vv m/s (+)	Insolación Hr/d (-)	pp mm
ENE	4.2	16.4	10.3	68.5	2.2	5.8	140.0
FEB	4.6	16.2	10.4	67.7	2.2	6.1	131.8
MAR	3.6	16.5	10.1	69.4	2.0	7.1	117.7
ABR	1.1	16.9	9.0	65.6	1.9	6.8	49.3
MAY	-3.6	16.9	6.6	59.9	1.9	8.2	9.0
JUN	-6.7	16.4	4.8	53.5	1.9	9.2	3.0
JUL	-6.9	16.1	4.5	53.4	2.0	8.9	4.4
AGO	-5.0	17.2	6.0	55.8	2.4	9.6	9.0
SET	-1.8	18.1	8.2	58.1	2.4	8.6	20.4
OCT	0.9	18.4	9.6	61.8	2.4	7.9	57.0
NOV	1.7	18.9	10.3	60.8	2.3	7.9	56.1
DIC	3.2	17.8	10.4	64.1	2.4	6.0	116.2
PROM.:	-0.4	17.1	8.3	61.6	2.2	7.7	714.1

Fuente: Información base SENAMHI DZ 13 - Puno; (+): Est. Índice Lampa.

TABLA 40 : Infor. meteorológica de Estación *Juliaca* -San Román, CO 110820 (1997-2005)

LAT. SUR: 15.44° LONG. OESTE: 70.21° ALT. : 3861m.s.n.m.

Var. Mes	T ^o mín °C	T ^o máx °C	T ^o med °C	HR %	Vv m/s	Insolación Hr/d	pp mm
ENE	3.7	16.7	10.2	64.7	2.1	6.4	153.0
FEB	4.2	16.2	10.2	68.3	1.7	6.3	137.5
MAR	3.3	16.5	10.0	66.2	1.7	6.5	92.2
ABR	0.9	16.7	8.8	57.0	1.9	7.5	43.0
MAY	-4.0	16.5	6.3	47.0	2.2	9.6	7.2
JUN	-6.6	16.1	4.7	43.0	2.7	9.7	1.8
JUL	-7.0	16.1	4.5	42.0	2.5	9.8	2.1
AGO	-4.0	16.7	6.4	43.0	2.6	9.7	9.3
SET	-1.2	17.6	8.2	44.0	2.8	9.1	22.0
OCT	0.5	17.9	9.2	44.0	2.5	8.8	43.6
NOV	1.2	18.5	9.8	48.0	2.6	8.8	39.1
DIC	2.6	18.1	10.4	55.0	2.3	7.8	62.8
PROM.	-0.5	17.0	8.2	51.9	2.3	8.3	613.6

Fuente: Información base SENAMHI DZ 13 - Puno

TABLA 41 : Infor. Meteorológ. de Estación *Cabanillas* -San Román, CO. 110780 (1997-2018)

LAT: 15°38'20.6" LONG: 70°20'46.2" ALT. 3900 msnm

Var. Mes	T ^o mín °C	T ^o máx °C	T ^o med °C	HR %	Vv m/s	Insolación Hr/d (*)	pp mm
ENE	5.0	16.3	10.6	65.7	1.6	6.1	145.7
FEB	5.1	16.0	10.5	69.3	1.5	5.9	145.4
MAR	4.7	16.2	10.5	67.2	1.6	6.8	104.3
ABR	3.3	16.5	9.9	60.1	1.8	8.2	47.6
MAY	1.0	16.6	8.8	48.0	2.4	9.5	4.5
JUN	-0.8	16.1	7.6	44.5	2.3	9.4	1.9
JUL	-1.5	15.9	7.1	43.5	2.4	9.8	3.6
AGO	0.1	16.8	8.5	42.8	2.5	9.6	9.4
SET	1.9	17.7	9.8	44.5	2.6	9.0	19.9
OCT	3.5	18.1	10.8	46.4	2.3	8.6	48.5
NOV	4.1	18.7	11.4	48.1	2.3	8.8	59.7
DIC	4.6	17.6	11.1	58.7	2.0	7.6	113.8
PROM.	2.6	16.9	9.7	53.2	2.1	8.3	704.5

: Información base SENAMHI DZ 13 - Puno; (*): Por regresión

Tabla 42: HELIOFANÍA EN LAS CUENCAS DE COATA, ILLPA (PUNO)

: Ecuaciones y R² obtenidas de regresión altitud & Hr-sol/d de Estaciones base,
para su completación en Estaciones sin información en Ccas Coata, Illpa y Est. de apoyo.

MES	ACION POTENC	R ²	R
OCT	$y = 8E+10x^{-2.784}$	R ² = 0.5229	0.72
NOV	$y = 5E+12x^{-3.281}$	R ² = 0.5988	0.77
DIC	$y = 1E+34x^{-9.253}$	R ² = 0.7311	0.86
ENE	$y = 8E+21x^{-5.892}$	R ² = 0.6394	0.80
FEB	$y = 8E+19x^{-5.326}$	R ² = 0.6057	0.78
MAR	$y = 7E+11x^{-3.064}$	R ² = 0.400	0.63

EST. BASE	ALTITUD (msnm)	ENE	FEB	MAR	OCT	NOV	DIC
LAMPA	3892	5.9	5.7	6.3	8.8	8.9	7.7
CHUQUIBAMB	3971	4.8	4.9	6.0	7.9	7.9	5.7
PUNO	3820	5.9	6.0	7.0	8.6	8.8	7.8
PUCARA	3910	5.8	6.1	7.1	7.9	7.9	6.0
JULIACA	3861	6.4	6.3	6.5	8.8	8.8	7.8
EST.COMPLET. (con reajuste por la zona)							
Sta Lucía	4050	5.9	5.9	6.1	8.1	8.2	7.2
Pampahuta	4400	5.3	5.8	5.6	7.7	7.6	6.5
Cabanillas	3900	6.1	5.9	6.8	8.6	8.8	7.6
Mañazo	3920	6.2	6.0	6.5	8.3	8.5	7.5
Capachica	3828	5.9	6.0	7.0	8.6	8.8	7.8
Laraqueri	4100	5.8	5.9	6.0	8.1	8.1	7.1
Llally	3980	5.3	5.1	6.1	8.2	8.0	7.4
Ayaviri	3928	5.0	5.1	6.2	8.1	7.9	6.2

2. PROCEDIMIENTO EN EL CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE KAÑIWA POR DIFERENTES MÉT. EN ZAE DE CUENCAS COATA E ILLPA, PUNO

TABLA 43: *Uso de programa cropwat 8.0 en el cálculo de evapotranspiración de referencia mét. Penman-Monteith (ej. Para estación Lampa).*

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\Lamapa.PEM							
País		Perú		Estación		Lampa	
Altitud		3892 m.		Latitud		15.36 °S	
				Longitud		70.37 °W	
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	4.3	16.3	68	190	5.7	19.3	3.58
Febrero	4.6	16.2	70	190	5.6	18.9	3.46
Marzo	3.9	16.2	70	173	5.7	18.0	3.27
Abril	1.5	16.5	65	164	5.8	16.4	3.06
Mayo	-3.1	16.5	58	164	5.7	14.4	2.81
Junio	-5.5	16.0	55	164	5.8	13.6	2.62
Julio	-5.9	15.9	53	173	5.7	13.9	2.70
Agosto	-4.6	16.7	52	207	5.7	15.4	3.15
Septiembre	-2.1	17.9	53	207	5.8	17.4	3.57
Octubre	0.5	18.2	53	207	5.7	18.6	3.86
Noviembre	1.0	19.0	53	199	5.8	19.3	4.06
Diciembre	3.0	18.0	60	207	5.7	19.3	3.90
Promedio	-0.2	16.9	59	187	5.7	17.0	3.34

TABLA 44:

Radiación Extraterrestre (Ra) expresada en unidades de Evaporación (mm/día)

LATITUD SUR	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
30	17.8	16.4	14	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13	15.4	17.2	17.9
26	17.6	16.4	14.4	12	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10	11.6	13.7	15.7	17	17.5
20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12	16.6	16.4	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
0	15.0	15.2	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Fuente: Vásquez *et al.*, 2017

TABLA 45 : regresiones entre valores de ETo de P-M y H-S para las condiciones de estaciones de las cuencas de Coata e Illpa (ej. ETo estación Lampa).

Var. Mes	x H-S y P-M	
ENE	3.78	3.61
FEB	3.61	3.48
MAR	3.41	3.37
ABR	3.22	3.30
MAY	2.92	3.19
JUN	2.66	2.92
JUL	2.74	3.06
AGO	3.20	3.55
SET	3.76	4.03
OCT	4.16	4.36
NOV	4.53	4.60
DIC	4.24	4.33
PROM.	3.52	3.65

Tabla 46 : Datos pa'el gráfico de Coeficiente del cultivo "Kc" de Kañiwa para las ZAE de las Cuencas de Coata e Illpa (Metodología FAO).

Informaciones		ZAE I	ZAE: II, III
Fecha de siembra:		OCT. 05	NOV. 01
Fecha fin P.V.		MAR. 15	MAR. 31
Periodo vegetativo ((PV)		161 d	151 d
Fases FAO (días) :	I	30	25
	II	40	40
	III	51	52
	IV	40	34
ETo (mm/d) mes OCT, NOV:	Met. P-M	4.2	4.4
De acuerdo Fig. FAO	Fr Lluvias	7	7
Según Fig. FAO	Kc i	0.67	0.65
Según Tabla FAO y ZAE	Kc (III)	1.13	1.15
	Kc (IV)	0.3	0.3

TABLA 47

Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, K_c y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ($HR_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ET_c.

Cultivo	$K_{c_{ini}}^1$	$K_{c_{mod}}$	$K_{c_{fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
i. Cereales	0,3	1,15	0,4	
Cebada		1,15	0,25	1
Avena		1,15	0,25	1
Trigo de Primavera		1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
Trigo de Invierno		1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
- con suelos congelados	0,4	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
- con suelos no-congelados	0,7	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
Maíz, (grano)		1,20	0,60,0,35 ¹¹	2
Maíz, (dulce)		1,15	1,05 ¹²	1,5

Fuente: Allen *et al.*, 2006

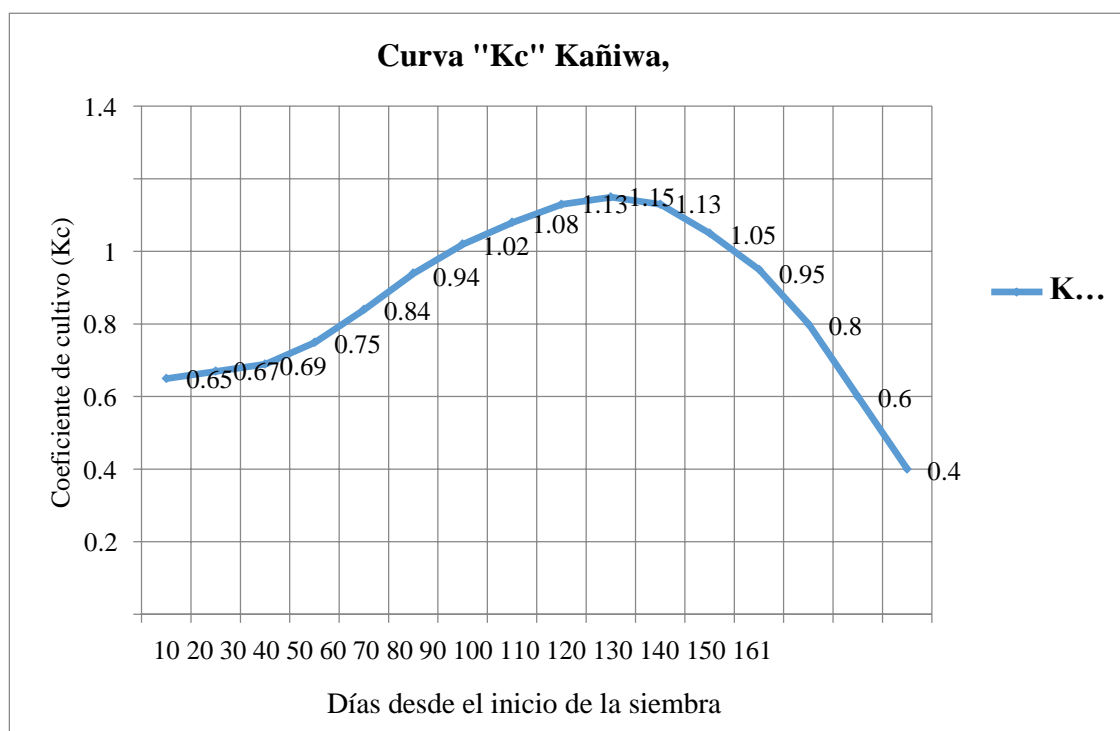


FIG. 23.1 : Curva de coeficiente de cultivo (K_c) de kañiwa para ZAE I ; Ccas: Coata e Illpa.

Tabla 48

ANVA: ETc de kañiwa para las fases fenológicas del ciclo vegetativo por diferentes métodos (mm), ZAE II Ccas Coata e Illpa, Puno.

Modelo lineal general: ET vs. TRAT, BLOQUES

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRAT	2	1266	633.1	1.31	0.338
BLOQUES	3	31008	10336.1	21.35	0.001
Error	6	2905	484.2		
Total	11	35180			

RESUMEN DEL MODELO.

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
22.0053	91.74%	84.86%

Ecuación de regresión

$$ET = 125.18 + 3.05 \text{ TRAT_A} + 10.77 \text{ TRAT_B} - 13.82 \text{ TRAT_C} - 67.9 \text{ BLOQUES_1} \\ + 7.0 \text{ BLOQUES_2} \\ + 74.2 \text{ BLOQUES_3} - 13.3 \text{ BLOQUES_4}$$

Comparaciones para ET

Comparaciones por parejas de Tukey: TRAT
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

TRAT	N	Media	Agrupación
B	4	135.950	A
A	4	128.225	A
C	4	111.350	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: BLOQUES

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

BLOQUES	N	Media	Agrupación
3	3	199.367	A
2	3	132.133	B
4	3	111.900	B C
1	3	57.300	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

TABLA 49 : ETc KAÑIWA MET. PENMAN MONTEITH; EST. Ccas COATA, ILLPA-PUNO

(mm/campaña agríc.)(Ej. ETc , ETv y ETa - KAÑIWA CAPACHICA)

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec	ETv mm/dec	ETa mm/dec
Oct	1	Inic	0.67	2.74	16.4	3.3	13.7	3.3	13.7
Oct	2	Inic	0.67	2.8	28	7	21.1	7	21.1
Oct	3	Inic	0.67	2.85	31.3	6.5	24.9	6.5	24.9
Nov	1	Des	0.7	3.04	30.4	4.4	26	4.4	26
Nov	2	Des	0.82	3.6	36	3.4	32.6	3.4	32.6
Nov	3	Des	0.94	4.02	40.2	8.8	31.4	8.8	31.4
Dic	1	Des	1.06	4.42	44.2	14.6	29.6	14.6	29.6
Dic	2	Med	1.15	4.65	46.5	19.1	27.4	19.1	27.4
Dic	3	Med	1.15	4.43	48.8	25.2	23.6	25.2	23.6
Ene	1	Med	1.15	4.2	42	33.7	8.4	33.7	8.4
Ene	2	Med	1.15	3.98	39.8	40.7	0	39.8	0
Ene	3	Med	1.15	3.98	43.8	37.8	6	37.8	6
Feb	1	Fin	1.08	3.71	37.1	33.7	3.5	33.7	3.5
Feb	2	Fin	0.86	2.99	29.9	31.8	0	29.9	0
Feb	3	Fin	0.67	2.31	18.5	30.3	0	18.5	0
Mar	1	Fin	0.48	1.65	16.5	30.4	0	16.5	0
Mar	2	Fin	0.33	1.13	4.5	11.9	0	4.5	0
Sumatoria (mm)					553.9	342.6	248.2	306.7	248.2

TABLA 50 : ETc , ETv Y ETa-KAÑIWA LAMPA (Ej.)

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec	ETv mm/dec	ETa mm/dec
Nov	1	Inic	0.65	2.6	26	5.8	20.1	5.8	20.1
Nov	2	Inic	0.65	2.64	26.4	5.2	21.3	5.2	21.3
Nov	3	Des	0.67	2.68	26.8	12.2	14.6	12.2	14.6
Dic	1	Des	0.78	3.09	30.9	21.1	9.8	21.1	9.8
Dic	2	Des	0.91	3.54	35.4	27.9	7.5	27.9	7.5
Dic	3	Des	1.04	3.94	43.4	29.3	14	29.3	14
Ene	1	Med	1.15	4.22	42.2	30.9	11.3	30.9	11.3
Ene	2	Med	1.15	4.13	41.3	33.3	8	33.3	8
Ene	3	Med	1.15	4.08	44.9	32.5	12.4	32.5	12.4
Feb	1	Med	1.15	4.03	40.3	31.9	8.5	31.9	8.5
Feb	2	Med	1.15	3.99	39.9	31.7	8.2	31.7	8.2
Feb	3	Fin	1.13	3.85	30.8	29.2	1.7	29.2	1.7
Mar	1	Fin	0.94	3.14	31.4	27.5	3.9	27.5	3.9
Mar	2	Fin	0.69	2.26	22.6	25.7	0	22.6	0
Mar	3	Fin	0.43	1.36	15	19.3	0	15	0
Sumatoria (mm)					497.3	363.5	141.3	356.1	141.3

TABLA 51 : PRUEBA t para ETc entre métodos (Eto P-M & H-S) Ccas Coata e Illpa

ESTACION METEOR.	Etc P-M mm/PV	ETC H-S mm/PV
Capachica	553.9	523.3
Puno	560.3	545.2
Juliaca	535.8	557.8
Pucará	502.6	547.6
Cabanillas	519.2	530.7
Lampa	497.3	549.1
Mañazo	509.4	533.7
Ayaviri	500.1	531.1
Chuquibambilla	488.2	528
Laraqueri	510.7	542.7
Llally	509.4	532.4
Pampahuta	439.5	470
Santa Lucía	502.6	549.1
Promedio Cca:	509.9	533.9

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	509.923077	533.9
Varianza	918.585256	473.0716667
Observaciones		13
Coefficiente de correlación de Pearson	0.62597739	
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		12
Estadístico t	-3.63262041	
P(T<=t) una cola	0.00171709	
Valor crítico de t (una cola)	1.78228756	
P(T<=t) dos colas	0.00343419	
Valor crítico de t (dos colas)	2.17881283	

Como $t_c > t_t \implies$ se rechaza la H_0 :

La **ETc** calculado por los métodos P-M y H-S
nivel de significancia ($\alpha = 0.05$)

son diferentes
 $R = 0.63$

3. INFORMACIÓN SOBRE ÁREA Y RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE KAÑIWA EN LOS DISTRITOS DE CUENCAS DE COATA E ILLPA

TABLA 52 : CULTIVO DE KAÑIWA EN *CULTIVO DE KAÑIWA EN EL*
DISTRITO DE LAMPA, PUNO *DISTRITO DE CAPACHICA, PUNO*

AÑO	AREA has	Rdto Kg/ha	Prod. Año ton	AÑO	AREA has	Rdto Kg/ha	Prod. Año ton
1998	240	695.8	167	1998	6.00	500.0	3.00
1999	255	703.9	179	1999	6.00	750.0	4.50
2000	275	680.0	187	2000	7.00	714.3	5.00
2001	140	607.1	85	2001	5.00	600.0	3.00
2002	280	685.7	192	2002	6.00	666.7	4.00
2003	270	651.9	176	2003	6.00	666.7	4.00
2004	270	600.0	162	2004	6.00	666.7	4.00
2005	275	658.2	181	2005	5.00	800.0	4.00
2006	290	665.5	193	2006	6.00	833.3	5.00
2007	310	700.0	217	2007	6.00	833.3	5.00
2008	320	665.6	213	2008	8.00	750.0	6.00
2009	336	663.7	223	2009	8.00	875.0	7.00
2010	345	687.0	237	2010	8.00	875.0	7.00
2011	365	674.0	246	2011	8.00	875.0	7.00
2012	385	677.9	261	2012	9.00	888.9	8.00
2013	346	653.2	226	2013	8.00	875.0	7.00
2014	380	678.9	258	2014	9.00	888.9	8.00
2015	368	682.1	251	2015	9.00	877.8	7.90
2016	406	724.1	294	2016	10.00	860.0	8.60
2017	420	761.9	320	2017	9.00	1,000.0	9.00
2018	405	703.7	285	2018	10.00	1,000.0	10.00
Prom.	311.3	677.8	212.2	Prom.	7.2	797.6	5.9
Max	420	762	320	Max	10	1,000	10
Min	140	600	85	Min	4	500	3



TABLA 53: CULTIVO DE KAÑIWA EN EL DISTRITO DE SANTA LUCÍA, PUNO **CULTIVO DE KAÑIWA EN EL DISTRITO DE HUATA, PUNO**

AÑO	AREA has	Rdto Kg/ha	Prod. Año ton	AÑO	AREA has	Rdto Kg/ha	Prod. Año ton
1997	20.00	600.00	12.00	1997	25.00	640.00	16.00
1998	20.00	600.00	12.00	1998	36.00	591.67	21.30
1999	20.00	650.00	13.00	1999	30.00	733.33	22.00
2000	25.00	640.00	16.00	2000	30.00	700.00	21.00
2001	25.00	560.00	14.00	2001	27.00	666.67	18.00
2002	25.00	640.00	16.00	2002	25.00	880.00	22.00
2003	26.00	692.31	18.00	2003	25.00	760.00	19.00
2004	24.00	666.67	16.00	2004	22.00	636.36	14.00
2005	23.00	652.17	15.00	2005	20.00	800.00	16.00
2006	24.00	625.00	15.00	2006	20.00	800.00	16.00
2007	22.00	590.91	13.00	2007	20.00	800.00	16.00
2008	20.00	700.00	14.00	2008	20.00	800.00	16.00
2009	21.00	666.67	14.00	2009	20.00	700.00	14.00
2010	20.00	650.00	13.00	2010	20.00	850.00	17.00
2011	22.00	681.82	15.00	2011	20.00	850.00	17.00
2012	24.00	625.00	15.00	2012	20.00	850.00	17.00
2013	25.00	560.00	14.00	2013	20.00	810.00	16.20
2014	25.00	560.00	14.00	2014	20.00	850.00	17.00
2015	26.00	615.38	16.00	2015	20.00	880.00	17.60
2016	27.00	666.67	18.00	2016	20.00	860.00	17.20
2017	26.00	730.77	19.00	2017	15.00	933.33	14.00
2018	26.00	692.31	18.00	2018	14.00	907.14	12.70
Prom.	23.5	639.3	15.0	Prom.	22.2	786.3	17.1
Max	27	731	19	Max	36	933	22
Min	20	560	12	Min	14	592	13



TABLA 54 : PRUEBA *t* para Rdtos del cultivo entre ZAE ($\alpha=0.05$), Ccas Coata e Illpa, Puno

I vs II

Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	770.8571429	723.0233333
Varianza	702.5248571	2624.362479
Observaciones	7	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	17	
Estadístico <i>t</i>	2.677937551	
P($T \leq t$) una cola	0.00794478	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.739606726	
P($T \leq t$) dos colas	0.01588956	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	2.109815578	

$H_0 \neq 0$

II vs III

Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	723.0233333	697.2566667
Varianza	2624.362479	3280.771987
Observaciones	12	6
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico <i>t</i>	0.931296248	
P($T \leq t$) una cola	0.188003169	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.833112933	
P($T \leq t$) dos colas	0.376006338	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	2.262157163	

$H_0 = 0$

I vs III

Prueba *t* para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	770.8571429	697.2566667
Varianza	702.5248571	3280.771987
Observaciones	7	6
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico <i>t</i>	2.893184467	
P($T \leq t$) una cola	0.011605261	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.894578605	
P($T \leq t$) dos colas	0.023210521	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	2.364624252	

$H_0 \neq 0$

TABLA 55 : *Sistemas de cultivo de kañiwa y sus rendimientos, Región Puno.*

SISTEMA TRADICIONAL

ECOTIPO/VARIEDAD	Hábito de crecimiento	PV Días	RDTO Kg/ha	LUGAR	INST./BIBLIOGR.
Chupica Cunacatama	Lasta	160	750	Cabana-Sn Roman	DRA-P
Killu Chuto	Saiwa	140	780	Cabana-Sn Roman	DRA-P
Naranjado kañawa	Saiwa	150	780	Cabana-Sn Roman	DRA-P
Kañahua	Lasta	155	680	La Paz- Bolivia	Mamani (2018)
Promedio:			748		

SISTEMA TECNOLOGÍA " INTERMEDIA

Chilliwa	Lasta	160	1900	Vilque-Puno	Velásquez,2018
Miski kañiwa	Lasta	150	1800	Alto andina	Velásquez,2018
Puca kañiwa	Lasta	150	1400	Alto andina	Velásquez,2018
Ramis	Saihua	160	1200	Puno	Velásquez,2018
Cupi	Saihua	160	1200	Puno, Vilque	Velásquez,2018
Rosada	Lasta	150	1300	Mañazo-Puno	Velásquez,2018
Illimani	Lasta	160	1200	La Paz-Bolivia	UMSA
Kullaca	Lasta	150	1000	La Paz-Bolivia	UMSA
Promedio:			1375		

RDTOS EXPERIMENTALES : Nivel Investigaci

ILLPA-INIA 406 (*)	Saihua	146	4485	CIP-ILLPA	UNA-PUNO, 2010
Lasta kañiwa roja	Lasta	150	3138	Puno	Cahuanca,1975
Kañiwa anaranjada	Lasta	155	3180	Puno	Cahuanca,1975
Karikunka	Saihua	155	2250	La Paz-Bolivia	UMSA
Pucaya	Saihua	150	1950	La Paz-Bolivia	UMSA
Cupi	Saihua	150	3950	CIP-CAMACANI	UNA-PUNO, 1983
Acc 0321204			2538	CIP-ILLPA	Mamani-C,(+)
Promedio:			3070		

(*): Lisimetría en CIP-ILLPA ; (+): Promedio 3 campañas agric. Tesis EPG-EMM

4. SOBRE HUELLA HIDRICA DEL CULTIVO DE KAÑIWA, Ccas COATA, ILLPA

TABLA 56: Prueba de bondad de ajuste de Huella hídrica del cultivo de kañiwa en los distritos de Cuencas base: Coata e Illpa; ETo f(Penman-Monteith).

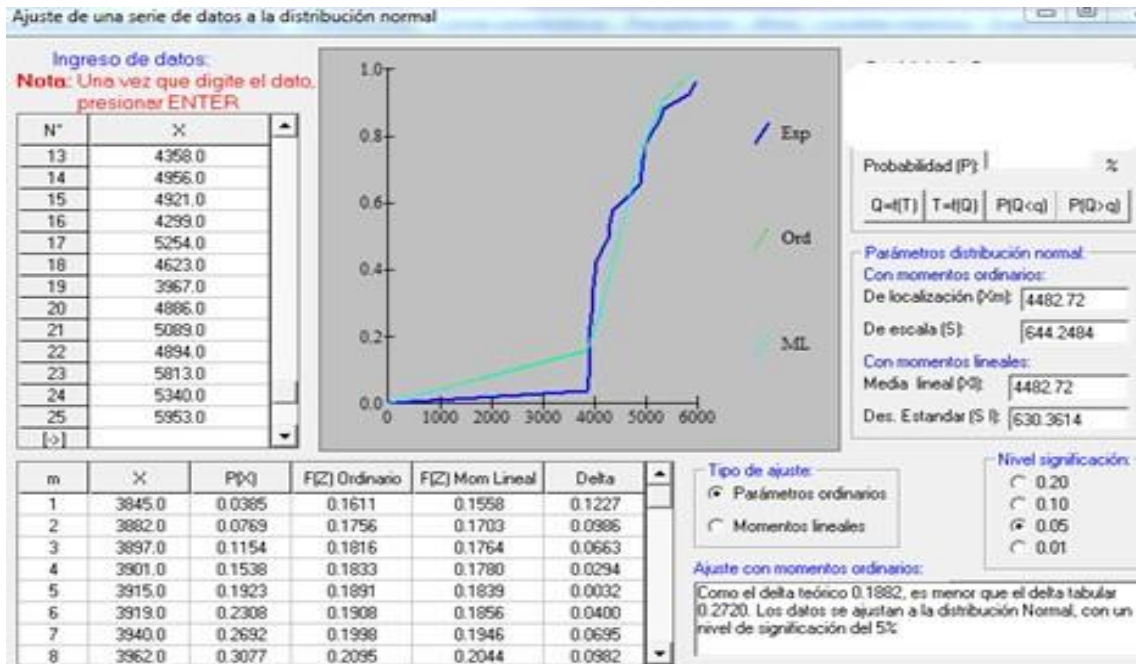


TABLA 57 : Prueba t de comparación de HH en el cultivo de kañiwa *entre ZAEs, Cuencas Coata e illpa* ($Eto = f(\text{Penman-Monteith})$)

I vs II

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	3969.130308	4359.22912
Varianza	22068.91415	221296.455
Observaciones	7	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-2.65465041	
P(T<=t) una cola	0.009428548	
Valor crítico de t (una cola)	1.761310136	
P(T<=t) dos colas	0.018857096	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144786688	
	Ho ≠ 0	.==> Las HHs son diferentes

II vs III

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	4359.229116	5329.01595
Varianza	221296.4554	213542.257
Observaciones	12	6
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	-4.17207184	
P(T<=t) una cola	0.000955828	
Valor crítico de t (una cola)	1.812461123	
P(T<=t) dos colas	0.001911656	
Valor crítico de t (dos colas)	2.228138852	
	Ho ≠ 0	.==> Las HHs son diferentes

I vs III

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Variable 1	Variable 2
Media	3969.130308	5329.01595
Varianza	22068.91415	213542.257
Observaciones	7	6
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	-6.90884306	
P(T<=t) una cola	0.000227329	
Valor crítico de t (una cola)	1.943180281	
P(T<=t) dos colas	0.000454657	
Valor crítico de t (dos colas)	2.446911851	
	Ho ≠ 0	.==> Las HHs son diferentes

5. UBICACIÓN POLÍTICA DEL ÁMBITO DE ESTUDIO Y MAPA DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE CAÑIWA EN LA REGIÓN PUNO.

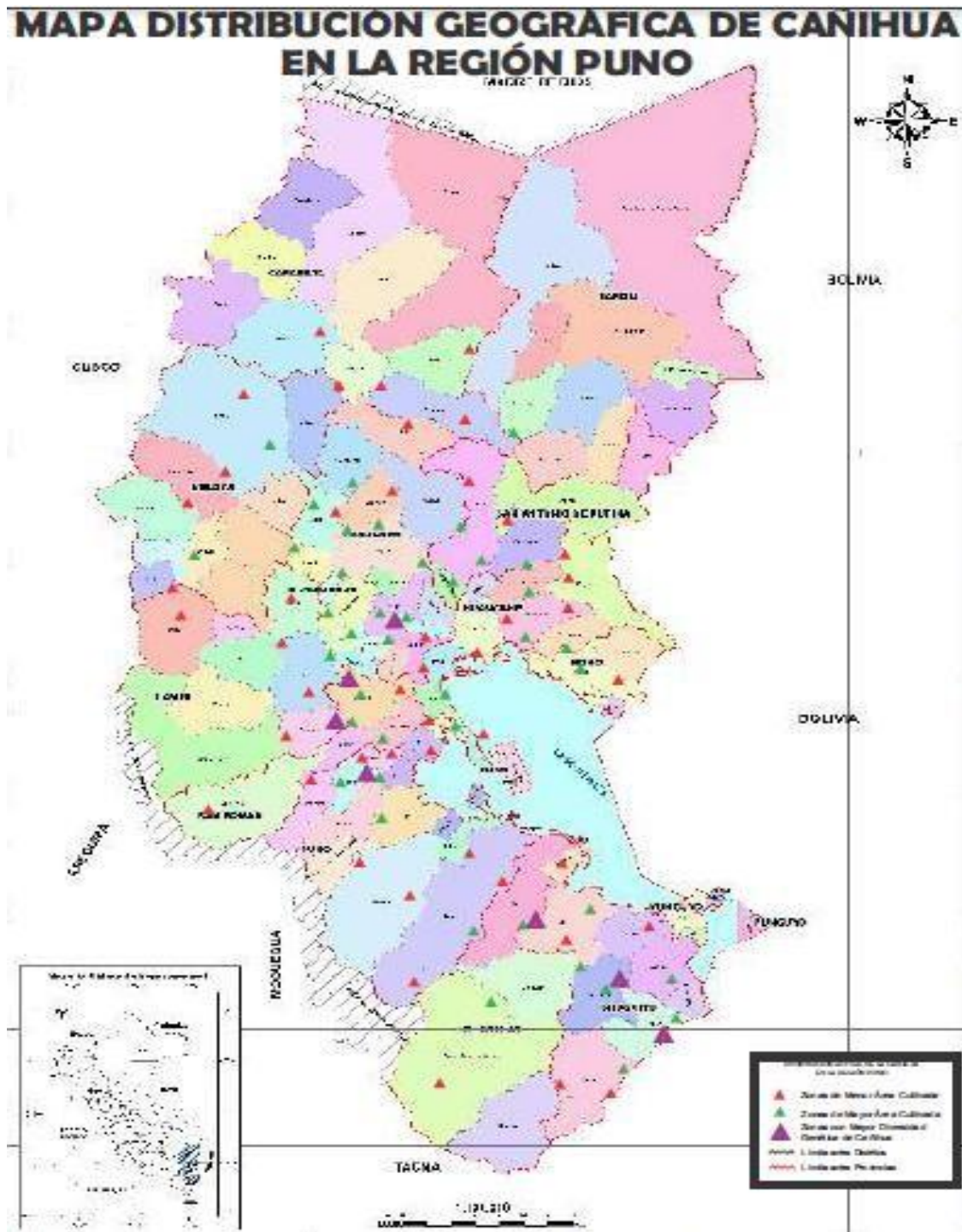


Fig. 23: Ubicación política del ámbito de estudio y mapa de distribución

.Fuente: GRP-DRA (Variabilidad Genética de Cañiwa en las Provincias de Puno, 2012)

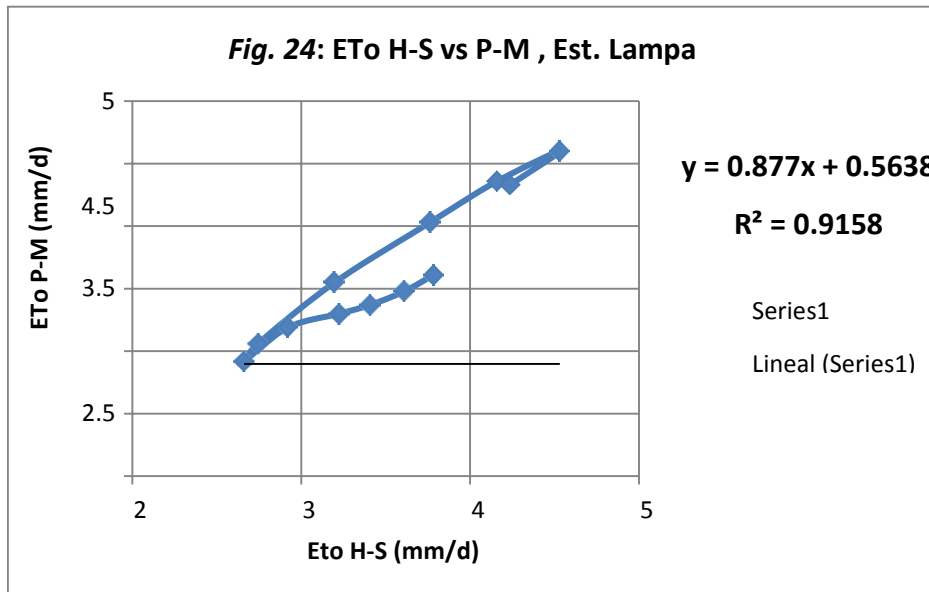
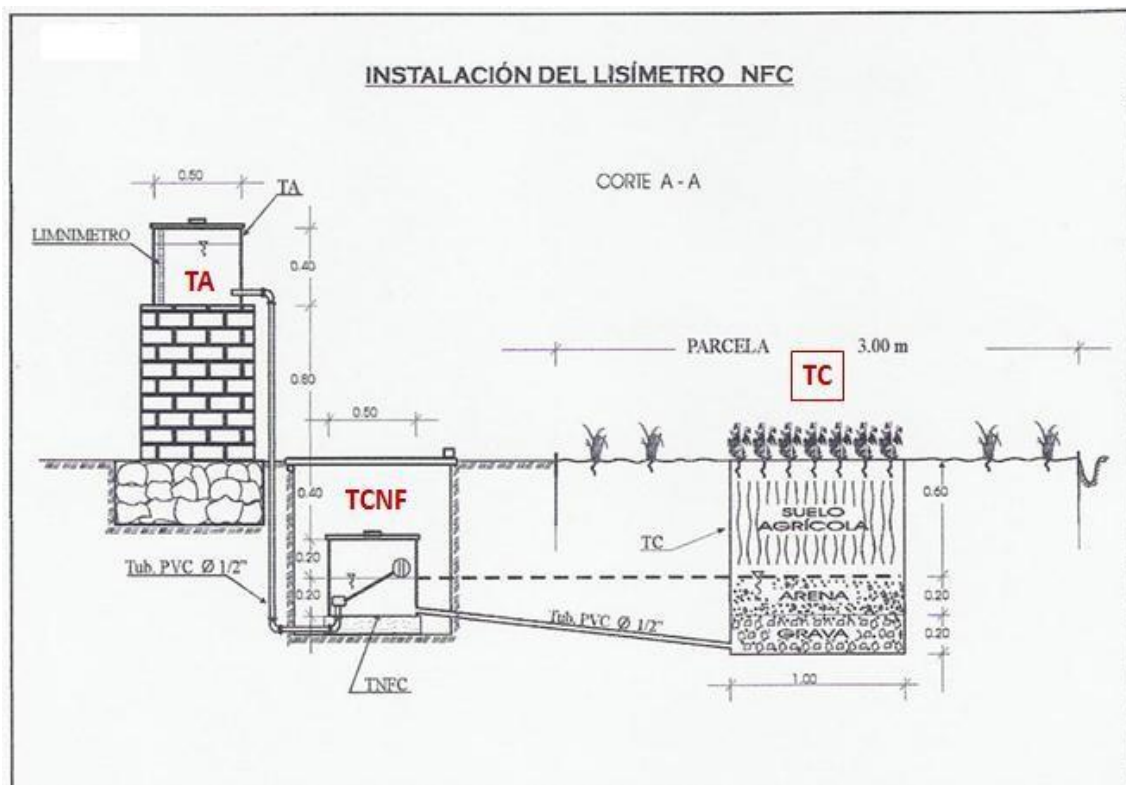


Fig. 25: Lisímetro NFC, CIP-ILLPA



6. PANEL FOTOGRÁFICO.



FOTO 1: Zonas con gran potencial de producción de kañiwa, cuencas Coata e Illpa ZAE II, Puno.



FOTO 2: Cultivo de kañiwa, ecotipo “Pacco luntuza” (Lampa, 2020).



FOTO 3: Agricultora con su cultivo de kañiwa, Huata 2020.



FOTO 4: Muestreo antes de cosecha de kañiwa, Coata (2020).



FOTO 5: Investigación en ecotipos de kañiwa, CIP-ILLPA (2019)



FOTO 6: Investigación de Rdtos en kañiwa, ZAE I (2019).



FOTO 7: Cultivo de kañiwa en lisímetro NFC, CIP-ILLPA (2010/11)