

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE EN LA
PRODUCCIÓN DE LA PAPA ANTE LOS EFECTOS
DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SUBCUENCA DEL
RÍO BUIN, 2013-2017”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

Bach. Torres Huacanca Fredy Josein

ASESOR

Dr. Fernando Castillo Picón

Huaraz, Ancash, Perú

Noviembre, 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE EN LA
PRODUCCIÓN DE LA PAPA ANTE LOS EFECTOS
DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SUBCUENCA DEL
RÍO BUIN, 2013-2017”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

Bach. Torres Huacanca Fredy Josein

ASESOR

Dr. Fernando Castillo Picón

Huaraz, Ancash, Perú

Noviembre, 2019



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI
Resolución de Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: Torres Huacanca Fredy Josein

Código de alumno: 112.0605.014

Teléfono: 944293144

Correo electrónico:

DNI o Extranjería: 72071850

Josefth_in4@hotmail.com

2. Datos del Autor:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

"ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE EN LA PRODUCCIÓN DE LA PAPA ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO BUIN, 2013-2017"

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AMBIENTAL

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: Heraclio Fernando
Castillo Picón

Teléfono: 943692464

Correo electrónico: fercaspi1@gmail.com

DNI o Extranjería: 32043297

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito respecto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma: 

D.N.I.: 72071850

FECHA: Huaraz, 13 de diciembre del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

Una Nueva Universidad para el Desarrollo
Av. Centenario N° 200 – Teléfono (043) 640020 anexo 1103
HUARAZ - ÁNCASH - PERÚ



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis "ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE EN LA PRODUCCIÓN DE LA PAPA ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SUBCUENCA DEL RIO BUIN, 2013-2017", que presenta TORRES HUACANCA FREDY JOSEIN para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.


En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO


Con el calificativo de: CATORCE (14)


En consecuencia, TORRES HUACANCA FREDY JOSEIN queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 20 de Noviembre de 2019


Dr. Alfredo Walter Reyes Nolasco
Jurado (presidente)


Ing. Arnulfo Serna Román
Jurado (primer miembro)


Dra. Bheny Janett Tuya Cerna
Jurado (segundo miembro)


Dr. Heraclio Fernando Castillo Picón
Asesor de tesista



DEDICATORIA

A la vida y a mis sueños

Fredy Josein Torres Huacanca

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado fortaleza para poder llegar hasta este momento tan especial en mi vida; por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre Norma, por ser la mujer más maravillosa de este mundo, quien estuvo siempre a mi lado brindándome su confianza y su apoyo incondicional.

A mis abuelos Julia y Lorenzo, quienes siempre han estado presentes en mi vida, y porque sé que están orgullosos de la persona en la cual me he convertido.

A mi tío Yaso, quien con sus sencillas palabras y actuar dejaron en mí, un gran mensaje para seguir luchando por mis sueños.

A mi hermana Andrea, por ser el regalo más grande y mi motivo de superación.

A mi asesor Dr. Fernando Castillo Picón, quien ha tenido la ardua labor de ser mi guía durante todo este proceso formativo y de investigación.

A mis jurados evaluadores, Dr. Alfredo Reyes Nolasco, Ing. Arnulfo Serna Román y Dra. Bheny Janett Tuya Cerna, por sus comentarios, recomendaciones y observaciones, los cuales ayudaron a culminar con éxito mi trabajo de tesis.

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló con el objetivo principal de analizar el comportamiento de la huella hídrica verde en la producción de la papa ante los efectos climáticos en la sub cuenca del río Buin, durante el periodo 2013-2017, sin embargo, se manejó un periodo relativamente corto por lo que las interpretaciones del comportamiento de los parámetros meteorológicos y la huella hídrica se dieron en un contexto de variabilidad climática.

Para ello se empleó datos de fuentes secundarias de suelo (Laboratorio de suelos-UNASAM), cultivo (FAO) y meteorología (Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo-CIAD); y con ayuda del software CropWat se obtuvo estimaciones anuales de evapotranspiración del cultivo de la papa y la precipitación efectiva dentro de la subcuenca del río Buin. A partir de estas estimaciones se cuantificó la huella hídrica verde (m^3 /t) empleando la ecuación del Dr. Hoekstra.

Finalmente se llegó a la conclusión que, en un escenario de variabilidad climática, la variación de la temperatura durante el periodo de estudio (2013 – 2017) generó un incremento de la pérdida de agua del cultivo de la papa a través de la evapotranspiración. Ante esta pérdida, el consumo del agua de precipitación o huella hídrica verde presentó un incremento en los últimos años, siendo incluso insuficiente para satisfacer las necesidades hídricas de dicho cultivo, requiriendo de otras fuentes como el agua de riego.

Palabras clave: Huella hídrica verde, cambio climático, evapotranspiración, precipitación efectiva, subcuenca Buin, cultivo de la papa.

ABSTRACT

The present study was developed with the main objective of analyzing the behavior of the green water footprint in potato production in the face of climatic effects in the Buin River sub basin, during the 2013-2017 period, however, a period was managed relatively short so that the interpretations of the behavior of the meteorological parameters and the water footprint were given in a context of climatic variability.

For this, data from secondary sources of soil (Soil Laboratory-UNASAM), cultivation (FAO) and meteorology (Center for Environmental Research for Development-CIAD) were used; and with the help of the CropWat software, annual estimates of evapotranspiration of potato cultivation and effective precipitation within the Buin River sub-basin were obtained. From these estimates, the green water footprint (m^3 / t) was quantified using the equation of Dr. Hoekstra.

Finally, it was concluded that, in a scenario of climatic variability, the variation in temperature during the study period (2013 - 2017) generated an increase in the loss of water from the potato crop through evapotranspiration. Faced with this loss, the consumption of precipitation water or green water footprint has increased in recent years, even not being sufficient to meet the potato's water needs, requiring other sources such as irrigation water.

Finally, it was concluded that, in a scenario of climatic variability, the variation in temperature during the study period (2013 - 2017) generated an increase in the loss of water from the potato crop through evapotranspiration. Given this loss, the consumption of precipitation water or green water footprint increased in recent years, even being insufficient to meet the water needs of this crop, requiring other sources such as irrigation water.

Keywords: Green water footprint, climate change, evapotranspiration, effective precipitation, Buin sub-basin, potato cultivation.

INDICE

AUTORIZACION DE PUBLICACION DE TESIS	i
ACTA DE SUSTENTACION	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
ABREVIATURAS Y SIGLAS	xi
CAPÍTULO I	12
INTRODUCCIÓN	12
1.1. Planteamiento del problema	13
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Justificación.....	14
1.5. Descripción del área de estudio	15
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases Teóricas.....	20
2.2.1. Recurso hídrico.....	20
2.2.2. Cambio Climático.....	23
2.2.4. Cultivo de la papa	25
2.2.5. Huella hídrica	30
2.2.6. Software CropWat.....	33
2.3. Definición de términos.....	35
CAPÍTULO III	38
METODOLOGÍA	38
3.1. Tipo de investigación	38

3.2.	Población y muestra.....	38
3.2.1.	Población	38
3.2.2.	Muestra	38
3.3.	Procedimiento	39
3.3.1.	Definición	40
3.3.2.	Visita a campo	40
3.3.3.	Cuantificación de la huella hídrica verde	40
3.3.3.1.	Estimaciones con el software CropWat.....	41
3.3.3.2.	Información utilizada en el software CropWat	41
CAPÍTULO IV	.....	57
RESULTADOS	.....	57
4.1.	Caracterización del cultivo de la papa en la zona de estudio	57
4.2.	Características de los parámetros meteorológicos dentro del área de estudio ...	59
4.3.	Estimación de la huella hídrica verde del cultivo de la papa	62
CAPÍTULO V	.....	67
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	.....	67
5.1.	Características del cultivo de la papa dentro de la zona de estudio.....	67
5.2.	Análisis de los parámetros meteorológicos dentro de la subcuenca Buin, periodo 2013-2017	68
CAPÍTULO VI	.....	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	70
6.1.	Conclusiones.....	70
6.2.	Recomendaciones	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	72
ANEXOS	.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca Buin.....	16
Figura 2. Disponibilidad del recurso hídrico en el Perú	22
Figura 3. Esquema de la estimación de la huella hídrica verde de la actividad agrícola ...	32
Figura 4. Metodología para el análisis de la huella hídrica verde de la producción de la papa	39
Figura 5. Principal cultivo producido dentro de la subcuenca Buin.	57
Figura 6. Actividades económicas dentro de la subcuenca Buin.	57
Figura 7. Fuentes de agua utilizada para la producción de la papa dentro de la subcuenca Buin.	58
Figura 8. Temporadas de siembra del cultivo de la papa dentro de la subcuenca Buin. ...	58
Figura 9. Organización de junta de riego en la subcuenca Buin.	58
Figura 10. impacto social de la migración sobre la actividad agrícola dentro de la subcuenca Buin.	59
Figura 11. Impactos de los eventos meteorológicos sobre el cultivo de la papa en la subcuenca Buin.	59
Figura 12. Gráfico de la temperatura (°C) y precipitación (mm) en la subcuenca Buin, periodo 2013-2017.....	60
Figura 13. Gráfico de la temperatura (°C) y precipitación (mm) en la subcuenca Buin, periodo 2013-2017.....	61
Figura 14. Comportamiento de la huella hídrica verde de la producción de la papa en la subcuenca Buin, 2013 – 2017.....	62
Figura 15. Relación de la evapotranspiración del cultivo de la papa y la temperatura dentro de la subcuenca del río Buin, 2013 – 2017.....	63
Figura 16. Comparación de la precipitación total y precipitación efectiva dentro de la subcuenca del río Buin, 2013-2017.....	64
Figura 17. Comparación de la evapotranspiración del cultivo de la papa, precipitación total y precipitación efectiva en la subcuenca del río Buin. 2013-2017.....	65

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Ámbito de los sectores estadísticos y sus principales características según cartografía, y datos del ii cenagro 1994.	15
TABLA 2. Posibles efectos positivos y negativos de cambios en el clima para la producción de cultivos.	24
TABLA 3. Comparación de las características del agua azul y verde.....	33
TABLA 4. Clase textural-subcuenca Buin.	42
TABLA 5. Densidades aparentes para diferentes tipos de suelos.	43
TABLA 6. Fluctuación de la tasa de filtración Según la textura del suelo.	44
TABLA 7. Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (zr) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p) para condiciones sin estrés hídrico, para cultivos comunes.	45
TABLA 8. Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, kc y alturas medias máximas de las plantas para cultivos.....	46
TABLA 9. Rendimiento del cultivo de la papa-provincia de Carhuaz.....	47
TABLA 10. Precipitación mensual (mm) de la estación meteorológica Shilla, periodo 2013-2017.	48
TABLA 11. Humedad relativa mensual (%) de la estación meteorológica Shilla periodo 2013-2017.....	48
TABLA 12. Velocidad de viento mensual (m/s) de la estación meteorológica Shilla periodo 2013-2017.....	49
TABLA 13. Radiación solar (MJ/m ²), periodo 2013-2017.....	49
TABLA 14. Temperatura máxima y mínima mensual (°C) de la estación meteorológica Shilla, periodo 2013-2017.....	50
TABLA 15. Resultados de la huella hídrica verde de la producción de la papa dentro de la subcuenca Buin, periodo 2013 – 2017.....	62
TABLA 16. Resultados estimados con el software CropWat-año 2013.....	83
TABLA 17. Resultados estimados con el software CropWat-año 2014.....	84
TABLA 18. Resultados estimados con el software CropWat-año 2015.....	85
TABLA 19. Resultados estimados con el software CropWat-año 2016.....	86
TABLA 20. Resultados estimados con el software CropWat-año 2017.....	87

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ANA: Autoridad Nacional del Agua

IPPC: Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

FAO: Food and Agriculture Organization

INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

CC: Cambio climático

HH: Huella Hídrica

USDA: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service

CIAD: Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo

UNASAM: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

DRA: Dirección Regional de Agricultura

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para la vida y ocupa cerca de un 75% de la superficie del globo; sin embargo, menos del 1% es apta para sostener la vida humana en un planeta donde existen desequilibrios entre la oferta y la demanda del recurso agua y/o entre sus diversos usos generados por el aumento de la población. (Iglesias & Medina, 2009).

El cambio climático juega un papel importante, incrementando la variabilidad temporal y espacial del clima causando así riesgos para las diferentes actividades socioeconómicas (Costa, 2007), y sumado a inadecuadas prácticas productivas y sanitarias hacen que países como el Perú, que podría considerarse privilegiado por encontrarse entre los diez países con mayor reserva hídrica a nivel mundial, considere la necesidad de evaluar sus lineamientos de política, contar con mayor información y tomar acción respecto a la mejor gestión de un recurso vital, como es el agua.(Autoridad Nacional del agua - ANA, 2009)

Así mismo, (Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático -IPPC, 2012) indica que, en las últimas décadas las modificaciones que se han registrado sobre algunas variables climáticas, como la temperatura y las precipitaciones, han ocasionado algunas variaciones en la disponibilidad del recurso hídrico en ciertas regiones del mundo.

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1995) menciona que en más del 80% de las tierras agrícolas del mundo, la productividad de los cultivos depende únicamente de la precipitación para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo.

Para el caso del Perú la (ANA, 2009) muestra en sus resultados, que aproximadamente el 90% de la huella hídrica nacional de la producción se asocia con el sector agropecuario, y es el único sector usuario de la denominada “agua verde”, proveniente de la lluvia almacenada en los suelos no saturados y que puede ser absorbida por las raíces de las plantas.

Para esta investigación, es importante comprender que la evaluación de la huella hídrica verde del cultivo de la papa dentro de la subcuenca del río Buin, es un paso importante para comprender cómo varía este indicador de consumo de agua de lluvia ante la variación de los parámetros meteorológicos como la temperatura y precipitación.

1.1. Planteamiento del problema

Un problema ambiental de mayor relevancia en la actualidad es el agotamiento del agua y según Dummont & Salmoral (2010) en el inventario global que realizaron, el sector agrícola es el mayor consumidor de agua con el 65%, no sólo porque la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse, sino porque no se cuenta con un sistema eficiente para el manejo de este recurso hídrico, razón principal que provoca que las pérdidas se tornen monumentales generando así un fuerte impacto en el ambiente.

El cambio climático también añade otro grado de incertidumbre en lo que se refiere al agua. Por un lado, se predice un aumento global de las precipitaciones y por el otro, hay alguna evidencia que haría pensar en un aumento de la frecuencia de sequías y desertificación en el futuro, lo cual agravaría la situación actual (Rojas, 2001). Ante estas circunstancias se requiere de una integración entre planificación y uso del agua para la construcción de lineamientos y políticas que ayuden a tomar acciones respecto a una mejor gestión de este recurso vital. (Arévalo, 2012).

Dentro del área de estudio, los pobladores se dedican principalmente a la producción del cultivo de la papa cuya principal fuente de agua para su producción son las precipitaciones, que en los últimos años presentan variaciones afectando así tanto a los agricultores como a los consumidores finales dentro de la subcuenca Buin.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el comportamiento de la huella hídrica verde de la producción de la papa (*Solanum tuberosum*) frente al cambio climático en la sub cuenca del río Buin, 2013-2017?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de la huella hídrica verde anual en la producción de la papa frente al cambio climático en la subcuenca del río Buin, 2013-2017.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el cultivo de la papa dentro de la zona en estudio.
- Analizar los factores meteorológicos dentro de la subcuenca Buin, periodo 2013-2017.
- Estimar la huella hídrica verde anual para el cultivo de la papa, usando el software CropWat.

1.4. Justificación

Ambiental

El presente estudio se centró en el análisis de la huella hídrica verde en la actividad agrícola, por ello es justificado mostrar la importancia de este indicador que podría ser un importante instrumento para la gestión adecuada del agua y los riesgos estratégicos relacionados a este elemento, a nivel de producto y proceso, principalmente en ecosistemas que puedan tener problemas de escasez, en un contexto de cambio climático.

Económico:

Las estimaciones constituyen una información que ayudará a planificar el uso de agua dentro de la sub cuenca del río Buin, en base a los requerimientos del cultivo de la papa con fines del aprovechamiento racional de este recurso, lo cual significaría un incremento en la calidad y cantidad productiva.

Social:

El análisis de la huella hídrica verde provee información importante para los agricultores y productores, mejorando su entendimiento en uso del recurso hídrico, fortaleciendo las capacidades para que puedan desarrollar y evaluar estrategias para la gestión de este elemento indispensable.

1.5. Descripción del área de estudio

La subcuenca del río Buin presenta aproximadamente un área de 162.62 km², ubicado principalmente en los distritos de Shilla y Amashca, en la provincia de Carhuaz, departamento de Ancash; siendo sus coordenadas geográficas 9°25' - 9°75' de latitud sur y 77°25' - 77°75' de longitud oeste.

En esta zona, la actividad principal es la agricultura basada en la producción de papa, maíz, trigo y cebada; y en menor cantidad la producción de quinua y chocho, teniendo cada familia en promedio de 0,5 a 1.0 hectáreas para su cultivo. (Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI, 2004).

TABLA 1. *Ámbito de los sectores estadísticos y sus principales características según cartografía, y datos del ii cenagro 1994.*

Sector	Superficie Territorial (ha)	Superficie Agropecuaria (ha)	Superficie Agrícola (ha)	Pastos Naturales (ha)
Shilla	12 858.19	1300	809	11 612.55
Amashca	1 317.59	776	498	64

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1994

Es importante destacar que en esta zona, el caserío de Llipta y la comunidad Fuerza y Poder, ubicados en la cuenca media y alta, tienen la mayor extensión y productividad agrícola; mientras que el flanco noreste está compuesto por los caseríos de Belén y Cóngar, donde la extensión de sus tierras es más pequeña comparada al resto de caseríos (INDECI, 2004).

En la parte hidrológica, la subcuenca cuenta con 9 lagunas de aproximadamente 1673.05 m³ de agua, y nevados de mucha importancia como el Contrahierbas ubicado a 4415 msnm, que contribuyen a mantener la descarga del río Buin en forma continua y en toda época, aunque las descargas en mayor cantidad son en épocas de lluvia, normalmente durante los meses de enero a mayo y el periodo de estiaje donde el caudal del río disminuye comprende los meses de julio a setiembre (INDECI, 2004).

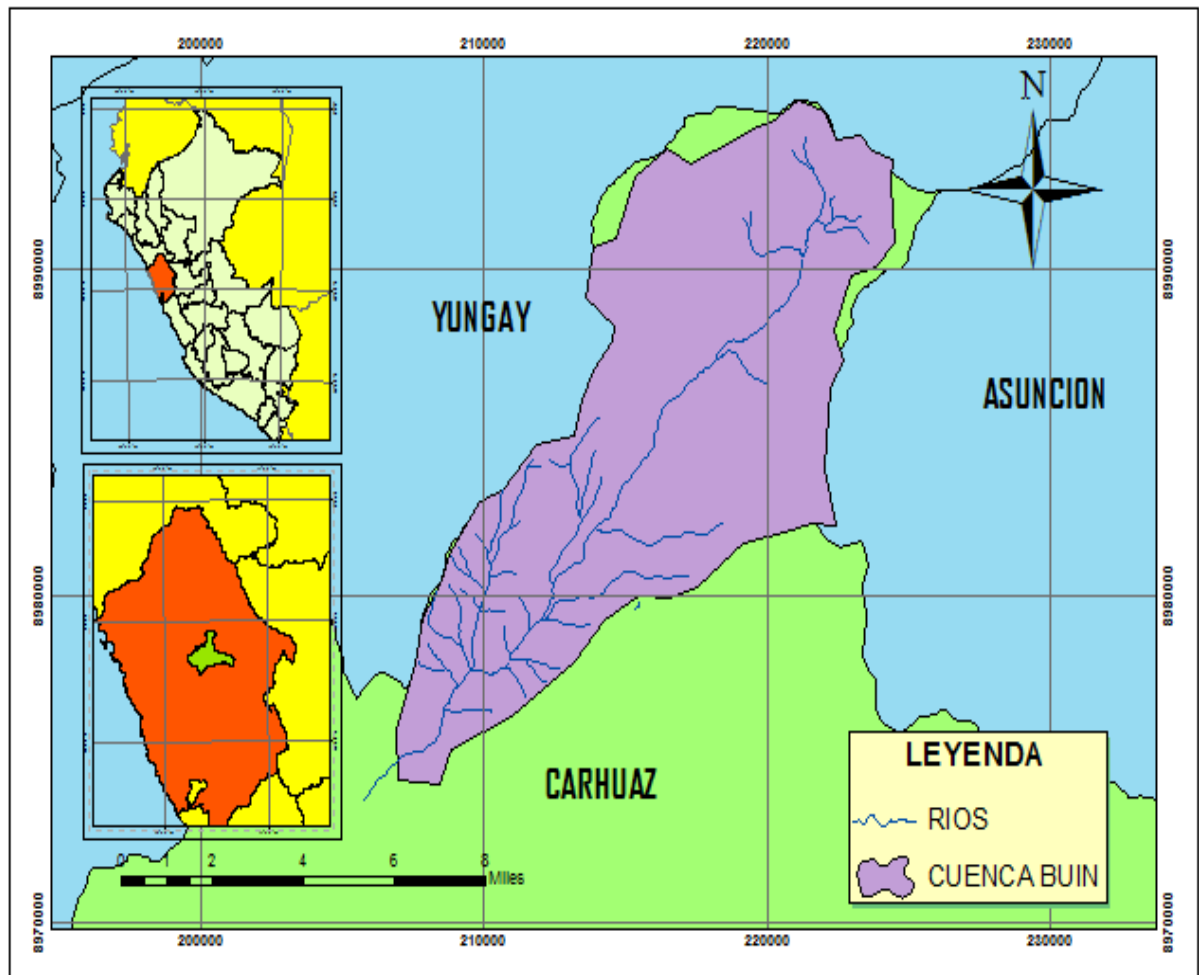


FIGURA 1. Ubicación geográfica de la subcuenca Buin

El río Buin es un afluente importante del río Santa, que resulta de la unión de los ríos Ulta y Punyarure en la cabecera de cuenca a 4345 msnm aproximadamente.

En cuanto al clima, se destaca un tipo de clima templado y seco durante los meses de abril a diciembre, de moderado a fuertemente lluvioso en los meses de enero a mayo; con una temperatura anual que varía entre 08 °C y 23 °C (SENAMHI, 1996)

Mientras que el relieve de la zona de estudio presenta un paisaje montañoso y colinoso, con altitudes que oscilan entre los 2488 y 4415 msnm (INDECI, 2004).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Hoekstra & Hung (2002) llevaron a cabo la primera evaluación de huella hídrica nacional; luego, Chapagain & Hoekstra (2007) realizaron una evaluación más amplia acerca de este tema y una tercera evaluación aún más detallada fue elaborada por Hoekstra & Mekonnen en el año 2012.

La huella hídrica comenzó a ganar interés alrededor del 2008, año en el que fue establecida la Water Footprint Network (WFN), el organismo pionero en el desarrollo y aplicación del concepto de huella hídrica y el responsable del establecimiento de la metodología de evaluación de huella hídrica.

Recientemente, se está desarrollando por parte de la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2014) un estándar para el procedimiento de la huella hídrica, que espera establecerse como el principal referente internacional para evaluaciones e informaciones de huellas hídricas.

A nivel global, la gran parte de estudios se han desarrollado principalmente en el sector agrícola, para diferentes escalas espaciales, en países como China, India, España, Reino Unido, Holanda, Alemania, Túnez, Indonesia, Francia entre otros. Cabe anotar que España es el primer país en incluir el análisis de la huella hídrica en la formulación de políticas gubernamentales en el contexto de la Directiva Marco del

Agua de la Unión Europea, seguido por Alemania que empezó a utilizar estimaciones de huellas hídricas en los documentos de política desde 2012 (Chenoweth, 2013).

A continuación, se muestran algunos de los estudios locales, nacionales e internacionales referentes a la huella hídrica:

Del pilar Rodríguez en el año 2016, estimó la huella hídrica de los cultivos de papa y pastos para el periodo 2009 – 2014 para los dos grupos de agroecosistemas analizados, principalmente la huella hídrica verde y azul dentro de la cuenca del río Ubaté, Bogotá-Colombia.

Mesfin, Markus, Aldaya, Zarate & Hoekstra (2015) evaluaron la sostenibilidad, la eficiencia y la equidad en el uso del agua en América Latina y el Caribe (ALC) por medio de una evaluación de la huella de agua geográfica (WFA). Su objetivo fue proporcionar la comprensión del uso del agua, tanto desde la producción y el consumo.

Mientras tanto, García (2013) presentó su tesis doctoral “La huella hídrica como indicador de presiones: aplicación a la cuenca del Duero y al sector porcino español”, en este trabajo se evaluó la utilidad de la huella hídrica como medida de presión sobre los recursos hídricos identificando los beneficios y limitaciones del uso del este indicador como herramienta de ayuda en la gestión y planificación.

Rodríguez (2010) publicó su investigación “Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes Colombianos”, donde menciona que el impacto del cambio climático en la agricultura generará disminuciones en la producción de los cultivos y una mayor demanda hídrica para todos los escenarios siendo más severo las regiones secas.

La Autoridad nacional del agua (ANA), en el año 2009 mostró los resultados de la huella hídrica nacional, donde indican que aproximadamente el 90% de esta huella se asocia con el sector agropecuario, y además menciona que este es el único sector usuario de la denominada “*agua verde*” y el mayor usuario del “*agua azul*”.

Esta misma autoridad, en el año 2012 realizó tres estudios con el objetivo de cuantificar la cantidad de agua utilizada para la producción de los cultivos del

espárrago, quinua y arroz, reportando para el caso del arroz una huella hídrica gris de 2062,8 m³/ha y para el espárrago aproximadamente 15,4m³/ ha.

Por otro lado, Mallma Capcha (2015) proporcionó un procedimiento para determinar la huella hídrica de los principales productos agrícolas (papa, trigo, maíz) que se comercializan de la región Junín al mercado de la ciudad de Lima. Para tal fin, inició con datos meteorológicos de la zona, luego estimó la evapotranspiración de referencia (ET_o), eligiendo finalmente los valores del coeficiente de cultivo (K_c). Con ello, determinó la evapotranspiración del cultivo (ET_c), que sirvió para estimar el requerimiento de agua del cultivo (RAC). Con este resultado y el rendimiento de cada cultivo (RC) determinó el contenido de agua virtual (V) de cada producto.

Ipanaguirre (2016) en su investigación, “Análisis de la sostenibilidad ambiental de la huella hídrica verde de la actividad agrícola en la subcuenca del río Achamayo en la localidad de Ingenio – 2016”, determinó la huella hídrica verde de 5 cultivos representativos como son la alcachofa, la alfalfa, las habas, el maíz y la papa; obteniendo un total de 7652.8 m³/t.

Finalmente, Accostupa (2017) en su investigación buscó analizar la relación entre el fenómeno El Niño y la variabilidad climática en la Provincia de Cusco, 1964 – 2014, para ello usó datos históricos de precipitación y temperatura brindadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) del Perú correspondientes y los datos del Índice Costero El Niño (ICEN) proporcionados por el Instituto Geofísico del Perú. Sus resultados muestran que los comportamientos mensuales de la temperatura media y mínima, con y sin Niño son similares elevándose sus valores desde julio hasta febrero y disminuyendo desde marzo hasta junio.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Recurso hídrico

“El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre éstos” (ANA, 2019).

Es importante el acceso a este recurso para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez (Arévalo, 2012).

Por ello, el estado peruano ha creado mecanismos para la participación de los usuarios y de la población organizada en la toma de decisiones que afectan el agua en cuanto a calidad, cantidad, oportunidad u otro atributo del recurso (ANA, 2009).

2.2.1.1. Disponibilidad del recurso hídrico

El recurso hídrico se encuentra en forma natural en varias formas y lugares como en la atmósfera, en la superficie, bajo tierra y en los océanos.

Precipitaciones

Se encuentran en forma de lluvia, nieve y rocío, que son importantes para renovar los recursos hídricos y mejorar las condiciones climáticas y la biodiversidad (Arévalo, Lozano & Sabogal, 2011).

En función de las condiciones locales, las precipitaciones pueden alimentar ríos o lagos, recargar los suministros de aguas subterráneas o volver a la atmósfera por evaporación (UNESCO, 2015).

Glaciares

Almacenan agua en forma de nieve y hielo, alimentando los arroyos locales con el agua que liberan en mayor o menor cantidad dependiendo de la estación. Sin embargo, por los efectos del cambio climático, muchos de ellos están en proceso de retroceso, causando la variación de los caudales de ríos y arroyos (UNESCO, 2015).

Humedales

Representan aproximadamente el 6% de la superficie terrestre emergida y desempeñan un papel fundamental para los ecosistemas locales y los recursos hídricos (UNESCO, 2015).

Aguas subterráneas

Este tipo de agua presenta buena calidad y se extrae principalmente para satisfacer necesidades de consumo humano y agrícola en los climas áridos (UNESCO, 2015).

El agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando la comparamos con la de los depósitos superficiales, como los lagos, y los cursos de agua (Arévalo, Lozano & Sabogal, 2011).

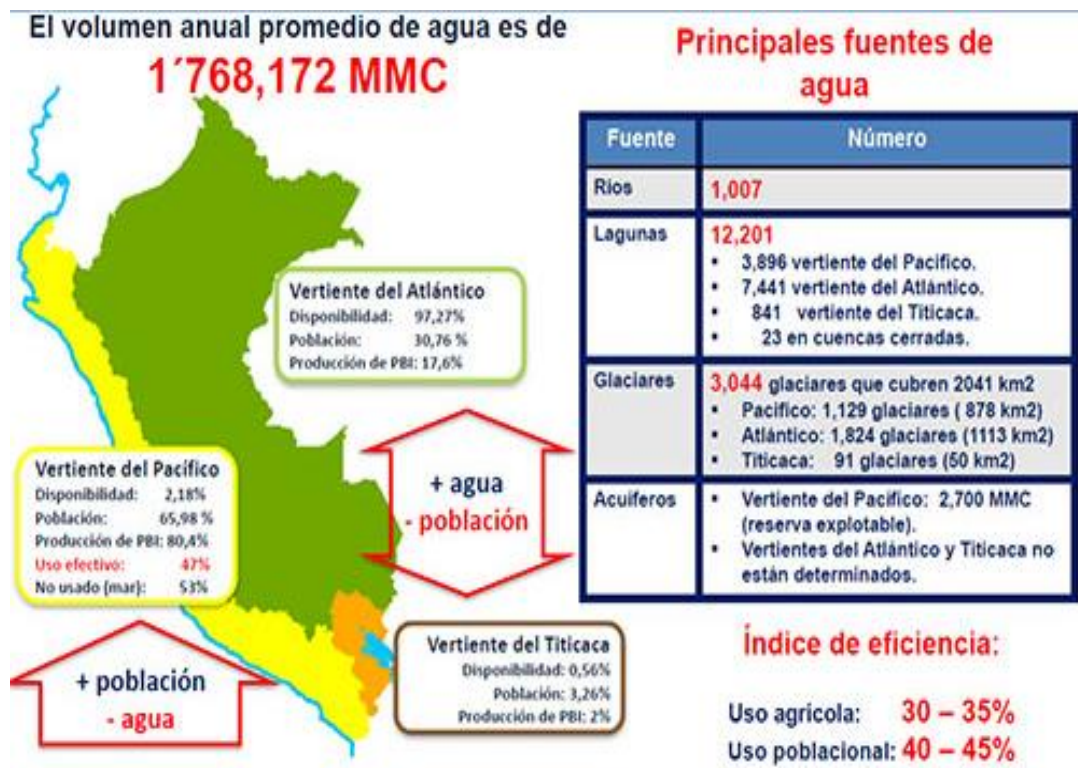


FIGURA 2. Disponibilidad del recurso hídrico en el Perú

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2009.

2.2.2. Cambio Climático

En la actualidad existen numerosos estudios sobre el cambio climático (CC), definido como una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad que persiste durante un periodo prolongado. Así en la actualidad todavía hay mucho que aprender respecto a sus implicancias. (Panel Intergubernamental de Cambio Climático - IPPC, 2012)

2.2.2.1. Cambio climático y el recurso hídrico

Teniendo en cuenta la relación estrecha del ciclo hidrológico y el clima surge la preocupación sobre los impactos negativos del cambio climático, como el incremento de temperatura esperado que tendría importantes repercusiones en el ciclo hidrológico, global y local, y por consiguiente en la disponibilidad de los recursos hídricos en las zonas más vulnerables (Martínez & Patiño, 2012).

En el informe emitido por el IPPC (2012), se indica que en las latitudes altas se espera un incremento de la precipitación y el escurrimiento, lo que podría incrementar la oferta de agua en esas regiones, mientras que en latitudes medias y zonas subtropicales se prevén importantes disminuciones en la precipitación y el escurrimiento, lo que ocasionará un incremento en las condiciones de escasez y mayor presión sobre los recursos.

2.2.2.2. Cambio climático y la agricultura

Parry & Fischer (2004), mencionan que la agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las *temperaturas* termina por reducir la producción de los cultivos deseados y a la vez provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Además, los cambios en los *regímenes de lluvias* aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo.

Sin embargo, Iglesias & Medina (2009) afirman que algunos aspectos del cambio climático como el incremento de las temperaturas pueden resultar beneficiosas en algunas regiones, disminuyendo las heladas en las zonas altas; pero también tendrán impactos negativos y adversos, como la falta de

disponibilidad de agua y ocurrencia de fenómenos climatológicos extremos más frecuentes.

TABLA 2. Posibles efectos positivos y negativos de cambios en el clima para la producción de cultivos.

Factor de cambio	Posibles beneficios	Posibles impactos negativos
Variación de temperatura	Periodo de crecimiento más largos	Aumento del estrés térmico
	Periodos de crecimiento más rápidos	Aumento de plagas y enfermedades
	Nuevos cultivos en zonas frías	Problemas de floración y cuajado por daños en la vernalización
Variación de precipitaciones	Aumento de la productividad	Aumento de inundaciones y salinización
	Disminución de la demanda de agua	Aumento de las frecuencia de sequías
	Aumento de las garantías de abastecimiento de agua	Aumento de erosion

Fuente: Iglesias y Medina, 2009

Los potenciales beneficios y efectos negativos descritos en la Tabla 2, no se dan en todas las regiones, dependerán en buena medida de lo que el cambio climático suponga respecto a las condiciones de partida de cada región (Iglesias & Medina, 2009).

En el Perú, el estudio más amplio en evaluar el impacto del cambio climático (CC) sobre el sector agrícola fue el desarrollado por la ANA (2009), que estimó las pérdidas frente al CC para los principales cultivos de la agricultura peruana como la papa, arroz, maíz amarillo duro, caña de azúcar, café, plátano y maíz amiláceo, los cuales concentraron el 47% del valor de la producción agrícola. Donde finalmente se concluye que la agricultura en el Perú sufrirá disminuciones en la producción para la mayoría de los cultivos, y se puede afirmar que el impacto del cambio climático en la agricultura será significativo.

2.2.3. Variabilidad climática

Se refiere a la variación recurrente del clima en tiempos relativamente cortos, que puede presentarse en diferentes escalas temporales, desde la escala intraestacional con un periodo de tiempo de algunas decenas de días hasta la escala interdecadal, donde las fluctuaciones del clima puedan tomar décadas (Rojas, 2001).

El aumento de la variabilidad climática afecta a los agricultores peruanos; los cambios bruscos en el clima evitan que los cultivos puedan desarrollarse de manera adecuada, logrando así que se pierdan las cosechas. Sin embargo, estas variaciones de clima pueden en algunos casos influir positivamente sobre la producción y el rendimiento del cultivo de la papa, sobre todo si la distribución anómala de precipitación permite satisfacer cómodamente los requerimientos hídricos del cultivo, aunque en general los cultivos transitorios de secano se ven muy afectados por estas variaciones (Iglesias & Medina, 2009).

2.2.4. Cultivo de la papa

2.2.4.1. Taxonomía y morfología

La papa se encuentra dentro de la familia de las solanáceas y que pertenece a las especies *Solanum tuberosum* y *Solanum andigenum*. El tipo de planta es herbácea anual con raíces muy ramificadas, finas y largas, dependiendo su desarrollo de que el suelo esté o no mullido (Daniel Casaca, 2005).

Tallo

El tallo de la papa se origina en las yemas del tubérculo llegando a una altura que varía de 0.5 a 1m. Esta parte del cultivo es grueso, fuerte, anguloso, y consta de nueve o más foliolos, cuyo tamaño es tanto mayor cuanto más alejados se encuentran del nudo de inserción (Román Cortéz & Hurtado , 2002).

Raíz

La raíz formada es fibrosa, su mayor crecimiento lo desarrolla en los primeros 0.20 m de profundidad, extendiéndose de 0.30 hasta 0.60 m. En suelos francos y profundos las raíces laterales fibrosas pueden llegar hasta 1.20m de profundidad (Daniel Casaca, 2005).

La flor

“Las flores de la papa son bisexuales (tienen ambos sexos), y poseen las cuatro partes esenciales de una flor: cáliz, corola, estambres y pistilo” (Inostrosa et al., 2009).

El fruto

“Es una baya redondeada de color verde, que se vuelve amarilla al madurar” (Román et al. , 2002).

Estolones

Son tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo a partir de yemas de la parte subterránea de los tallos. Éstos pueden formar tubérculos mediante un agrandamiento de su extremo terminal (Inostrosa, Méndez, & Sotomayor L, 2009).

Tubérculos

“Son tallos modificados y constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta de papa. Tienen dos extremos: el basal, o extremo ligado al estolón, que se llama talón, y el extremo expuesto, que se llama extremo apical o distal” (Inostrosa et al., 2009).

Semilla

Se produce en una baya de forma ovoide alargada y con un diámetro entre 1 a 3 cm, de color verde, en cuyo interior se encuentra la semilla sexual de papa, la forma y color de ésta es similar a la del tomate, pero con la mitad de su tamaño; es dicotiledónea, con un peso de 0.5 mg. (Román et al. , 2002).

2.2.4.2. Variedades del cultivo de la papa

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) cuenta con 7,408 registros de variedades de papa nativa o que son oriundas del Perú. A través del Registro Nacional de la Papa Nativa del Perú se reconoce este cultivo como patrimonio del Perú, de las comunidades y agricultores que las han desarrollado y conservan este recurso genético fundamental (INIA, 2014).

El ciclo vegetativo del cultivo de la papa puede tener una duración de 90 a 210 días dependiendo de la variedad. Según la duración del ciclo vegetativo del cultivo las variedades de papa pueden ser precoces, semitardías y tardías. La duración del ciclo vegetativo de una variedad puede ser menor o mayor a su periodo normal debido a condiciones climáticas desfavorables, manejo agronómico inadecuado en las labores de riego (la deficiencia de agua retrasa la emergencia de las plántulas y produce una maduración precoz del cultivo), fertilización, entre otras (Cortez, 1988).

Papa Amarrilla

Es propia del altiplano andino y con ella están emparentadas las papas más finas de las más de 5 mil variedades existentes en el Perú. Su periodo de vegetación dura entre 100 a 200 días.

Papa Canchan

Se adapta a condiciones de Sierra media, 2 000 a 3 500 msnm y presenta un rendimiento de 40 a 50 tn/ha. Su periodo de vegetación varía desde los 90 a 120 días.

Papa Huayro

Esta variedad de papa prospera bien en la sierra norte del Perú desde los 1800 hasta los 3600 msnm, presenta un rendimiento de 14 a 16 tn/ha, y dependiendo de la ubicación puede tener un periodo vegetativo de 140 a 160 días.

Papa Serranita

Esta variedad de papa tiene un tamaño aproximado de 1.20 m y presenta una adaptación desde los 2400 hasta los 3800 msnm. Su periodo de vegetación varía desde los 120 a 150 días.

2.2.4.3. Características edáficas para la papa

Estructura del suelo

El cultivo de la papa prospera satisfactoriamente en suelos bien estructurados, los que les confiere un buen drenaje y facilidad de desarrollo del sistema radicular para la extracción de nutrientes (Alvarez , 2002).

Humedad del suelo

El suelo debe mantener un contenido de humedad relativamente elevado. Las mejores cosechas, en cultivos de 120 a 150 días, se obtienen con de 500 a 700 mm de agua. En general, la falta de agua hace disminuir la producción cuando se produce a mitad o fines del período de desarrollo, más que si falta al inicio (Daniel Casaca, 2005).

Materia orgánica

La materia orgánica mejora la estructura de los suelos, pero la práctica continua de labranza destruye la agregación y deteriora la estructura de éste, reduciendo paralelamente su contenido de ésta (Cortéz, 2000).

Compactación

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas, en la actividad agrícola, tienen su origen principalmente en implementos de labranza del suelo, cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre, pisoteo de animales, etc., (Inostrosa et al.,2009).

Características químicas

El cultivo de la papa se desarrolla mejor en valores de pH comprendidos entre 5,5 y 7, condiciones que suelen darse más en los terrenos arenosos. También puede vegetar en terrenos arcillo-calizos, llegando a tolerar un pH igual e incluso superior a 8 (Cortéz, 2000).

2.2.4.4. Condiciones climáticas para la papa

Temperatura:

“La papa requiere temperaturas de 15 a 20°C para su tuberización (formación de tubérculos) y crecimiento” (Daniel Casaca, 2005).

La papa es considerada una planta termo periódica, lo que significa que es necesario una variación, entre la temperatura diurna y la nocturna, de por lo menos 10°C. Cuando esta situación se da a menudo, a lo largo del ciclo vegetativo, existe resultados positivos en el rendimiento y la calidad, pues las temperaturas altas son ideales para el crecimiento de tallos y hojas, y bajas para los tubérculos (Cortéz, 2000).

Precipitación

Para satisfacer las necesidades de agua, la papa necesita entre 400 y 800 mm, de acuerdo con las condiciones climáticas y de la duración del cultivo (Rojas, 2001). Este tubérculo puede cultivarse tanto bajo condiciones de lluvia natural o bajo riego, la excesiva variación de la humedad del suelo afecta la calidad de los cultivos. Además, después de una sequía prolongada, el agua puede causar crecimientos de otras plantas (Faiguenbaum, 1987).

Viento

Se debe evitar sembrar la papa en zonas muy expuestas al viento con velocidades mayores a 20km/h, para evitar heridas en el follaje y efectos negativos en el rendimiento (Rojas, 2001).

Altitud

“La altitud ideal para el desarrollo y producción del cultivo de la papa para consumo se encuentra entre los 1500 a 2500 m.s.n.m., pero puede cultivarse en alturas menores como de 460 m.s.n.m.” (Daniel Casaca, 2005).

2.2.5. Huella hídrica

La huella hídrica, también denominada huella hidrológica o huella de agua, fue introducido por Hoekstra & Hung (2002), con el objetivo de desarrollar un indicador basado en el consumo del uso de agua dulce, definiéndolo como el “volumen total de agua dulce consumida directamente e indirectamente por una nación o una empresa, o en la provisión de un producto o servicio”.

En términos generales la huella hídrica es, “un indicador de la apropiación de agua dulce, medido en términos de los volúmenes de agua consumida (evaporada o incorporada a un producto) y contaminada por unidad de tiempo”. (Falkenmark & Rockström, 2006).

Así, este concepto proporciona información adicional en comparación con los indicadores tradicionales, puesto que vincula el consumo humano en el espacio y tiempo de producción, contabiliza el uso del agua en todas las etapas de la cadena de suministro de un producto y es un medio útil para la estimación de los flujos de agua a través del comercio de productos y materias primas (Chenoweth, 2013).

La huella hídrica se encuentra definida más específicamente para un proceso o producto, y para cualquier grupo definido de consumidores o productores (organización pública, empresa privada, sector económico), desde la perspectiva del productor y el consumidor, la huella hídrica es un indicador del uso tanto directo como indirecto del agua (Chapagain & Hoekstra, 2007).

En este caso la información de la huella hídrica puede ser utilizada por los gobiernos, el mundo académico, las ONG u otras organizaciones para la sensibilización o para la comprensión de los cambios y tendencias en los patrones de consumo en relación con los recursos hídricos. Además, puede ser utilizada para la gestión del agua, comparando las huellas hídricas que consumen y

contaminan los sectores de la producción en una determinada área geográfica con la disponibilidad de agua en esta área (UNEP & KOIKA, 2010).

2.2.5.1. Huella hídrica azul

La huella hídrica azul se define como el volumen de agua dulce extraído de los cuerpos de agua, que es consumido y que no retorna (Chapagain & Hoekstra, 2007). Refiriéndose principalmente al uso y consumo del agua de ríos, lagos o acuíferos para satisfacer la demanda originada en un proceso donde se requiere de intervención humana directa (Arévalo, 2012).

“La huella hídrica azul está presente en el sector agrícola por el agua consumida que es suministrada mediante riego y en todos los sectores que tienen procesos no asociados directamente con un proceso agrícola” (Arévalo, 2012).

2.2.5.2. Huella hídrica verde

Debido a los diferentes impactos ambientales y los costos de oportunidad de las diversas formas de uso del agua, la huella hídrica total a nivel nacional o del producto se divide en sub-categorías de agua verde, azul y gris (Hoekstra, 2011).

Hoekstra (2011), indica que la huella hídrica verde “se refiere a la precipitación sobre la tierra que no provoque escorrentía o se sume a las aguas subterráneas, pero que se mantenga en el suelo, su superficie o la vegetación, con el tiempo, esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas.

La HH verde sólo está presente en el sector agrícola y pecuario, y satisface una demanda sin requerir para ello de intervención humana (Arévalo, 2012). Representa el agua de lluvia consumida directamente por la vegetación o los cultivos a través de la evapotranspiración de la humedad almacenada en el suelo, también conocida como precipitación efectiva o productiva (Hoekstra &

Mekonnen, 2012); esto es considerado con frecuencia como el componente de secano de la huella hídrica (Chenoweth, 2013).

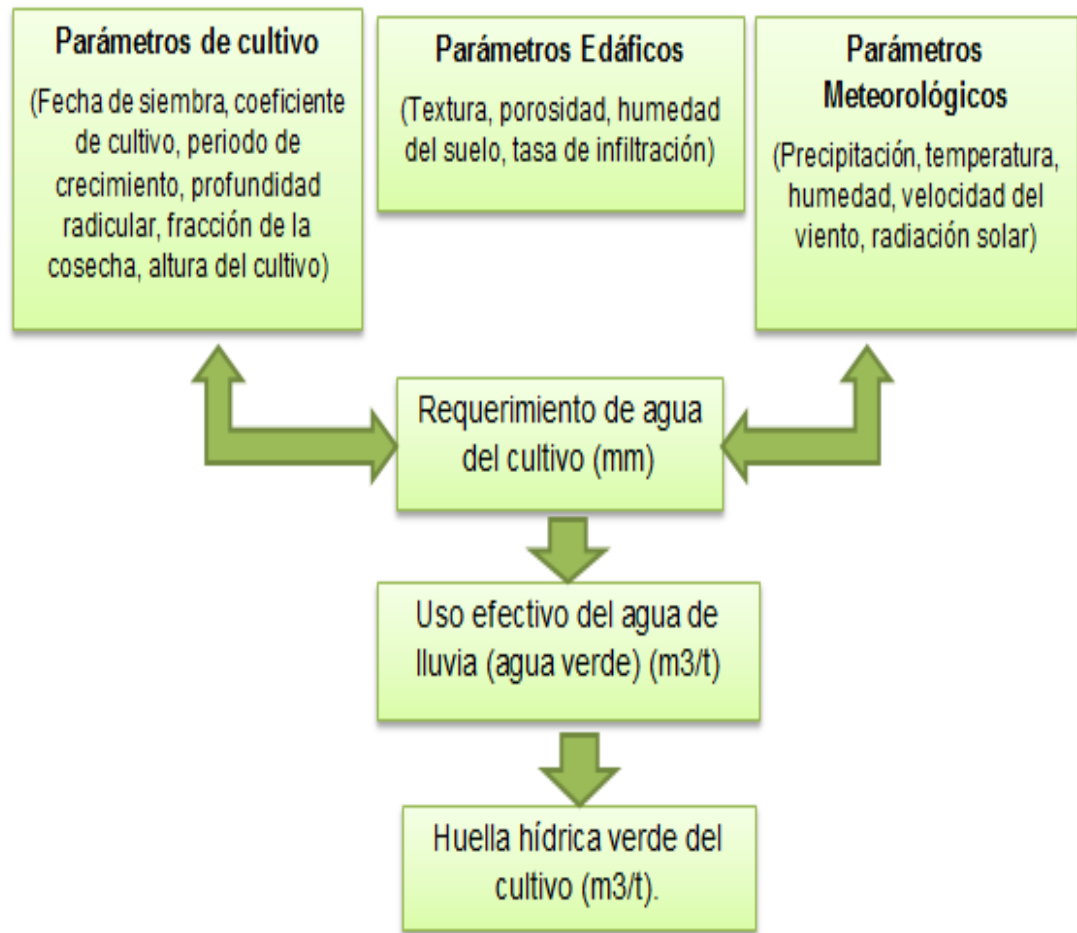


FIGURA 3. Esquema de la estimación de la huella hídrica verde de la actividad agrícola

Finalmente, es importante la distinción entre las huellas azul y verde (Tabla 3) debido a que “los impactos hidrológicos, ambientales y sociales, así como los costos de oportunidad económica de la superficie y el uso de aguas subterráneas para la producción difieren claramente de los impactos y los costes del uso de agua de lluvia” (Falkenmark & Rockström, 2006). A pesar de ello, hacer la distinción entre los tipos de agua es importante, debido a que poseen diferentes características, bien sea en términos de sus costes de oportunidad e impacto hidrológico y ambiental, como en las políticas que pueden gestionar (Rodríguez, 2010).

TABLA 3. Comparación de las características del agua azul y verde

Características	Agua azul	Agua verde
Fuentes	Ríos, lagos, represas, acuíferos	Precipitaciones (lluvia, nieve)
Movilidad	Altamente móvil	Altamente móvil
Usos competitivos	Muchos	Pocos
Estructura para almacenamiento y transporte	Requerida	No requerida
Costo de uso	Alto	Bajo

Fuente: (Chenoweth, 2013)

2.2.6. Software CropWat

CropWat (crop: cultivo; wat: agua) es un programa de la FAO que utiliza el método de *Penman-Monteith* para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET_c), es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego con 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 de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos. (FAO, 2006)

Este tipo de programas ayuda a manipular y representar factores que presentan dificultad para su manejo en la vida real, a partir de ello, permiten generar hipótesis y realizar el análisis de diferentes aspectos, permitiendo así plantear alternativas para su validación en el campo. Sin embargo, el nivel de precisión de los resultados dependerá de la disponibilidad y confiabilidad de la información requerida, añadido a esto, las limitaciones que presenta el software sólo permitirá estimaciones referenciales dependiendo de la magnitud y las características del estudio (Estrada & Rivera, 2004).

2.2.6.1. Método de Penman-Monteith

Este método fue introducido por Charles Penman y John Monteith, el cual fue adoptado por la FAO en el año 1989 para el cálculo de la

evapotranspiración de referencia en donde se combinó un balance energético con un método de transferencia de masa a partir de datos climáticos estándar de horas de sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad del viento (FAO, 2006).

2.2.6.2. Evapotranspiración

Se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación (FAO, 2006).

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie, mientras que la transpiración consiste en la evaporación del agua líquida que se encuentra en los tejidos de las plantas. Estos procesos ocurren de manera simultánea, pero en diferente proporción a lo largo del cultivo, ya que en las fases iniciales del cultivo por la falta de follaje la mayor cantidad de agua evaporada es proveniente del suelo, mientras que cuando el cultivo se encuentra en una fase de desarrollado más avanzada la transpiración se convierte en el proceso principal (FAO, 2006).

Evapotranspiración de referencia (ET_0)

También llamada evapotranspiración de una superficie de referencia se conoce como la tasa de evapotranspiración de una superficie sin restricciones de agua. La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pastos, con una altura asumida de 0.12 m, con un albedo de 0.23 teniendo condiciones muy similares a las de un cultivo de pasto verde, bien regado y de altura uniforme (FAO, 2006).

Evapotranspiración potencial

Se refiere a la evaporación producida por un cultivo que se encuentra en condiciones óptimas es decir que se encuentre exento de enfermedades, con unas buenas prácticas de fertilización, que tenga el espacio pertinente para su buen desarrollo y además de contener las condiciones de suelo y agua para que alcance su máxima producción (FAO, 2006).

2.3. Definición de términos

Cuenca hidrográfica

La superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta (García, 2013).

Agua virtual

Consumo indirecto de agua, que junto con el consumo directo de agua constituye el agua total empleada en el producto final (ANA, 2009).

Huella hídrica gris

La huella hídrica gris es el volumen de agua contaminada como resultado de los procesos de producción (Arévalo, 2012).

Textura de suelo

La textura representa el porcentaje en que se encuentran las partículas que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Alvarez, 2002).

Capacidad de campo

Es el agua retenida en el suelo a un potencial hídrico de -0.33 bares, la capacidad de campo no es una variable constante para cada tipo de suelo, esta depende del contenido de arcilla - limo, contenido porcentual de materia orgánica y la compactación del suelo. Matemáticamente la capacidad de campo se valora como el porcentaje en volumen de agua existente a un potencial hídrico con respecto al suelo seco (Arévalo, 2012).

Punto de marchitez permanente

Es el contenido de agua retenida a una tensión de 15 bar., su valor depende del tipo de suelo. Este es el límite de tensión hasta el cual una planta adaptada a condiciones medias de humedad, puede extraer agua (Alvarez , 2002).

Densidad aparente

Se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm^3 o t/m^3). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre los sólidos y el espacio poroso (Alvarez , 2002).

Tasa máxima de infiltración

Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior (Alvarez , 2002).

Agua disponible en el suelo (ADT)

La disponibilidad de agua en el suelo se refiere a la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas. El total de agua disponible en la zona radicular será la diferencia entre los contenidos de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (FAO, 2006).

Profundidad radicular

La planta de la papa produce un sistema radicular fibroso y las raíces no miden más de 60 cm de largo normalmente; como resultado las papas no tienen mucha facilidad para aprovechar los nutrientes y la humedad en las profundidades de un perfil de suelo (Cortéz, 2000).

Coefficiente del cultivo

Es un valor dependiente de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta, por lo tanto, varía según el estado vegetativo de la planta y del clima determinado (FAO, 2006).

Fracción de agotamiento hídrico

La fracción de agotamiento hídrico (p) corresponde a la fracción promedio del agua total disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de que el cultivo presente estrés hídrico (FAO, 2006).

Factor de respuesta del rendimiento (K_y)

Este factor describe como la productividad del cultivo va disminuyendo según disminuye la ET_c como resultado a la falta de agua. Esta reducción relativa de la productividad es más pequeña durante las etapas de desarrollo y maduración, aumentando en las etapas de floración y formación del fruto. (FAO, 2006)

Rendimiento del cultivo

Son diversas las variables que indican la mayor o menor eficiencia de la producción agraria; una de ellas es el rendimiento físico por unidad de terreno, generalmente medido como kilogramos o toneladas por hectárea (Alvarez , 2002).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El tipo de la investigación es descriptivo, porque se recopiló información agrícola, edáfica y meteorológica requerida para el estudio, y se describió de qué manera las variables independientes (precipitación, temperatura, entre otros) influyen en la variable dependiente (huella hídrica verde), en un escenario de cambio climático.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Áreas (ha) del Perú y otras partes del mundo, utilizadas para la producción del cultivo de la papa con las mismas condiciones climáticas y edáficas presentes en la subcuenca del río Buin.

3.2.2. Muestra

Comprende parte de la subcuenca del río Buin que se encuentra ubicado principalmente en los distritos de Shilla y Amashca, provincia de Carhuaz-Ancash.

3.3. Procedimiento

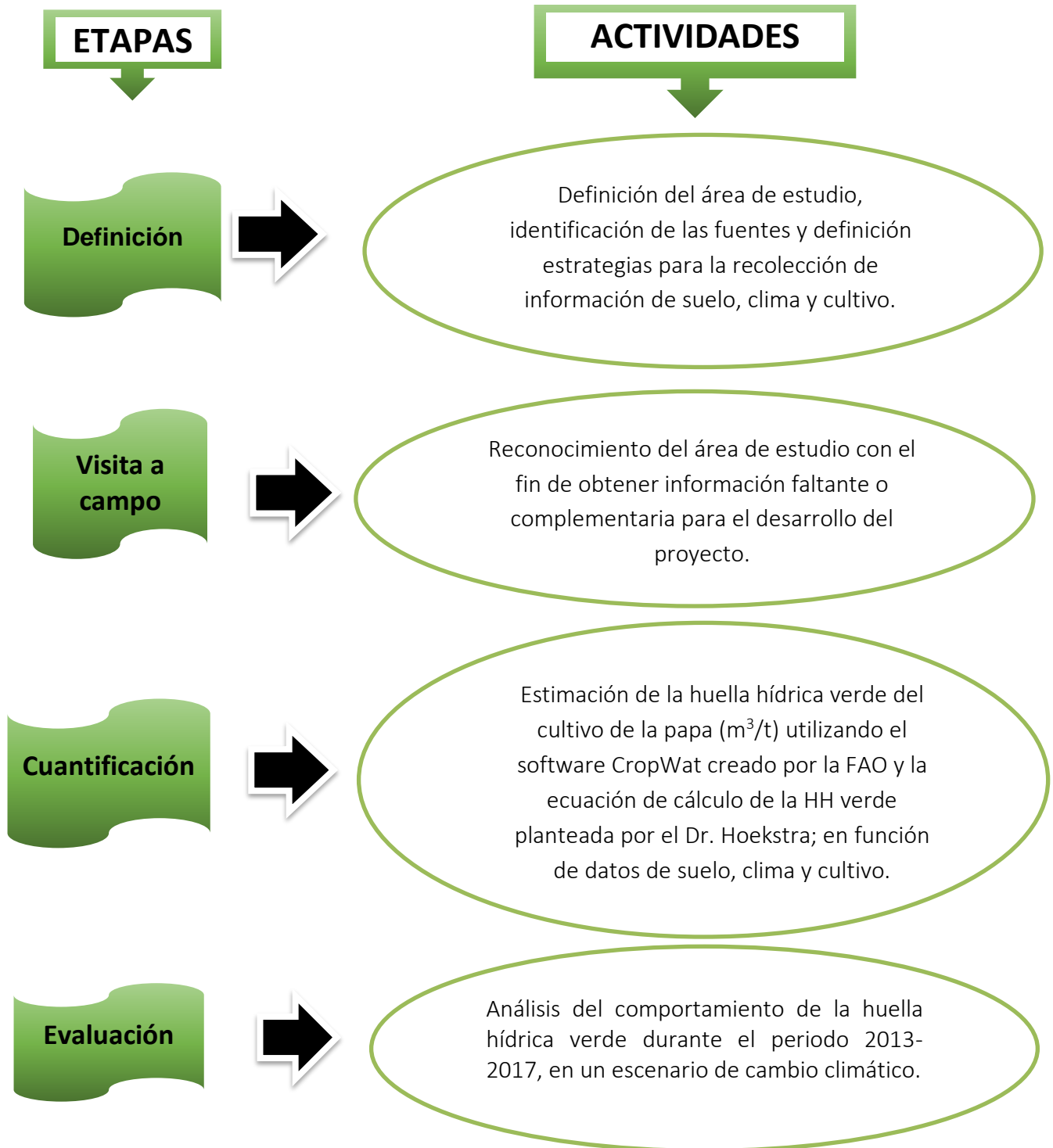


FIGURA 4. Metodología para el análisis de la huella hídrica verde de la producción de la papa

3.3.1. Definición

Se definió la subcuenca de río Buin como el área de estudio con el objetivo principal de evaluar el comportamiento de la huella hídrica verde en la producción de la papa ante los efectos del cambio climático durante el periodo 2013 - 2017. Para ello se seleccionó información de diversas fuentes disponibles y confiables como:

- Información del cultivo de la papa según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Ecuación para el cálculo de la huella hídrica verde planteada por el Dr. Hoekstra
- Información meteorológica del Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD) - estación meteorológica Shilla.
- Datos del suelo obtenidas del laboratorio de suelos-Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM).
- Información agrícola registrada y reportada de producción anual de la papa de las campañas 2013-2017, de la dirección regional Ancash (DRA).

3.3.2. Visita a campo

Con la finalidad de reconocer las características de la producción de la papa y el manejo del recurso hídrico, se realizó el recorrido para el reconocimiento del territorio. Se visitó la parte urbana de la ciudad de Shilla y Amashca, puesto que fue en estos lugares donde se establecieron los primeros contactos con los agricultores.

Además, se realizó encuestas a 30 agricultores para conocer sus percepciones sobre los impactos del cambio climático en el recurso hídrico y en la producción de la papa, encontrando diferencias entre los puntos de vista de cada productor.

3.3.3. Cuantificación de la huella hídrica verde

Para la cuantificación de este indicador se empleó el software CropWat, para lo cual se utilizó datos de entrada (detallados en el ítem 3.3.3.2) sobre el clima, como temperatura mínima, máxima, humedad, precipitación, velocidad del viento;

datos sobre el cultivo, como días de la fase de crecimiento, fecha de siembra, fecha de cosecha, profundidad de raíz, y finalmente datos del suelo como la humedad disponible, tasa máxima de precipitación, entre otros.

3.3.3.1. Estimaciones con el software CropWat

El software CropWat estimó la precipitación efectiva (mm) para cada año (Anexo N° 3) empleando el método USDA S.C. “United States Department of Agriculture Soil Conservation Service”, para lo cual se ingresó datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Shilla-CIAD (Tabla 10).

Otro parámetro que se estimó con este software fue la evapotranspiración de referencia (ET_0) que es un indicador de evaporación a la atmosfera para la zona de estudio, para ello se ingresó los datos de humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), radiación solar (MJ/m^2), temperatura máxima y mínima ($^{\circ}C$).

Finalmente, con la información de los módulos clima/ ET_0 , precipitación, cultivo y suelo para el software CropWat se obtuvo las estimaciones de la evapotranspiración del cultivo de la papa (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{eff}), tal como se detalla en el Anexo N° 3, para cada año.

3.3.3.2. Información utilizada en el software CropWat

a) Información del suelo para la modelación con el CropWat

La caracterización y análisis del suelo de la subcuenca Buin se obtuvo de información secundaria adquirida de la FAO, laboratorio de suelos –UNASAM, entre otros que se detallan a continuación.

Textura de suelo

En la Tabla 4, se encuentra registrada los datos proporcionados por el laboratorio de suelos – UNASAM, información sobre la clase textural del suelo de los caseríos de Runtu Chico, Canchapampa, Catay, Lleclish Pacha y Trancapachan; ubicados dentro de la subcuenca Buin.

TABLA 4. Clase textural-subcuenca Buin

Muestra	Textura (%)			Clase Textural
	Arena	Limo	Arcilla	
Runtu Chico	46	25	29	Franco arcillo arenoso
Canchapampa	54	31	15	Franco arenoso
Catay	73	20	7	Franco arenoso
Mushca Pampa	68	19	13	Franco arenoso
Lleclish Pacha	62	25	13	Franco arenoso
Trancapachan	56	27	17	Franco arenoso
	59.8	24.5	15.7	Franco arenoso

Fuente: Laboratorio de suelos-FCA-UNASAM-2015

Capacidad de campo

Teniendo en cuenta, que la clase textural del suelo en el área de estudio es Franco – Arenoso, como primera medida se calculó la capacidad de campo (CC) en base a peso seco con los datos granulométricos obtenidos, por medio de la siguiente ecuación, planteada por Bodman y Mahmud en el año 1996:

$$CC (\% \text{ peso}) = 0.023 (\% \text{ arena}) + 0.25 (\% \text{ limo}) + 0.61 (\% \text{ arcilla})$$

Ecuación 1

Teniendo en cuenta la ecuación 1, se rempazan los valores de la Tabla 4, de la siguiente manera:

$$CC (\% \text{ peso}) = 0.023(59.8 \%) + 0.25 (24.5\%) + 0.61 (15.7\%)$$

$$CC (\% \text{ peso}) = 17.08 \%$$

Punto de marchitez permanente

Seguido de la determinación de la capacidad de campo, se calculó el punto de marchitez permanente (PMP), mediante la siguiente ecuación planteado por Máximov:

$$PMP (\% \text{peso}) = 0.001 (\% \text{arena}) + 0.12 (\% \text{limo}) + 0.57 (\% \text{arcilla})$$

Ecuación 2

Teniendo en cuenta la ecuación 2, se remplazan los valores de la Tabla 4 de la siguiente manera:

$$PMP (\% \text{ peso}) = 0.001(59.8\%) + 0.12 (24.5\%) + 0.57 (15.7\%)$$

$$PMP(\% \text{ peso}) = 11.95 \%$$

Densidad aparente

La densidad aparente asignada fue de 1.5 gr/cm³, tomado de la publicación N° 31 de la FAO denominada “The state of food and agriculture” (Tabla 5) publicada en 1998.

TABLA 5. Densidades aparentes para diferentes tipos de suelos

Tipo de suelo	DA (gr/cm3)
Suelos orgánicos	0.1 – 0.6
Suelos superficiales, texturas finas	1.0 – 1.3
Suelos superficiales, texturas gruesas	1.0 – 1.8
Suelos compactados	1.0 – 2.0
Suelos franco arcillosos	1.0 – 1.4
Suelos francos limosos	1.1 – 1.4
Suelos franco arenosos	1.2 – 1.8
Suelos volcánicos	0.3 – 0.85

Fuente: (FAO, 1998)

Tasa máxima de infiltración

El valor asignado para la tasa de infiltración es de 5 mm/h, usando como referencia la información generada por (Brouwer, 1988), basadas en mediciones realizadas con un infiltrómetro de cilindro (Tabla 6)

$$5 \frac{mm}{h} \times 24 \frac{h}{dia} = 120 \frac{mm}{dia}$$

TABLA 6. Fluctuación de la tasa de filtración Según la textura del suelo.

Grupo de suelo	Tasa de infiltración (mm/h)	Característica del suelo
A	8 - 12	Arenas profundas, loes profundos, suelos con buena estructura.
B	4 - 8	Loes poco profundos y suelo franco arenosos
C	1 - 4	Suelos franco arcillosos, limos arenosos poco profundas, suelos pobres en materia orgánica, suelos arcillosos,
D	0 - 1	Suelos con elevado porcentaje de arcillas hinchables, suelos arcillosos pesados, ciertos suelos salinos.

Fuente: (Brouwer, 1988)

Determinación del agua disponible en el suelo (ADT)

El agotamiento inicial de humedad del suelo, indica la sequedad del suelo en la siembra del cultivo; se expresa como porcentaje del Agua Disponible Total (ADT), en términos del agotamiento de la CC; el valor 0% significa un perfil de suelo húmedo a CC y 100% es un suelo en PMP (FAO, 2006).

Profundidad radicular

La profundidad radicular tomada fue de 50 cm (Tabla 7), dato adquirido de la publicación N° 56 de la FAO titulada “evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”.

TABLA 7. Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (z_r) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p) para condiciones sin estrés hídrico, para cultivos comunes.

Cultivo	Profundidad radicular máxima (m)	Fracción de agotamiento (para ET= 5mm día) P
Papa	0.4 – 0.6	0.35

Fuente: (FAO, 2006)

Determinación de humedad del suelo

Para la determinación de la humedad del suelo disponible total (CC-PMP) se calculó la lámina almacenable por metro de profundidad, por medio de la siguiente ecuación:

$$La \left(\frac{mm}{m} \right) = \frac{(CC - PMP)}{100} * Da * Pr$$

Ecuación 3

Donde:

La: Lámina de agua almacenable (mm/m)

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Da: Densidad aparente (gr/cm³)

Pr: Profundidad radicular (mm)

$$La \left(\frac{mm}{m} \right) = \frac{(17.08 - 11.95)}{100} * 1.5 * 500$$

$$La \left(\frac{mm}{m} \right) = 37.48 \left(\frac{mm}{m} \right)$$

b) Información del cultivo de la papa para la modelación con el CropWat

Fecha de siembra

Este dato junto con la duración de las etapas de crecimiento, permitió calcular en el software CropWat la fecha de cosecha.

Para esta modelación, se tomó el mes de setiembre como fecha de siembra y una duración de 180 días para las etapas del crecimiento del cultivo de la papa, según lo manifestado por los agricultores de la zona.

Fracción de agotamiento hídrico

La Tabla 7 presenta de manera específica el dato tomado para realizar la modelación, el cual corresponde a 0.35 mm.

Coefficiente del cultivo

La Tabla 8, presenta de manera específica los datos tomados en cuenta para realizar la modelación, los cuales corresponden a tres etapas diferentes K_c-inicial con un valor de 0.5, K_c-medio con un valor de 1.15 y K_c-final con un valor de 0.75.

TABLA 8. Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, *k_c* y alturas medias máximas de las plantas para cultivos

Cultivo	K_c in	K_c med	K_c fn	Altura máxima del cultivo (h) (m)
Papa	0.5	1.15	0.75	0.6

Fuente: (FAO, 2006)

Altura del cultivo

La Tabla 8, presenta de manera específica la altura tomada en cuenta para realizar la modelación $h=0.6$, dato tomado de la publicación N° 56 de la FAO titulada “Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” publicada en año 2006.

Factor de respuesta del rendimiento del cultivo (Ky)

Para este caso se tomó en cuenta la publicación N° 56 de la FAO publicado en 2006, donde indica que valor de Ky para el cultivo de la papa es $Ky=1.1$.

Rendimiento del cultivo

Los rendimientos del cultivo de la papa varían según los años, regiones y tecnologías utilizadas.

TABLA 9. Rendimiento del cultivo de la papa-provincia de Carhuaz

Cultivo	Año	Rendimiento (kg/ha)
	2013	10343.37
	2014	10489.11
Papa	2015	10597.58
	2016	10766.08
	2017	10886.60

Fuente: DRA-Ancash

c) Información meteorológica para la modelación con el CropWat.

A partir de la información meteorológica de la estación Shilla (EM05-Shilla) proporcionada por el Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD), se realizó el análisis de los diferentes parámetros de interés para el estudio, los cuales se detallan a continuación:

Precipitación

En la Tabla 10 se muestra en detalle los datos de las precipitaciones mensuales registradas en la estación meteorológica Shilla (EM05-Shilla), durante el periodo 2013-2017.

TABLA 10. Precipitación mensual (mm) de la estación meteorológica Shilla, periodo 2013-2017

Año	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
2013	61.2	117.1	201.9	56.1	19.6	0.0	0.2	1.6	13.0	53.2	28.4	74.2	626.5
2014	149.1	190.2	180.1	127.8	34.0	2.0	0.0	0.0	15.2	37.8	61.5	16.5	814.3
2015	152.5	69.9	74.1	13.9	36.4	0.8	4.3	0.0	13.2	61.3	62.7	116.1	605.2
2016	39.9	140.1	271.9	58.8	5.3	1.0	0.0	0.8	33.5	27.7	7.9	127.9	714.6
2017	111.9	171.3	246.4	107.7	49.3	4.3	0.0	1.7	23.4	67.8	36.6	48.4	868.6

Fuente: Centro de Investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)

Humedad relativa

En la Tabla 11 se presentan los datos de la humedad relativa mensualmente registrados en la estación meteorológica Shilla (EM05-Shilla), durante el periodo 2013-2017.

TABLA 11. Humedad relativa mensual (%) de la estación meteorológica Shilla periodo 2013-2017

Año	Mes												Promedio
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
2013	72	80	82	71	65	58	42	43	55	69	62	74	64
2014	77	77	83	74	69	56	50	50	58	63	64	75	66
2015	69	73	74	77	69	55	53	54	54	67	66	69	65
2016	65	74	72	73	72	53	50	49	55	58	65	72	63
2017	79	80	82	77	73	61	52	50	58	64	55	85	68

Fuente: Centro de Investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)

Velocidad del viento

En la Tabla 12 se indica datos de la velocidad del viento registrados mensualmente en la estación meteorológica Shilla (EM05-Shilla), durante el periodo 2013-2017.

TABLA 12. Velocidad de viento mensual (m/s) de la estación meteorológica Shilla periodo 2013-2017

		Mes											
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
2013	1.0	0.9	0.8	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.2	1.0	1.0	0.9	1.0
2014	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	0.8	0.9
2015	1.1	1.3	1.3	1.4	1.0	1.3	1.6	1.3	1.1	1.2	1.0	1.0	1.2
2016	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.3	1.0	1.2
2017	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.5	1.1

Fuente: Centro de Investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)

Radiación solar

En la Tabla 13 se muestra los datos de radiación solar mensual 2013-2017, calculado por el software CropWat.

TABLA 13. Radiación solar (MJ/m²), periodo 2013-2017

		Mes											
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
2013	28.7	27.1	25.7	24.9	22.0	21.9	19.9	21.6	25.5	26.3	27.4	28.3	24.9
2014	27.6	25.7	25.0	24.0	22.1	19.1	19.4	22.0	26.2	27.5	29.1	28.5	24.7
2015	27.8	26.5	26.4	22.8	22.2	21.4	22.4	23.2	26.7	28.2	28.2	28.3	25.3
2016	28.6	29.9	27.2	25.5	22.1	21.6	22.4	24.1	27.5	28.5	30.1	30.7	26.5
2017	28.4	28.9	28.4	25.8	23.6	22.0	22.9	25.4	26.6	28.2	29.2	31.7	26.8

Fuente: CropWat 8.0

Temperatura

La Tabla 14 presenta los datos de las temperaturas máximas y mínimas mensuales registradas en la estación meteorológica Shilla (EM05-Shilla), durante el periodo 2013-2017; las cuales fueron utilizadas para la cuantificación y análisis de la huella hídrica verde de la producción de la papa en la subcuenca Buin.

TABLA 14. Temperatura máxima y mínima mensual (°C) de la estación meteorológica Shilla, periodo 2013-2017

		Mes												
Temperatura														
Año	(°C)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
2013	Máxima	25.1	23.3	23.4	24.1	23.1	24.1	16.9	17.2	22.2	22.7	22.8	23.7	22.4
	Mínima	6.8	6.9	7.6	6.5	6.3	5.2	1.9	2.3	5.0	6.3	5.6	5.5	5.5
2014	Máxima	23.6	22.4	22.4	23.5	23.1	20.1	19.4	19.7	24.0	23.9	23.3	24.4	22.5
	Mínima	6.5	7.6	7.4	7.2	6.1	5.6	5.1	4.3	5.8	6.0	3.9	6.0	5.9
2015	Máxima	24.9	24.3	24.1	24.6	22.3	22.1	21.8	22.5	24.1	23.9	23.8	24.2	23.5
	Mínima	7.7	8.6	7.4	9.8	5.1	4.0	2.7	5.4	5.2	5.1	5.6	6.1	6.1
2016	Máxima	24.0	25.3	25.1	24.6	24.6	21.6	21.4	22.8	23.8	22.9	22.7	22.9	23.5
	Mínima	5.8	5.4	7.4	6.2	7.6	3.2	2.4	4.3	3.8	3.7	2.0	1.5	4.4
2017	Máxima	23.2	24.6	24.9	24.3	24.0	22.6	22.3	22.9	23.4	23.8	23.1	25.8	23.7
	Mínima	5.3	6.0	5.562	5.393	5.19	3.5	2.4	2.4	4.587	4.921	3.646	3	4.325

Fuente: Centro de Investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)

3.3.3.3. Cuantificación de la huella hídrica verde

Con las estimaciones de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{eff}), se procedió al cálculo de la huella hídrica verde, utilizando la ecuación planteada por Hoekstra.

$$WF_{verde} = \frac{CWU_{verde} \left(\frac{m^3}{ha} \right)}{Y \left(\frac{t}{ha} \right)} \left(\frac{m^3}{t} \right)$$

Ecuación 4

Donde:

WF_{verde} : Huella hídrica verde (m^3/t)

CWU_{verde} : Uso de agua de cultivo (m^3/ha)

Y = Rendimiento de cultivo (t/ha)

El valor de CWU_{verde} se calculó con la siguiente fórmula:

$$CWU_{verde} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{verde}$$

Ecuación 5

Donde:

CWU_{verde} : Es el componente verde en el uso de agua de las plantas, es decir, el aprovechamiento de agua de la lluvia por parte de las plantas.

d : Día de siembra (día 1)

n : Duración del periodo de crecimiento de cultivo (días)

10: Factor de conversión de mm a m^3/ha

ET_{verde} : Es la evapotranspiración del agua verde, agua de lluvia, y está definida por la siguiente relación:

$$ET_{verde} = \min(ET_c, P_{eff})$$

Ecuación 6

Donde:

ET_c : Evapotranspiración verde acumulada en base a P_{eff}

P_{eff} : Se refiere a la precipitación pluvial efectiva.

Proceso de cálculo para el año 2013

Teniendo en cuenta los valores de evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{eff}) detallados en la Tabla 15, se calculó la huella hídrica verde:

$$P_{eff} = 361.3$$

$$ET_c = 669.7$$

Evapotranspiración de agua verde:

$$ET_{verde} = \min(669.7, 361.3)$$

$$ET_{verde} = 361.3$$

Aprovechamiento de agua de lluvia por el cultivo de la papa:

$$CWU_{verde} = 10 \times 361.3$$

$$CWU_{verde} = 3613 \text{ m}^3/\text{ha}$$

En la Tabla 9, se presenta el rendimiento de producción del cultivo de la papa para el año 2013, equivalente a:

$$Y = 10.34 \text{ t/ha}$$

Huella hídrica verde del cultivo de la papa-2013:

$$\Rightarrow WF_{verde} = \frac{3613 \text{ m}^3/\text{ha}}{10.34 \text{ t/ha}}$$

$$WF_{verde} = 349.42 \text{ m}^3/\text{t}$$

Proceso de cálculo para el año 2014

Teniendo en cuenta los valores de evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{eff}) detallados en la Tabla 15, se calculó la huella hídrica verde:

$$P_{eff} = 419.6$$

$$ET_c = 656.6$$

Evapotranspiración de agua verde:

$$ET_{verde} = \min(656.6, 419.6)$$

$$ET_{verde} = 419.6$$

Aprovechamiento de agua de lluvia por el cultivo de la papa:

$$CWU_{verde} = 10 \times 419.6$$

$$CWU_{verde} = 4196 \text{ m}^3/\text{ha}$$

En la Tabla 9, se presenta el rendimiento de producción del cultivo de la papa para el año 2014, equivalente a:

$$Y = 10.50 \text{ t/ha}$$

Huella hídrica verde del cultivo de la papa-2014:

$$\Rightarrow WF_{verde} = \frac{4196 \text{ m}^3/\text{ha}}{10.50 \text{ t/ha}}$$

$$WF_{verde} = 399.62 \text{ m}^3/\text{t}$$

Proceso de cálculo para el año 2015

Teniendo en cuenta los valores de evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{eff}) detallados en la Tabla 15, se calculó la huella hídrica verde:

$$P_{eff} = 423.9$$

$$ET_c = 681.4$$

Evapotranspiración de agua verde:

$$ET_{verde} = \min(681.4, 423.9)$$

$$ET_{verde} = 423.9$$

Aprovechamiento de agua de lluvia por el cultivo de la papa:

$$CWU_{verde} = 10 \times 423.9$$

$$CWU_{verde} = 4239 \text{ m}^3/\text{ha}$$

En la Tabla 9, se presenta el rendimiento de producción del cultivo de la papa para el año 2015, equivalente a:

$$Y = 10.60 \text{ t}/\text{ha}$$

Huella hídrica verde del cultivo de la papa-2015:

$$\Rightarrow WF_{verde} = \frac{4239 \text{ m}^3/\text{ha}}{10.60 \text{ t}/\text{ha}}$$

$$WF_{verde} = 399.91 \text{ m}^3/\text{t}$$

Proceso de cálculo para el año 2016

Teniendo en cuenta, los valores de evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{eff}) detallados en la Tabla 15, se calculó la huella hídrica verde:

$$P_{eff} = 368.2$$

$$ET_c = 708.3$$

Evapotranspiración de agua verde:

$$ET_{verde} = \min(708.3, 368.2)$$

$$ET_{verde} = 368.2$$

Aprovechamiento de agua de lluvia por el cultivo de la papa:

$$CWU_{verde} = 10 \times 368.2$$

$$CWU_{verde} = 3682 \text{ m}^3/\text{ha}$$

En la Tabla 9, se presenta el rendimiento de producción del cultivo de la papa para el año 2016, equivalente a:

$$Y = 10.77 \text{ t}/\text{ha}$$

Huella hídrica verde del cultivo de la papa-2016:

$$\Rightarrow WF_{verde} = \frac{3682 \text{ m}^3/\text{ha}}{10.77 \text{ t}/\text{ha}}$$

$$WF_{verde} = 341.88 \text{ m}^3/\text{t}$$

Proceso de cálculo para el año 2017

Teniendo en cuenta, los valores de evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la precipitación efectiva (P_{eff}) detallados en la Tabla 15, se calculó la huella hídrica verde:

$$P_{eff} = 436.7$$

$$ET_c = 715.3$$

Evapotranspiración de agua verde:

$$ET_{verde} = \min(715.3, 436.7)$$

$$ET_{verde} = 436.7$$

Aprovechamiento de agua de lluvia por el cultivo de la papa:

$$CWU_{verde} = 10 \times 436.7$$

$$CWU_{verde} = 4367 \text{ m}^3/\text{ha}$$

En la Tabla 9, se presenta el rendimiento de producción del cultivo de la papa para el año 2017, equivalente a:

$$Y = 10.89 \text{ t}/\text{ha}$$

Huella hídrica verde del cultivo de la papa-2017:

$$\Rightarrow WF_{verde} = \frac{4367 \text{ m}^3/\text{ha}}{10.89 \text{ t}/\text{ha}}$$

$$WF_{verde} = 401.01 \text{ m}^3/\text{t}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Caracterización del cultivo de la papa en la zona de estudio

A partir de las encuestas aplicadas (Anexo N° 5) se muestra que la actividad principal que se desarrolla dentro de la subcuenca del río Buin es la agricultura (Figura 6), cuyo principal cultivo es la papa (Figura 5).

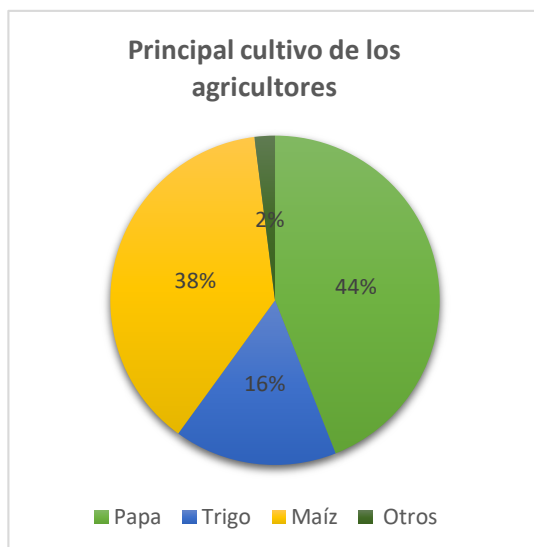


FIGURA 5. Principal cultivo producido dentro de la subcuenca Buin

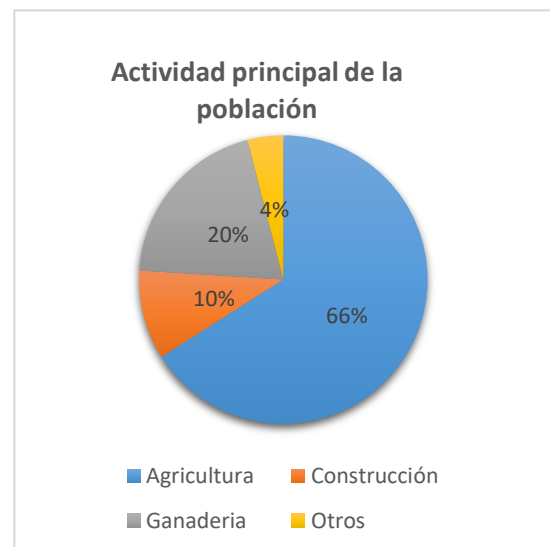


FIGURA 6. Actividades económicas dentro de la subcuenca Buin

El cultivo de la papa puede ser sembrada todo el año, pero generalmente se realiza en estaciones lluviosas (octubre-abril) (Figura 8), aprovechando al máximo las precipitaciones (Figura 7).



FIGURA 8. Fuentes de agua utilizada para la producción de la papa en la subcuenca Buin

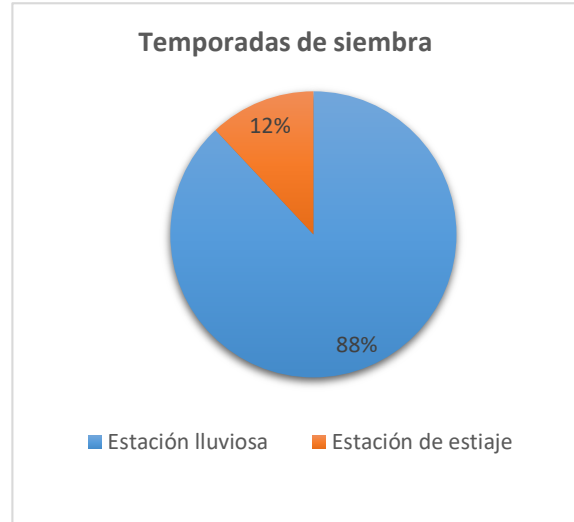


FIGURA 7. Temporadas de siembra del cultivo de la papa dentro de la subcuenca Buin

Además, para satisfacer las necesidades de agua que no cubre las lluvias la población cuenta con una junta de riego que regula la distribución semanal de agua; los dos primeros días lo utiliza el sector Catay, los dos siguientes días pertenece a Llipta y Shilla; finalmente los dos últimos días los utiliza el sector Carapo.

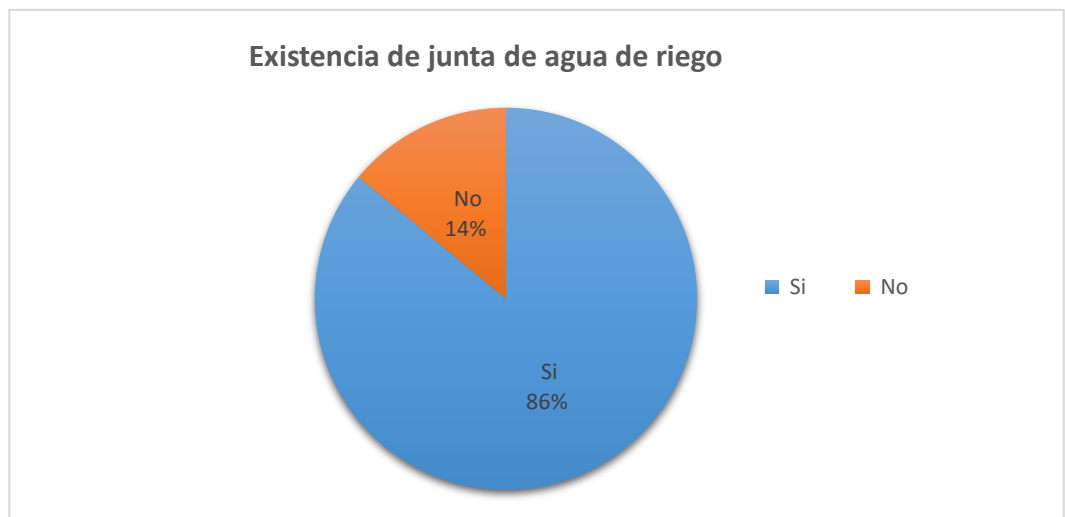


FIGURA 9. Organización de junta de riego en la subcuenca Buin.

Por otro lado, se observó una baja intensidad agrícola dentro de área de estudio, frente a esto los agricultores indican que las causas principales están relacionadas a los factores climáticos como las heladas, sequías eventuales, inundaciones, entre otros (Figura 11); añadido a esto, un aspecto social como la migración hacia la capital hace que disminuya la cantidad de agricultores, en consecuencia, esta actividad se desarrolla con muy poca frecuencia (Figura 10).

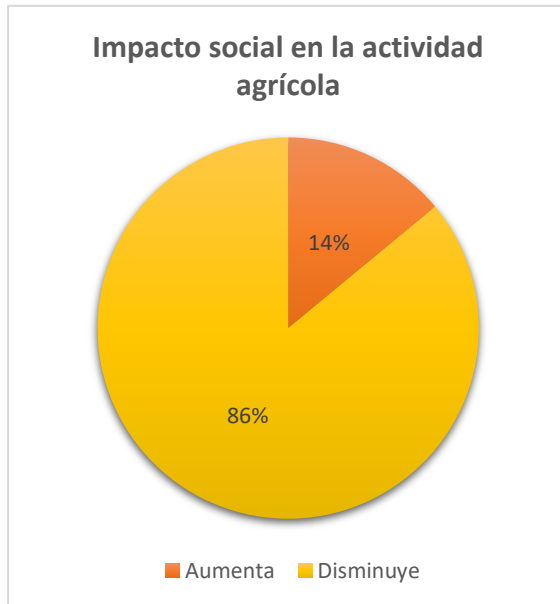


FIGURA 11. Impacto social de la migración sobre la actividad agrícola dentro de la subcuenca Buin.

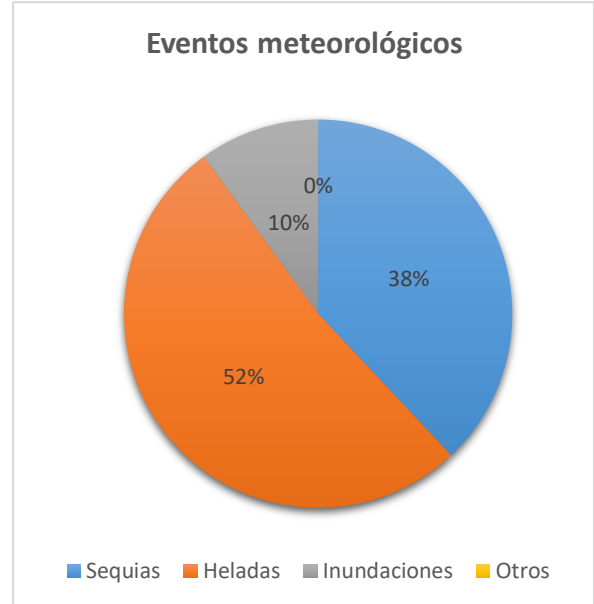


FIGURA 10. Impactos de los eventos meteorológicos sobre el cultivo de la papa en la subcuenca Buin.

4.2. Características de los parámetros meteorológicos dentro del área de estudio

A continuación, se muestran los resultados del comportamiento de los parámetros meteorológicos dentro de la subcuenca Buin para el periodo 2013-2017.

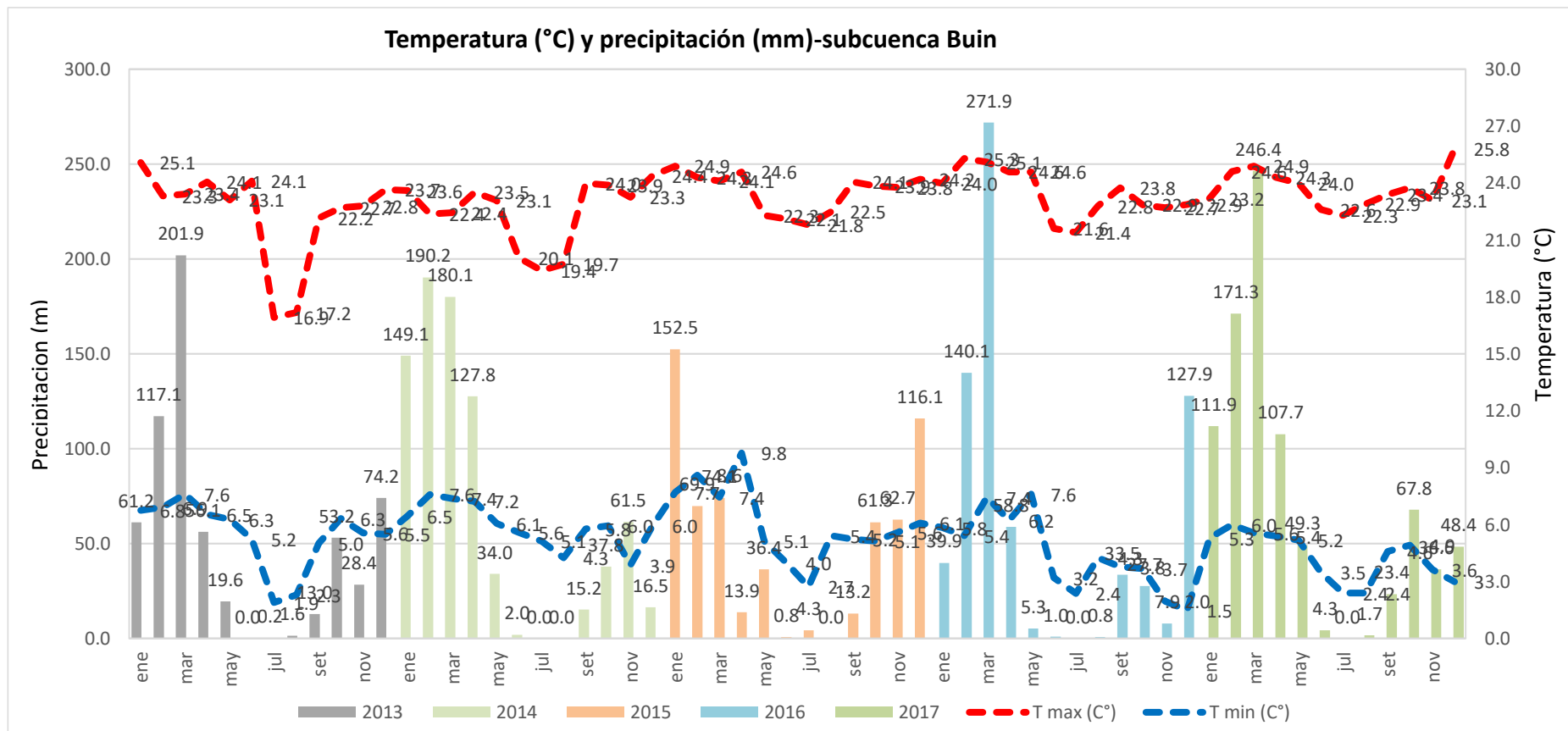


FIGURA 12. Gráfico de la temperatura (°C) y precipitación (mm) en la subcuenca Buin, periodo 2013-2017

En la figura 12, se muestra el comportamiento de la precipitación frente a la variación de temperatura dentro de la subcuenca Buin, 2013-2017. Las precipitaciones pluviales altas se presentan en épocas lluviosas (octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril) llegando hasta los 271.9 mm como en el mes de marzo del 2016; mientras que en los meses secos (mayo, junio, julio y agosto) se muestran valores muy bajos o nulos. Las temperaturas máximas se muestran en los meses de setiembre a marzo con valores de 16.9 °C hasta 25.8°C, y disminuye en los meses secos (junio, julio y agosto) en un rango de variación mínima de 1.5 a 9.8 C°.

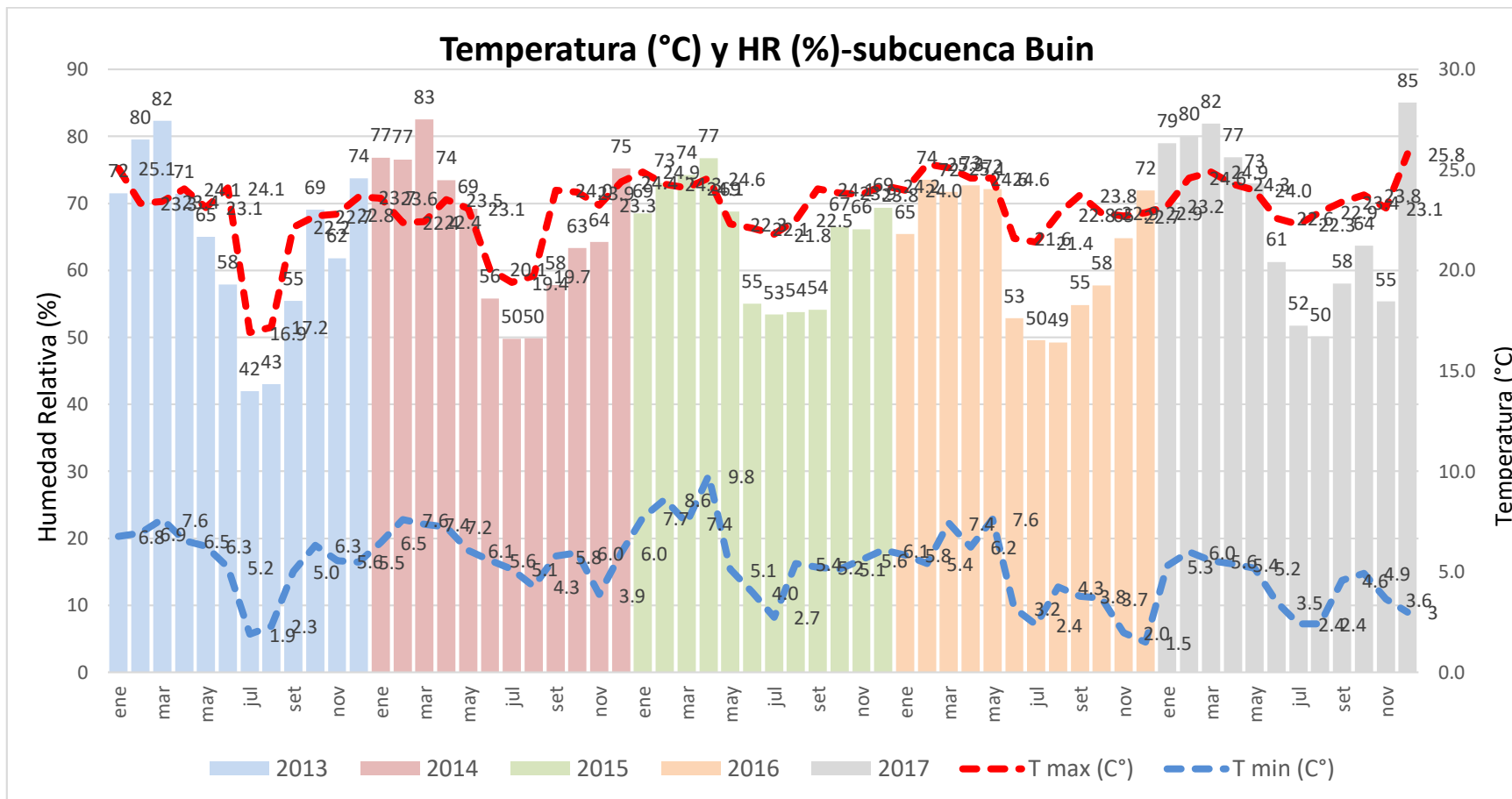


FIGURA 13. Gráfico de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) en la subcuenca Buin, periodo 2013-2017

En la figura 13, se muestra el comportamiento de la humedad relativa ante la variación de la temperatura dentro de la subcuenca Buin, 2013-2017. Los resultados de la humedad relativa varían de 42 a 85%, los valores máximos se registraron en épocas donde se obtuvo temperaturas máximas como en los meses de setiembre a marzo con valores de 16.9 °C hasta 25.8°C, y disminuye en los meses secos (junio, julio y agosto) en un rango de variación mínima de 1.5 a 9.8 °C.

4.3. Estimación de la huella hídrica verde del cultivo de la papa

TABLA 15. Resultados de la huella hídrica verde de la producción de la papa dentro de la subcuenca Buin, periodo 2013–2017

Cultivo	Año	P	P _{eff}	P _{eff}	T _{Max}	T _{Min}	Rad _{Sola}	H _R	V _{vient}	ET _c	CWU _{Verd}	WF _{Verd}
		(mm)	(mm)	(%)	(°C)	(°C)	(MJ/día)	(%)	(m/s)	(mm)	(m ³ /ha)	(m ³ /t)
	2013	626.5	361.3	57.7	22.4	5.5	24.9	64	1.0	669.7	3613	349.4
	2014	814.3	419.6	51.5	22.5	5.9	24.7	66	0.9	656.6	4196	399.6
Papa	2015	605.2	423.9	70.0	23.5	6.1	25.3	65	1.2	681.4	4239	399.9
	2016	714.6	368.2	51.5	23.5	4.4	26.5	63	1.2	708.3	3682	341.9
	2017	868.6	436.7	50.3	23.7	4.3	26.8	68	1.1	715.3	4367	401.0

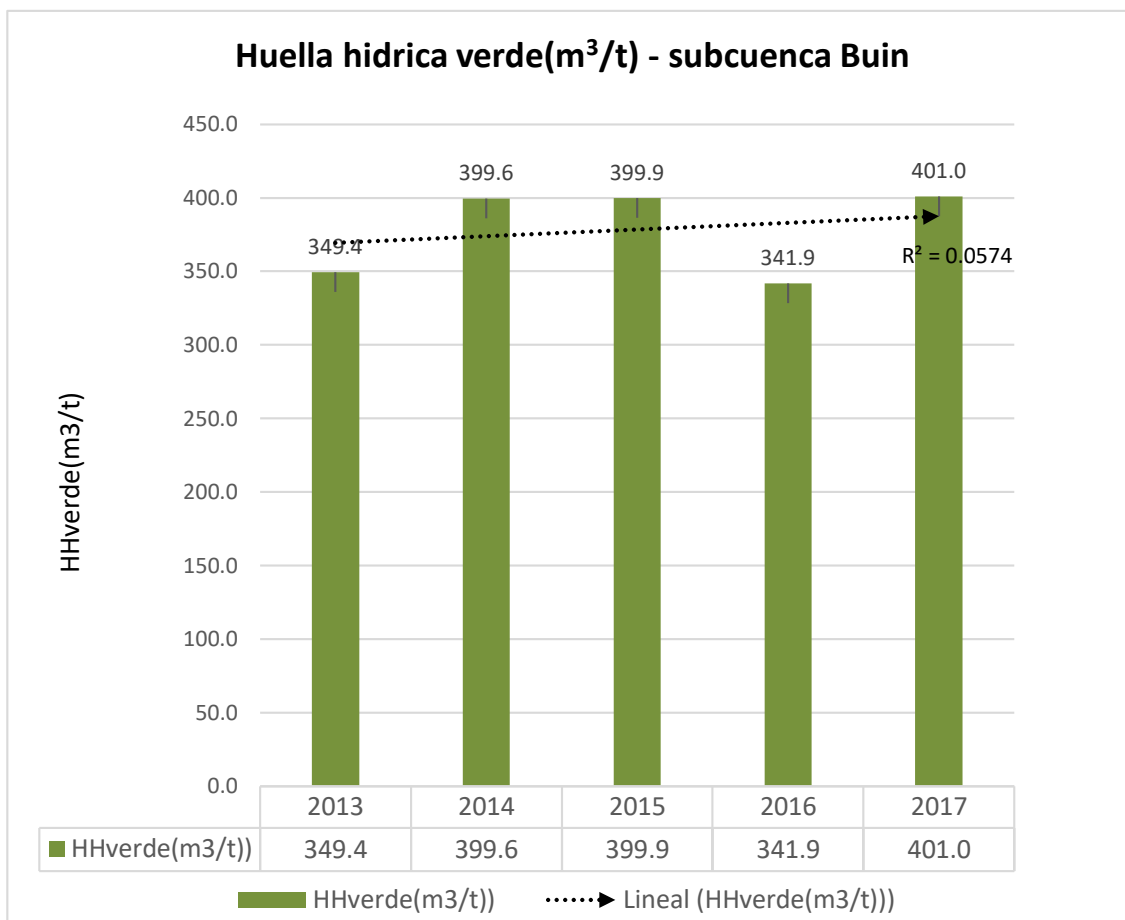


FIGURA 14. Comportamiento de la huella hídrica verde de la producción de la papa en la subcuenca Buin, 2013 – 2017

La Figura 14 muestra los resultados totales anuales de la huella hídrica verde dentro de la subcuenca Buin, periodo 2013-2017.

En el año 2017 el volumen total de consumo de agua proveniente de las precipitaciones para la producción de la papa fue el máximo con un valor de 401.7 m³/t, mientras que en el 2016 se calculó el total mínimo de consumo de agua verde con un valor de 341.9 m³/t.

Según la figura 14, la tendencia lineal de la huella hídrica verde durante el periodo anual del 2013 al 2017 presenta un incremento.

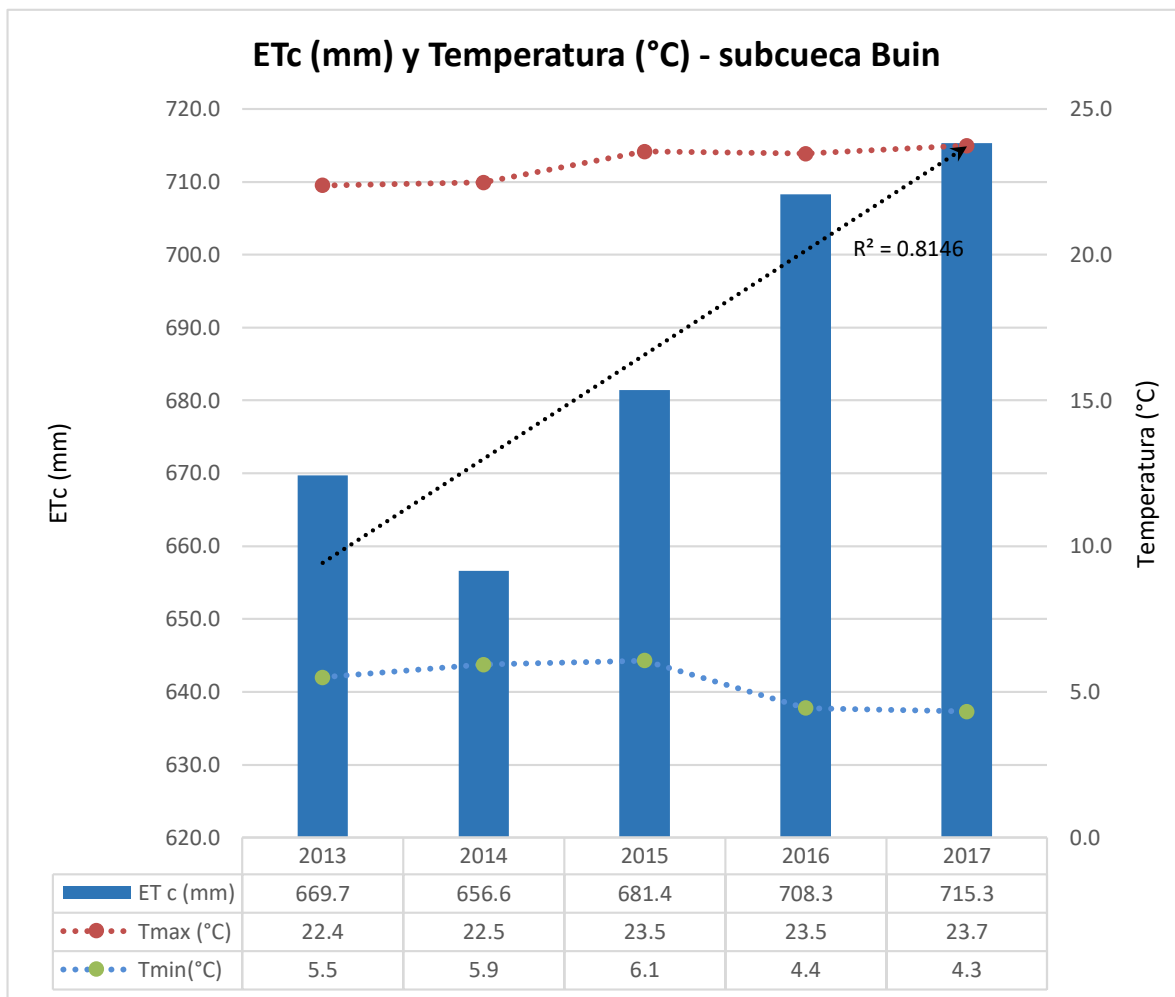


FIGURA 15. Relación de la evapotranspiración del cultivo de la papa y la temperatura dentro de la subcuenca del río Buin, 2013 – 2017

La Figura 15, muestra los resultados totales anuales de la evapotranspiración del cultivo de la papa (ETc) dentro de la subcuenca Buin, periodo 2013-2017.

En el año 2017 el total máximo de evapotranspiración del cultivo de la papa (ETc) fue de 715.3 mm, mientras que el 2014 se reportó la evapotranspiración mínima con un valor de 656.6 mm.

Según la Figura 15, la tendencia lineal de la evapotranspiración del cultivo de la papa durante el año 2013 al 2017 presenta un incremento.

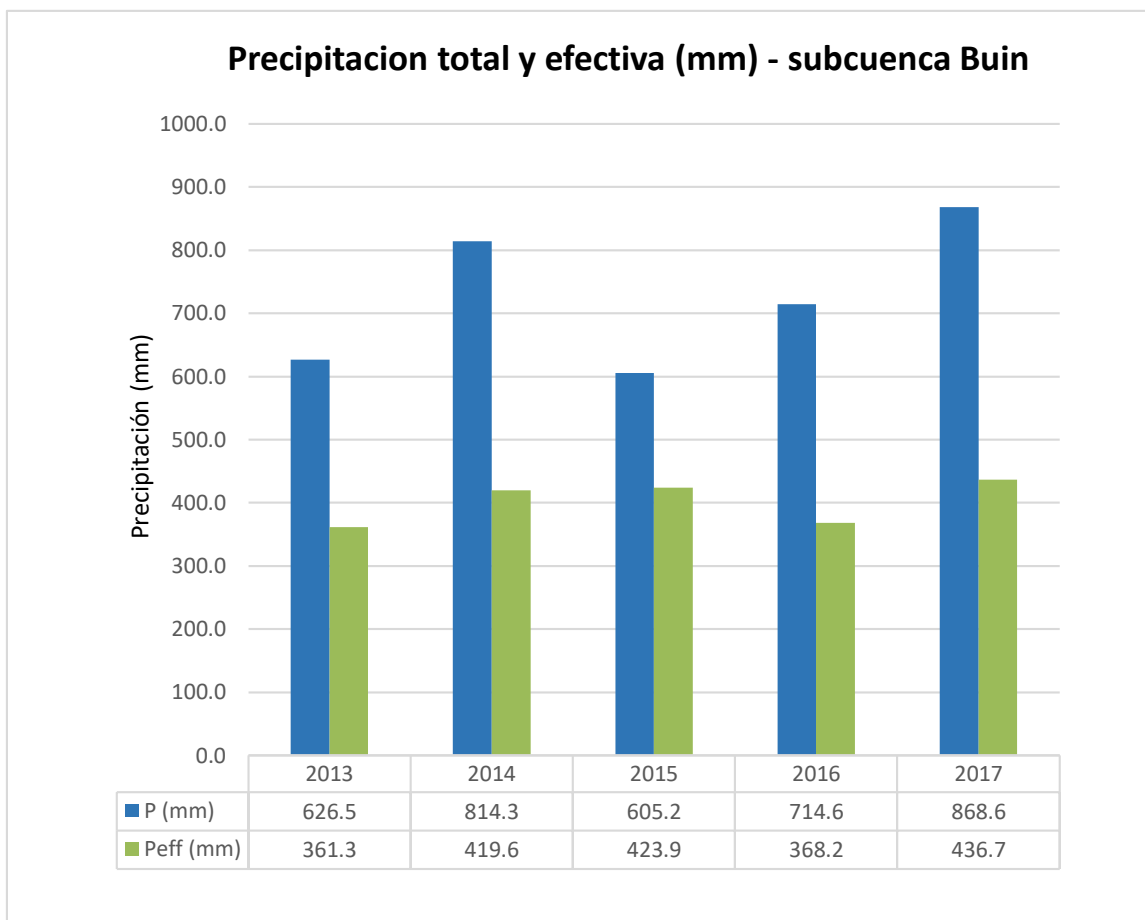


FIGURA 16. Comparación de la precipitación total y precipitación efectiva dentro de la subcuenca del río Buin, 2013-2017.

En la Figura 16, se muestra que la precipitación total anual tiene un registro mínimo de 605.2 mm en el año 2013 y un máximo de 868.6 mm en el año 2017.

Mientras tanto la menor precipitación efectiva se reportó en el año 2014 y 2016 con una estimación aproximada del 51.5 % de aprovechamiento de la precipitación total, y el máximo de este parámetro fue en el año 2015 con una cantidad de 423.9 mm representando el 70.0% del total de agua de lluvia (Tabla 15). Esta relación entre la precipitación total y precipitación efectiva muestra una pérdida considerable durante el trayecto del agua de lluvia.

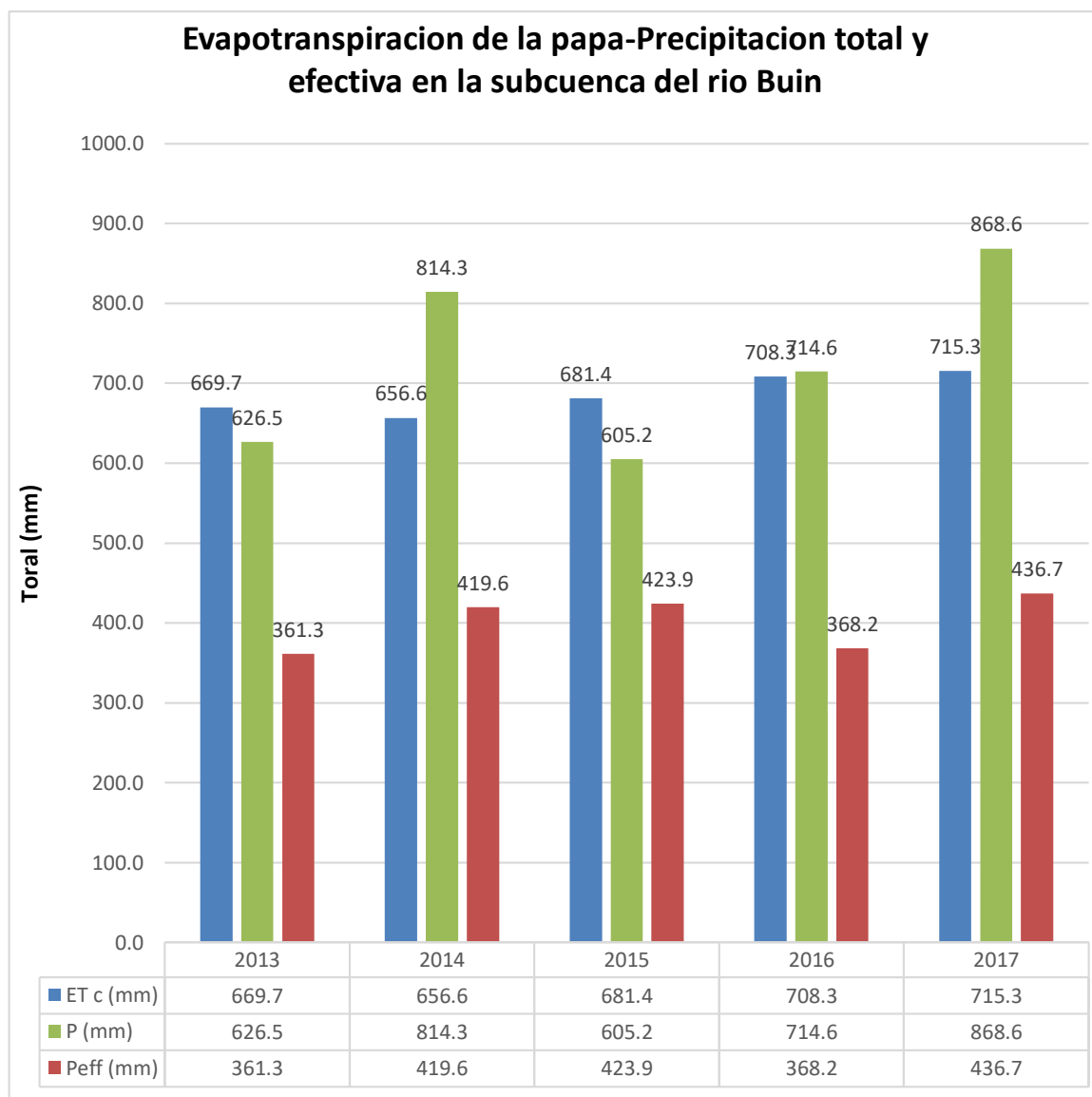


FIGURA 17. Comparación de la evapotranspiración del cultivo de la papa, precipitación total y precipitación efectiva en la subcuenca del río Buin. 2013-2017.

En la Figura 17, se presenta 3 columnas que representan los resultados anuales de la evapotranspiración del cultivo de la papa (ETc), precipitación total (P) y precipitación efectiva (Peff) dentro de la subcuenca del río Buin.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Características del cultivo de la papa dentro de la zona de estudio

Según los resultados de las encuestas aplicadas (Anexo N° 5), la actividad principal dentro de la sub cuenca Buin es la agricultura cuyo principal producto es la papa, pero en los últimos años este cultivo está siendo reemplazado por el maíz y otros cultivos (Figura 5) porque según lo manifestado por los agricultores, son más resistentes a los impactos meteorológicos y el costo de producción es menor que el de la papa.

La producción de la papa se realiza en estaciones lluviosas (Figura 8) aprovechando al máximo las precipitaciones (Figura 7), pero es necesario suplir el agua perdida o no aprovechada (Figura 16), para ello los agricultores cuentan con una junta de regantes (Figura 9) quienes distribuyen el agua de riego para los diferentes sectores según un cronograma semanal.

La papa es producida en un suelo cuya clase textural predominante es franco arenoso (Tabla 4) con una tasa de filtración máxima de 120mm/día, estas características según Alvarez (2002) ayudan a un desarrollo óptimo de este cultivo. Por otro lado, para este estudio se tomó un periodo de producción total de 180 días,

pero según Cortez (1988) la duración de este ciclo vegetativo dependerá de la variedad del cultivo, condiciones climáticas desfavorables, manejo agronómico inadecuado en las labores de riego, entre otros.

5.2. Análisis de los parámetros meteorológicos dentro de la subcuenca Buin, periodo 2013-2017

Según Martínez & Patiño (2012), en un escenario de cambio climático la variación de la temperatura tiene repercusiones sobre el ciclo hidrológico. Así, en este estudio se mostró el comportamiento de la precipitación (mm) frente a la variación de la temperatura (°C) desde el año 2013 al 2017 (Figura 12), donde se observó que estos parámetros mantienen una relación directa (a mayor temperatura se presenta mayor precipitación). Además, se mostró que esta zona presenta una variabilidad de las precipitaciones entre un año y otro, observándose ciclos alternos que se descomponen en periodos muy lluviosos y periodos con poca o nula precipitación.

Por otro lado, se mostró el comportamiento de la humedad relativa (%) frente a la variación de la temperatura (C°) observando que el porcentaje de humedad no es constante, según Cortez (2000), debido a diferentes factores como la presencia de lluvias, ubicación geográfica y presencia de vegetación.

Finalmente, cabe recalcar que para esta investigación se manejó un periodo relativamente corto, por lo que las interpretaciones del comportamiento de los parámetros meteorológicos no se dieron en un contexto de cambio climático, sino en un escenario de variabilidad climática.

5.3. Análisis de la huella hídrica verde

En la figura 14, se muestra que el comportamiento de la huella hídrica verde presenta una tendencia de incremento en los últimos años, esto debido a que la variabilidad y aumento de la temperatura influye en la pérdida de agua a través de la evapotranspiración del cultivo de la papa (figura 15), mostrando una inclinación de incremento durante el periodo de estudio. Frente a la necesidad de cubrir estas pérdidas de agua por evaporación y transpiración, este cultivo requiere consumir agua proveniente de la precipitación (huella hídrica verde) y de fuentes superficiales (ríos, lagunas, manantiales, entre otros).

Además, según los resultados totales de precipitación reportados en la Tabla 15 se podría decir que esta cantidad de agua de lluvia (605.2 – 868.6 mm) teóricamente puede satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de la papa, tal como lo indica Rojas (2001); pero intervienen otros factores como las características físicas (topografía propia del área de estudio) y la distribución temporal de precipitación en cada estación lluviosa, que hacen que aproximadamente sólo el 50% de la precipitación total sea aprovechado (Tabla 15), llegando así a tener un déficit hídrico que es cubierto mediante riegos dentro de la subcuenca del río Buin.

Por otro lado, los resultados obtenidos de huella hídrica verde promedio para el cultivo de la papa dentro de la subcuenca Buin es aproximadamente 378.5 m³/t, mientras que los resultados en la subcuenca de Achamayo, Huancayo, Perú es de 425.9 m³/t para el mismo cultivo (Apaniguare, 2016) y finalmente en la cuenca Ubaté-Bogotá-Colombia se obtuvo un valor de 430,2 m³/t (Del Pilar, 2106). Estos resultados varían por las características edáficas y climáticas propias de cada área productiva.

Finalmente, tomando como referencia las aclaraciones de Estrada & Rivera (2014) es importante mencionar que en esta investigación las estimaciones relacionadas al consumo de agua de lluvia (huella hídrica verde) se realizó en base a información de fuentes secundarias, por lo que estos resultados son relativos y generalizados para el área de estudio; sumado a esto, las limitaciones de software, la magnitud y características del estudio incidieron en la precisión de estas estimaciones.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El consumo del agua de precipitación o huella hídrica verde del cultivo de la papa presenta una tendencia de incremento en los últimos años, esto debido a la variación e incremento de la temperatura durante el periodo de estudio (2013 – 2017), y generó un incremento de las pérdidas de agua a través de la evapotranspiración. Ante esta pérdida se requirió el agua proveniente de las precipitaciones, que incluso no fueron suficientes para satisfacer las necesidades hídricas de la papa, requiriendo así de otras fuentes como el agua de riego.
- Los resultados de la huella hídrica verde del cultivo de la papa, varía de acuerdo a características edáficas y climáticas propias de cada área.
- Dentro del área de estudio se encontró que el comportamiento de los parámetros meteorológicos como la precipitación está directamente relacionada a la variación de la temperatura, existiendo así variabilidad de precipitación durante las estaciones de lluvia. Por otro lado, esta variabilidad climática genera eventos meteorológicos adversos que afectan directamente al cultivo de la papa, y frente a este problema

los agricultores buscan reemplazar este cultivo por otros más resistentes a estos impactos.

- Las características físicas del área de estudio como la topografía, y aspectos socioeconómicos como la migración de la población a la capital, hacen que no se desarrolle una actividad agrícola intensiva dentro de la subcuenca Buin, pues sólo se practica para satisfacer sus necesidades locales o de subsistencia.
- Esta investigación generó información relativa y de manera generalizada sobre la huella hídrica verde del cultivo de la papa en la subcuenca Buin.

6.2. Recomendaciones

- Para una investigación más representativa y confiable dentro de la subcuenca del río Buin, es recomendable trabajar con datos obtenidos directamente en campo.
- Para realizar un análisis más detallado del cambio climático, se recomienda trabajar con la mayor cantidad de años posibles.
- Es recomendable incluir el análisis del consumo de agua de riego (huella hídrica azul), y también la cantidad de agua empleada para diluir los contaminantes de los agroquímicos utilizados para la producción de la papa (huella hídrica gris).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez , C. (2002). *Contribución a la caracterización de suelos del área basáltica alrededores de Laureles, Depto. de Salto*. Uruguay: Universidad Nacional de Uruguay. Tesis (Pregrado ingeniería agronomo).
- Autoridad Nacional del Agua - ANA (2009). *Huella Hidrica en el Peru: Sector Agropecuario*. Lima: Informe. Recuperado de: <http://www.wwfca.org/?253691/huellahidrica-del-peru-sector-agropecuario>.
- ANA. (2019). *Ley de los Recursos Hídricos: Ley N° 29338. Agua y +*, <http://www.ana.gob.pe/publicaciones/ley-no-29338-ley-de-recursos-hidricos>.
- Arévalo, D. (2012). *Una mirada a la Agricultura de Colombia desde su Huella Hidrica*. Colombia:<http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>
- Arévalo, Lozano, J. & Sabogal, J. (2011). *Estudio nacional de huella hídrica Colombia Sector Agrícola. Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. Recuperado de: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099/11915> , pp.101-126.
- Brouwer, H. (1988). *Infiltración: Guía útil para comparar las practicas de manejo de cultivo*. Método del cilindro. USA, pp. 825–843.: Editorial SSSA.
- Chapagain, A. & Hoekstra, A. (2007). *Water footprints of nations, Value of Water*. Research Report Series N° 16, UNESCO-IHE.
- Chenoweth, J. (2013). *Quantifying the human impact on water resources: a critical review of the water footprint concept*. Magazine Hydrology and Earth System Sciences. 74p.
- Cortéz, J. (2000). *Análisis del Crecimiento y de la Absorción de nutrientes en dos Cultivares de Papa (Solanum tuberosum) en la Zona Norte de Cartago*. Costa Rica: Tesis (Pregrado Facultad de Agronomía). Universidad de Costa Rica.
- Costa, C. (2007). *La adaptación al cambio climático en Colombia*. Revista de Ingeniería. Universidad de Colombia. pp. 47-76.
- Daniel Casaca, A. (2005). *Guías tecnológicas de frutas y vegetales*. Documento técnico. Costa Rica. Abril, file:///D:/guia%20metodologica%20huella%20hidrica/el-cultivo-de-la-papa.pdf.

- Del Pilar, M. (2016). *Análisis comparativo de la Huella Hídrica en agroecosistemas de la microcuenca Alto Rio Ubaté*. Bogota, Colombia: Universidad de Colombia. Trabajo de Investigación de Postgrado.
- Dummont, A. & Salmoral, G. (2010). *Hidrology and Earth system Sciences. Global Inventory*. Magazine Science Direct. 43p.
- Estrada, D. & Darío, R (2004). *Instrumentos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 208 p,
- Falkenmark, M. & Rockström, J. (2006). *The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management*. Water Magazine. 296p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (1995). *Temas de sostenibilidad en políticas de desarrollo agrícola y rural*. Manual del capacitador, Vol. I.
- FAO. (1998). *The state of the food and agriculture*. Roma-Italia N° 31: <http://www.fao.org/3/w9500e/w9500e.pdf>.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del Cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. 1ª ed. Roma – Italia, 2006. 323 p. ISBN 92-304219-2. 6.
- García, M. (2013). *La huella hídrica como indicador de presiones: aplicación a la cuenca de Duero y al sector porcino Español*. Universidad Politécnica de Catalunya, España. Tesis doctoral.
- Hoekstra, A. (2011). *Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis*. Magazine Ecological Economics, 23-28p.
- Hoekstra, A. & Hung, P. (2002). *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Magazine Globalization of Water.
- Hoekstra, A. & Mekonnen, M. (2012). *Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern*. Oxford: Water Magazine Water Resources Management, 21(1), 35–48. Disponible en: <http://link.springer.com/journal/11269>.

- Iglesias, A. & Medina, F. (2009). *Consecuencias del cambio climático para la agricultura, ¿un problema de hoy o del futuro?*. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, pp. 45-70.
- Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI (2004). *Mapa de peligros, plan de uso del suelo y medidas de mitigación ante desastres en la ciudad de Carhuaz*. Carhuaz. Obtenido de <http://Municipalidadcarhuaz.org>. Carhuaz.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA (2003). *Variedades nativas y mejoradas de papa*. Lima-Perú. Serie Libro No 01- 2002. Unidad de Transferencia de Tecnología de la Estación Experimental Illpa Puno.
- Inostrosa F, Méndez, L. & Sotomayor, L. (2009). *Botánica y Morfología de la papa*. En *INIA Fitogenéticos*. Temuco, Chile: Editorial Fénix. pp 37-76.
- Ipanaguirre, A. (2016). *Análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica verde de la actividad agrícola en la sub cuenca del río Achamayo*. Universidad Nacional del Centro, Huancayo, Perú: Tesis Pregrado.
- Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC (2012). *Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC*. Ginebra.
- International Organization for Standardization, ISO (2014). *Environmental management Water footprint - Principles, requirements and guidelines*. Suiza. Recuperado de <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896712004.pdf>
- Mallma Capcha, T. (2015). *Huella hídrica de los productos agrícolas de la región Junín comercializadas en la ciudad de Lima*. Universidad Continental, Huancayo: Tesis Doctoral.
- Martínez, P., y Patiño, C. (2012). *Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México*. Revista Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. III, núm. 1, pp. 5-20.
- Mesfin, M., Markus, P., Aldaya, M., Zarate, E. & Hoekstra, A. (2015). *Sostenibilidad, Eficiencia y Equidad de Consumo de Agua y Contaminación en A*. Magazine Water Footprint Network.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales - ONERN. (1973). *Estudio de suelos del Callejón de Huaylas*. Lima-Perú. 215-217p.

- Parry, M. & Fischer, G. (2004). *Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios*. Magazine Global Environmental Change, 53-67p.
- Quispe, Y. (2017). *Fenómeno el Niño y su relación con la variabilidad climática en la provincia de Cusco, periodo 1964 – 2014*". Universidad Andina del Cusco, Perú. Tesis Doctoral.
- Rodriguez, N. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes Colombianos*. Revista Columbia. 43p.
- Rojas, E. (2001). *Evaluación del desarrollo del cultivo de papa bajo escenarios de variabilidad climática interanual y cambio climático, en el sur oeste de la Sabana de Bogotá*. Bogota-Colombia.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI (1996). *"Provincia de Carhuaz, Estadística Básica"*. Lima-Peru.
- United Nations Environment Programme - UNEP; Kore International Cooperation Agency, KOIKA (2010). *Water Footprint and Corporate Water Accounting for Resource Efficiency*. <http://www.waterfootprint.org/Reports/UNEP-2011.pdf>.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO (2015). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas*. Palais des Nations en Ginebra - Suiza: Ediciones WWDR. Value of Water Research Report Series No.48 - UNESCO-IHE, Delft. No.12, UNESCO-IHE, Delft, 2010.

ANEXOS

- Anexo N°1°** Datos meteorológicos de la estación Shilla –CIAD, periodo 2013-2017.
- Anexo N°2°** Datos de suelos- Laboratorio de suelos – FCA- UNASAM.
- Anexo N°3°** Resultados estimados con el software CropWat, periodo 2013-2017.
- Anexo N°4°** Formato de encuesta.

Anexo N° 1:

Datos meteorológicos de la estación Shilla –

CIAD, periodo 2013-2017



UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE



CONSTANCIA


El que suscribe, Coordinador del Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD), hace constar que a solicitud del estudiante TORRES HUACANCA FREDY JOSEIN con DNI: 72071850, el CIAD ha facilitado la data meteorológica registrada por la ESTACIÓN METEOROLÓGICA SHILLA (EM-05-UNASAM-SHILLA) del periodo 2013-2017, de los siguientes parámetros:

- Temperatura máxima y mínima (°C)
- Humedad relativa (%)
- Velocidad del viento (m/s)
- Precipitación (mm)

Los datos solicitados es para la realización de la tesis de pregrado denominado “ANALISIS DE LA HUELLA HIDRICA VERDE EN LA PRODUCCION DE LA PAPA ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA SUBCUENCA DEL RIO BUIN , 2013-2017”

Huaraz, 12 de Diciembre del 2019




Ing. Ciró Fernández Rosales
Responsable del CIAD



EM-05-UNASAM-Shilla

Latitud: 09° 14' 03.10" S
Longitud: 77° 37' 29.30" W
Altitud: 3133 msnm
Año:2013



Parámetro	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (mm)	61.2	117.1	201.9	56.1	19.6	0.0	0.2	1.6	13.0	53.2	28.4	74.2
T max (°C)	25.1	23.3	23.4	24.1	23.1	24.1	16.9	17.2	22.2	22.7	22.8	23.7
T min (°C)	6.8	6.9	7.6	6.5	6.3	5.2	1.9	2.3	5.0	6.3	5.6	5.5
VV (m/s)	1.0	0.9	0.8	1.0	1.0	1.1	1.3	1.5	1.2	1.0	1.0	0.9
HR (%)	72	80	82	71	65	58	42	43	55	69	62	74

Centro de investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)-FCAM-UNASAM



EM-05-UNASAM-Shilla

Latitud: 09° 14' 03.10" S
Longitud: 77° 37' 29.30" W
Altitud: 3133 msnm
Año:2014



Parámetro	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (mm)	149.1	190.2	180.1	127.8	34.0	2.0	0.0	0.0	15.2	37.8	61.5	16.5
T max (°C)	23.6	22.4	22.4	23.5	23.1	20.1	19.4	19.7	24.0	23.9	23.3	24.4
T min (°C)	6.5	7.6	7.4	7.2	6.1	5.6	5.1	4.3	5.8	6.0	3.9	6.0
VV (m/s)	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	0.8
HR (%)	77	77	83	74	69	56	50	50	58	63	64	75

Centro de investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)-FCAM-UNASAM



EM-05-UNASAM-Shilla

Latitud: 09° 14' 03.10" S
Longitud: 77° 37' 29.30" W
Altitud: 3133 msnm
Año:2015



Parámetro	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (mm)	152.5	69.9	74.1	13.9	36.4	0.8	4.3	0.0	13.2	61.3	62.7	116.1
T max (°C)	24.9	24.3	24.1	24.6	22.3	22.1	21.8	22.5	24.1	23.9	23.8	24.2
T min (°C)	7.7	8.6	7.4	9.8	5.1	4.0	2.7	5.4	5.2	5.1	5.6	6.1
VV (m/s)	1.1	1.3	1.3	1.4	1.0	1.3	1.6	1.3	1.1	1.2	1.0	1.0
HR (%)	69	73	74	77	69	55	53	54	54	67	66	69

Centro de investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)-FCAM-UNASAM



EM-05-UNASAM-Shilla

Latitud: 09° 14' 03.10" S
Longitud: 77° 37' 29.30" W
Altitud: 3133 msnm
Año:2016



Parámetro	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (mm)	39.9	140.1	271.9	58.8	5.3	1.0	0.0	0.8	33.5	27.7	7.9	127.9
T max (°C)	24.0	25.3	25.1	24.6	24.6	21.6	21.4	22.8	23.8	22.9	22.7	22.9
T min (°C)	5.8	5.4	7.4	6.2	7.6	3.2	2.4	4.3	3.8	3.7	2.0	1.5
VV (m/s)	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.3	1.0
HR (%)	65	74	72	73	72	53	50	49	55	58	65	72

Centro de investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)-FCAM-UNASAM



EM-05-UNASAM-Shilla

Latitud: 09° 14' 03.10" S
Longitud: 77° 37' 29.30" W
Altitud: 3133 msnm
Año:2017



Parámetro	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
P (mm)	111.9	171.3	246.4	107.7	49.3	4.3	0.0	1.7	23.4	67.8	36.6	48.4
T max (°C)	23.2	24.6	24.9	24.3	24.0	22.6	22.3	22.9	23.4	23.8	23.1	25.8
T min (°C)	5.3	6.0	5.6	5.4	5.2	3.5	2.4	2.4	4.6	4.9	3.6	3
VV (m/s)	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.5
HR (%)	79	80	82	77	73	61	52	50	58	64	55	85

Centro de investigación Ambiental para el desarrollo (CIAD)-FCAM-UNASAM

Anexo N° 2

Datos de suelos- Laboratorio de suelos

FCA- UNASAM



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO

SOLICITANTE: Torres Huacanca Fredy Josein

UBICACIÓN: Distrito de Shilla –Provincia de Carhuaz -Departamento Ancash

AÑO DE MUESTREO: 2015

Muestra	Textura (%)			Clase Textural
	Arena	Limo	Arcilla	
Runtu chico	46	25	29	Franco arcillo arenoso
Canchapampa	54	31	15	Franco arenoso
Catay	73	20	7	Franco arenoso
Mushca Pampa	68	19	13	Franco arenoso
Lleclish Pacha	62	25	13	Franco arenoso
Trancapachan	56	27	17	Franco arenoso

Fuente: Laboratorio de suelos – FCA-UNASAM

Huaraz, 15 de Noviembre del 2019.


 Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

Anexo N° 3

esultados estimados con el software CropW

periodo 2013-2017.

TABLA 16. Resultados estimados con el software CropWat-año 2013.

Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Inic	0.15	0.66	4.0	1.9	2.4
Sep	3	Inic	0.15	0.67	6.7	7.5	0.0
Oct	1	Inic	0.15	0.68	6.8	14.0	0.0
Oct	2	Inic	0.15	0.69	6.9	18.9	0.0
Oct	3	Des	0.21	0.97	10.7	15.6	0.0
Nov	1	Des	0.43	2.05	20.5	9.6	10.9
Nov	2	Des	0.65	3.17	31.7	6.2	25.4
Nov	3	Des	0.88	4.28	42.8	11.4	31.4
Dic	1	Med	1.10	5.38	53.8	19.0	34.7
Dic	2	Med	1.16	5.72	57.2	24.0	33.2
Dic	3	Med	1.16	5.82	64.0	22.2	41.9
Ene	1	Med	1.16	5.92	59.2	18.0	41.3
Ene	2	Med	1.16	6.03	60.3	16.1	44.2
Ene	3	Fin	1.15	5.82	64.0	21.3	42.8
Feb	1	Fin	1.07	5.27	52.7	27.2	25.5
Feb	2	Fin	0.98	4.69	46.9	31.7	15.2
Feb	3	Fin	0.90	4.21	33.7	36.3	0.0
Mar	1	Fin	0.82	3.75	37.5	44.9	0.0
Mar	2	Fin	0.76	3.41	10.2	15.5	0.0
					669.7	361.3	348.8

TABLA 17. Resultados estimados con el software CropWat-año 2014.

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Inic	0.15	0.70	4.2	2.8	1.9
Sep	3	Inic	0.15	0.72	7.2	7.1	0.1
Oct	1	Inic	0.15	0.73	7.3	9.5	0.0
Oct	2	Inic	0.15	0.74	7.4	11.8	0.0
Oct	3	Des	0.21	1.03	11.4	14.1	0.0
Nov	1	Des	0.43	2.15	21.5	18.1	3.4
Nov	2	Des	0.65	3.29	32.9	21.3	11.7
Nov	3	Des	0.87	4.41	44.1	16.0	28.1
Dic	1	Med	1.09	5.49	54.9	5.3	49.6
Dic	2	Med	1.15	5.79	57.9	0.0	57.9
Dic	3	Med	1.15	5.74	63.1	10.9	52.3
Ene	1	Med	1.15	5.69	56.9	29.5	27.4
Ene	2	Med	1.15	5.64	56.4	41.5	14.8
Ene	3	Fin	1.15	5.47	60.1	42.4	17.7
Feb	1	Fin	1.07	4.97	49.7	42.7	6.9
Feb	2	Fin	0.97	4.43	44.3	45.2	0.0
Feb	3	Fin	0.89	3.99	31.9	44.3	0.0
Mar	1	Fin	0.81	3.56	35.6	43.9	0.0
Mar	2	Fin	0.75	3.24	9.7	13.1	0.0
					656.6	419.6	271.8

TABLA 18. Resultados estimados con el software CropWat-año 2015.

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Inic	0.15	0.71	4.3	1.8	2.8
Sep	3	Inic	0.15	0.73	7.3	8.1	0.0
Oct	1	Inic	0.15	0.74	7.4	15.0	0.0
Oct	2	Inic	0.15	0.75	7.5	20.3	0.0
Oct	3	Des	0.21	1.04	11.4	19.8	0.0
Nov	1	Des	0.43	2.15	21.5	17.5	4.0
Nov	2	Des	0.65	3.27	32.7	17.1	15.6
Nov	3	Des	0.88	4.40	44.0	21.9	22.0
Dic	1	Med	1.10	5.49	54.9	27.8	27.1
Dic	2	Med	1.16	5.81	58.1	32.3	25.8
Dic	3	Med	1.16	5.84	64.2	34.4	29.9
Ene	1	Med	1.16	5.87	58.7	38.5	20.2
Ene	2	Med	1.16	5.89	58.9	41.9	17.0
Ene	3	Fin	1.15	5.78	63.6	34.9	28.7
Feb	1	Fin	1.07	5.33	53.3	24.8	28.5
Feb	2	Fin	0.98	4.83	48.3	18.0	30.2
Feb	3	Fin	0.90	4.38	35.1	19.3	15.8
Mar	1	Fin	0.82	3.95	39.5	23.1	16.3
Mar	2	Fin	0.76	3.62	10.9	7.3	0.0
					681.4	423.9	283.9

TABLA 19. Resultados estimados con el software CropWat-año 2016.

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Inic	0.15	0.73	4.4	7.4	0.0
Sep	3	Inic	0.15	0.74	7.4	11.1	0.0
Oct	1	Inic	0.15	0.74	7.4	9.8	0.0
Oct	2	Inic	0.15	0.75	7.5	9.4	0.0
Oct	3	Des	0.21	1.05	11.6	7.1	4.4
Nov	1	Des	0.43	2.21	22.1	1.6	20.5
Nov	2	Des	0.66	3.41	34.1	0.0	34.1
Nov	3	Des	0.89	4.56	45.6	6.3	39.3
Dic	1	Med	1.11	5.66	56.6	28.5	28.2
Dic	2	Med	1.17	5.97	59.7	41.4	18.2
Dic	3	Med	1.17	5.95	65.4	31.8	33.7
Ene	1	Med	1.17	5.93	59.3	15.3	44.0
Ene	2	Med	1.17	5.92	59.2	6.1	53.1
Ene	3	Fin	1.16	5.98	65.8	16.1	49.7
Feb	1	Fin	1.08	5.69	56.9	29.2	27.7
Feb	2	Fin	1.00	5.32	53.2	37.5	15.6
Feb	3	Fin	0.92	4.77	38.2	41.9	0.0
Mar	1	Fin	0.84	4.25	42.5	50.4	0.0
Mar	2	Fin	0.78	3.85	11.6	17.2	0.0
					708.3	368.2	368.5

TABLA 20. Resultados estimados con el software CropWat-año 2017.

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	2	Inic	0.15	0.70	4.2	4.1	0.8
Sep	3	Inic	0.15	0.72	7.2	11.2	0.0
Oct	1	Inic	0.15	0.74	7.4	17.9	0.0
Oct	2	Inic	0.15	0.76	7.6	23.1	0.0
Oct	3	Des	0.21	1.06	11.6	19.3	0.0
Nov	1	Des	0.43	2.23	22.3	13.2	9.0
Nov	2	Des	0.66	3.43	34.3	9.8	24.5
Nov	3	Des	0.89	4.72	47.2	11.5	35.7
Dic	1	Med	1.11	6.10	61.0	12.6	48.4
Dic	2	Med	1.17	6.64	66.4	13.2	53.2
Dic	3	Med	1.17	6.34	69.8	19.0	50.8
Ene	1	Med	1.17	6.01	60.1	25.8	34.3
Ene	2	Med	1.17	5.75	57.5	31.3	26.2
Ene	3	Fin	1.16	5.78	63.6	34.7	29.0
Feb	1	Fin	1.09	5.46	54.6	38.0	16.6
Feb	2	Fin	0.99	5.06	50.6	41.8	8.9
Feb	3	Fin	0.91	4.61	36.9	44.4	0.0
Mar	1	Fin	0.83	4.16	41.6	49.7	0.0
Mar	2	Fin	0.77	3.84	11.5	16.1	0.0
					715.3	436.7	337.3

Anexo N° 4

Formato de encuesta

Formato de encuesta para recopilar información en campo.

<i>Nombre y Apellidos</i>	
<i>Edad:</i>	<i>Sexo:</i>

Características de producción de la papa

1. Actividades que mayormente ha desarrollado entre el 2013 y 2017.
 - a. Agricultura
 - b. Vivienda
 - c. Turismo
 - d. Ganadería
2. Si contestó agricultura, por favor indique cuál es su principal cultivo.
 - a. Papa
 - b. Trigo
 - c. Maíz
 - d. Otros ¿Cuál?
3. Indique en que temporadas realiza la siembra:
 - a. Temporada de lluvias
 - b. Temporada de estiaje
4. Indique que tipo de eventos hidrometeorológicos afectan la producción de sus cultivos.
 - a. Sequías
 - b. Heladas
 - c. Inundaciones
 - d. Otros
5. ¿Aumento o disminuyo las prácticas agrícolas en los últimos años? ¿Por qué?

Características del manejo del agua

6. ¿Existe algún organismo que regule el uso del agua?
 - a. Si ¿Cuál?-----
 - b. No
7. ¿Qué tipo de agua utiliza para su cultivo?
 - a. Agua lluvia
 - b. Agua de ríos o riachuelos
 - c. Reservorios
8. Si contestó lluvia, por favor indique si tiene colectores de agua lluvia
 - a. Si ()
 - b. No ()
9. ¿Qué tipo de riego utiliza para el cultivo?
 - a. Por gravedad ()
 - b. Por aspersión ()
 - c. Por goteo ()
 - d. Otro; ¿Cuál?-----
10. ¿Cuenta con un mecanismo para el manejo del agua de riego?
 - a. Si () ¿Cuál?-----
 - b. No ()