



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

TESIS

**DETERMINACION DE LA HUELLA HIDRICA EN EL CULTIVO DE
ARANDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) MEDIANTE RIEGO
LOCALIZADO SUB-SUPERFICIAL CON SENSORES DE HUMEDAD,
EN EL DISTRITO CAICAY, PAUCARTAMBO, CUSCO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

AUTOR:

Br. JULIO MANUEL CONCHA VARGAS

ASESOR:

Dr. CARLOS JESÚS BACA GARCÍA

ORCID:

0000-0002-8284-0614

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Dr. Carlos Jesús Baca García
..... quien aplica el software de detección de similitud
al trabajo de investigación/tesis titulada:
DETERMINACION DE LA HUELLA HIDRICA EN EL CULTIVO DE ARANDANO (Vaccinium
corymbosum L.) MEDIANTE RIEGO LOCALIZADO SUB-SUPERFICIAL CON SENSORES DE
HUMEDAD, EN EL DISTRITO CAICAY, PAUCARTAMBO, CUSCO

Presentado por: Julio Manuel Concha Vargas DNI N° 43171645;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de MAESTRO EN CAMBIO CLIMÁTICO
Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por⁰² veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de⁰⁸.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 25 de enero de 2026.....



Firma

Post firma..... Dr. Carlos Jesús Baca García.....

Nro. de DNI...23952035.....

ORCID del Asesor...0000-0002-8284-0614.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid: 27259:549178239**

JULIO MANUEL CONCHA VARGAS

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL CULTIVO DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) MEDIANTE RIEGO L...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:549178239

118 páginas

Fecha de entrega

25 ene 2026, 7:07 a.m. GMT-5

19.366 palabras

Fecha de descarga

25 ene 2026, 7:21 a.m. GMT-5

110.017 caracteres

Nombre del archivo

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL CULTIVO DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosu*....pdf

Tamaño del archivo

10.0 MB

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 22 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
116 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dra. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Directora (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **DETERMINACION DE LA HUELLA HIDRICA EN EL CULTIVO DE ARANDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) MEDIANTE RIEGO LOCALIZADO SUB-SUPERFICIAL CON SENSORES DE HUMEDAD, EN EL DISTRITO CAICAY, PAUCARTAMBO, CUSCO** de la Br. Br. **JULIO MANUEL CONCHA VARGAS**. Hacemos de su conocimiento que el (la) sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **DIEZ DE JULIO DE 2025**.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de **MAESTRO EN CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE**.

Cusco, 15 - 01 - 2026

Dr. WILFREDO CATALÁN BAZÁN
Primer Replicante

Mg. CARLOS ALBERTO FARFÁN QUINTANA
Segundo Replicante

Mg. NILTON MARIANO MONTOYA JARA
Primer Dictaminante

Mg. LUIS JUSTINO LIZARRAGA VALENCIA
Segundo Dictaminante

ÍNDICE.

	Página.
ÍNDICE.....	1
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	9
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.2.1. Problema General.....	10
1.2.2. Problemas específicos.....	10
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.4.1. Objetivo General.....	12
1.4.2. Objetivos específicos.....	12
II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	13
2.1. BASES TEÓRICAS.....	13
2.2. MARCO CONCEPTUAL	14
2.2.1. El cultivo de arándano.....	14
2.2.2. Masificación del cultivo de arándano en la Región Cusco.....	23
2.2.3. Sistemas de riego por goteo.....	23
2.2.4. Definiciones técnicas de riego.....	29
2.2.5. Sensores de humedad.....	31
2.2.6. Conceptos básicos sobre diseños experimentales.....	33
2.2.7. Huella hídrica.....	35
2.2.8. Precipitación efectiva.....	39
2.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
2.3.1. Locales.....	39
2.3.2. Nacionales.....	40
2.3.3. Internacionales.....	41
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	42
3.1. HIPÓTESIS.....	42
3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	42
3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	42
3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.....	42
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	44
IV. METODOLOGÍA.....	45
4.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	45
4.1.1. Ubicación política.....	45
4.1.2. Ubicación geográfica.....	45

4.1.3.	Ubicación temporal:	46
4.1.4.	Ubicación hidrográfica.	46
4.1.5.	Material genético.....	47
4.1.6.	Material de campo.	47
4.2.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.	48
4.2.1.	Tipo de investigación	48
4.2.2.	Alcance de la investigación	48
4.2.3.	Nivel de investigación	48
4.3.	UNIDAD DE ANÁLISIS	49
4.4.	POBLACIÓN DE ESTUDIO	50
4.5.	TAMAÑO DE MUESTRA.	50
4.6.	LOS TRATAMIENTOS.....	51
4.6.1.	Relación entre los tratamientos y agua aplicada.	51
4.7.	CONDUCCIÓN DE EXPERIMENTO.....	52
4.7.1.	Medición de la humedad con sensor FDR.	52
4.7.2.	Procedimiento de medición de la humedad con sensor FDR.	53
4.7.3.	Balance hídrico.	54
4.7.4.	Diseño agronómico.....	59
4.7.5.	Diseño hidráulico.	63
4.7.6.	Instalación del sistema de riego y componentes.	65
4.8.	DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA.	69
4.8.1.	Huella Hídrica Azul (H azul)	69
4.8.2.	Huella Hídrica Verde (H verde).	69
4.8.3.	Huella Hídrica Gris (H gris).....	69
4.9.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	70
4.9.1.	Datos de precipitación.	70
4.9.2.	Recolección de datos de producción de arándano.....	72
4.9.3.	Volumen de agua aplicada.	75
4.9.4.	Fertilizante nitrogenado aplicado.	75
4.10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	75
4.10.1.	Paquete estadístico.	76
4.10.2.	Ejecución del programa estadístico.	76
4.10.3.	Confiableidad de los instrumentos.	78
4.11.	TÉCNICAS PARA DEMOSTRAR DE LA VERACIDAD O FALSEDADE DE LA HIPÓTESIS DE LA HIPÓTESIS PLANTEADA.....	81
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	82
5.1.	PROCESAMIENTO, ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	82
5.1.1.	PROCESAMIENTO, DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO.....	82
5.1.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
5.1.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	88
5.2.	PRUEBAS DE HIPÓTESIS.....	89
5.3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	90
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
VII.	ANEXOS	100

Lista de cuadros.

Cuadro 1: Coeficiente de cultivo Kc referencial de arándano.	21
Cuadro 2: Operacionalización de variables.	44
Cuadro 3: Dotación de agua por planta y por tiempo de riego.	52
Cuadro 4: Medidas de humedad con sensor FDR.	53
Cuadro 5: Resultados de evapotranspiración de referencia (ET _o).	55
Cuadro 6: Precipitación efectiva según Cropwat.	55
Cuadro 7: Evapotranspiración del cultivo ET _c según Cropwat.	57
Cuadro 8: Balance hídrico del sistema de riego (l/día).	59
Cuadro 9: Parámetros de sustrato del cultivo.	59
Cuadro 10: Resultados de cálculos de parámetros del sustrato.	61
Cuadro 11: Parámetros de diseño para el sistema de riego.	62
Cuadro 12: Parámetros de operación del sistema de riego.	62
Cuadro 13: Datos de evaluación de los emisores del sistema de riego a 1.2 bar.	63
Cuadro 14: Caídas de presión por fricción del sistema de riego.	64
Cuadro 15: Parámetros de funcionamiento del emisor utilizado.	65
Cuadro 16: Agua aplicada para los tratamientos A, B y C.	75
Cuadro 17: Agua aplicada para los tratamientos (m ³ /ha/año)	75
Cuadro 18: Prueba del pluviómetro.	79
Cuadro 19: Cálculo de precipitación.	79
Cuadro 20: Datos de verificación del caudalímetro.	80

Lista de tablas.

Tabla 1: Calificación del CU para riego localizado.	27
Tabla 2: Permeabilidad dieléctrica (ϵ) en muestra de suelos.	33

Lista de figuras.

Figura 1: Funcionamiento del sensor FDR.	32
Figura 2: Provincia de Paucartambo, Distritos.....	45
Figura 3: Distrito de Caicay.	46
Figura 4: Vista del Campo experimental.	46
Figura 5: Unidad experimental.	49
Figura 6: Campo experimental.	50
Figura 7: Tratamientos.....	51
Figura 8: Selección de la estación MAP K'ayra.	54
Figura 9: Distribución de los tratamientos.	65
Figura 10: Recolección de datos de precipitación.	71
Figura 11: Recuperación de datos de precipitación en Excel.	71
Figura 12: Previsualización de los datos de precipitación en Excel.....	71
Figura 13: Apertura de datos en Excel.....	72
Figura 14: Captura de imagen del entorno Script del RStudio.	76

Lista de fotografías.

Fotografía 1: Medición de la humedad volumétrica.	53
Fotografía 2: Determinación del coeficiente de uniformidad (CU).....	63
Fotografía 3: Vista general de la instalación del cultivo de arándano.	66
Fotografía 4: Tanque de agua de 1100 litros.	66
Fotografía 5: Sistema de filtrado.	67
Fotografía 6. Caudalímetros y electroválvulas.....	67
Fotografía 7: Programador de riego.	68
Fotografía 8: Pluviómetro.	68
Fotografía 9: Vista de la instalación del campo experimental.	73
Fotografía 10: Pesado de primera cosecha.	73
Fotografía 11: Imágenes comparativas de la producción de arándano.	74
Fotografía 12: Medición del diámetro del pluviómetro.	79
Fotografía 13: Prueba de caudalímetros.....	80

RESUMEN

El objetivo general del trabajo de investigación fue determinar la huella hídrica para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo las condiciones climatológicas a campo abierto del valle sagrado de los incas, distrito de Caicay, provincia de Paucartambo, departamento Cusco, llevándose a cabo de agosto del 2023 a julio del 2024, dado que la huella hídrica es la totalización de la Huella hídrica azul, huella hídrica verde y la huella hídrica gris, para la determinación de la huella hídrica azul la tecnología de irrigación aplicada consistió en riego localizado por goteo bajo tres niveles de riego diferentes, denominados A, B y C, siendo A el 90% de B y B el 90% de C, es decir, $A < B < C$ bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar, el agua aplicada se midió con caudalímetros resultando $A=3871.4 \text{ m}^3/\text{ha}$; $B=4230.4 \text{ m}^3/\text{ha}$ y $C=4577.9 \text{ m}^3/\text{ha}$ la medición de la humedad se realizó con sensores FDR, el software utilizado para el procesamiento estadístico fue el RStudio, para la determinación de la huella hídrica verde, se midió la precipitación mediante pluviómetro, y finalmente la estimación de la huella hídrica gris se hizo en base a la medición de la fertilización nitrogenada aplicada. La huella hídrica total resultó $3032.8 \text{ m}^3/\text{tn}$, de lo cual la huella hídrica azul resultó $2821.2 \text{ m}^3/\text{tn}$, la huella hídrica verde resultó $0.08 \text{ m}^3/\text{tn}$, la huella hídrica gris resultó $211.5 \text{ m}^3/\text{tn}$ para un rendimiento del cultivo de arándano que resultó $1.35 \text{ tn}/\text{ha}$.

Palabras clave: Huella hídrica, Cultivo de arándano, Valle sagrado de los Incas, Huella hídrica Azul, Huella hídrica Verde, Huella hídrica Gris.

ABSTRACT

This study quantified the total water footprint of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivated under open-field conditions in the Sacred Valley of the Incas (Caicay district, Paucartambo province, Cusco, Peru) between August 2023 and July 2024. The total water footprint which is defined as the sum of Blue, Green and Grey components. For the Blue water footprint, it was evaluated under drip irrigation at three irrigation levels (A, B, C) arranged in a Randomized Complete Block Design, where $A = 0.90 \cdot B$ and $B = 0.90 \cdot C$ ($A < B < C$). Applied irrigation volumes measured by flowmeters were: $A = 3,871.4 \text{ m}^3/\text{ha}$, $B = 4,230.4 \text{ m}^3/\text{ha}$ and $C = 4,577.9 \text{ m}^3/\text{ha}$. Soil moisture was monitored using FDR sensors, and statistical analyses were conducted in RStudio. Green water footprint was determined from on-site rainfall recorded by a rain gauge. The Grey water footprint was estimated from measured nitrogen fertilizer applications. The total water footprint was $3032.8 \text{ m}^3/\text{tn}$, of which the blue water footprint was $2821.2 \text{ m}^3/\text{tn}$, the green water footprint was $0.08 \text{ m}^3/\text{tn}$, the grey water footprint was $211.5 \text{ m}^3/\text{tn}$ for a blueberry crop yield of $1.35 \text{ tn}/\text{ha}$. These results provide a baseline for irrigation management and water-use efficiency assessments in Andean blueberry production systems.

Keywords: Water footprint; Highbush blueberry; Sacred Valley of the Incas; Blue water footprint; Green water footprint; grey water footprint.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) ha experimentado en los últimos años un notable crecimiento a nivel mundial y nacional, debido a su alto valor comercial, sus propiedades nutraceuticas y su creciente demanda en los mercados de exportación. En el Perú, este cultivo se ha consolidado principalmente en la costa; sin embargo, en regiones altoandinas como Cusco se viene evaluando su adaptación productiva bajo nuevas condiciones agroclimáticas, constituyéndose en una alternativa promisorio para la diversificación agrícola y el desarrollo económico local.

No obstante, el establecimiento del cultivo de arándano en nuevas zonas productivas enfrenta diversas limitaciones, siendo una de las más relevantes la gestión eficiente del recurso hídrico. El agua constituye un insumo crítico en la agricultura, especialmente en un contexto de creciente variabilidad climática y presión sobre los recursos hídricos, por lo que resulta indispensable evaluar no solo la cantidad de agua aplicada, sino también su eficiencia en términos de productividad agrícola.

En este contexto, la huella hídrica se presenta como una herramienta integral que permite cuantificar el volumen total de agua utilizado directa e indirectamente en la producción de un cultivo, considerando sus componentes de huella hídrica azul, verde y gris. La huella hídrica azul está directamente asociada al volumen de agua de riego aplicado, la huella hídrica verde corresponde al aprovechamiento del agua de precipitación, mientras que la huella hídrica gris representa el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes generados hasta niveles aceptables.

La determinación de la huella hídrica azul se basa principalmente en la relación entre la cantidad de agua aplicada al cultivo y el rendimiento obtenido por unidad de superficie. El motivo por el que se experimenta con diferentes dotaciones de agua en tres tratamientos es debido a que para la estimación de la huella hídrica el componente más importante y determinante es la huella hídrica azul, por lo que se requiere de la medición de tres diferentes niveles de dotación de agua, lo cual permitirá en conjunto con el rendimiento del cultivo, calcular la huella hídrica azul correspondiente que es parte fundamental de la estimación de la huella hídrica total.

En este sentido, la presente investigación se orienta a determinar la huella hídrica total del cultivo de arándano bajo tres niveles de aplicación de riego, generando información técnica local que contribuya a una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico en el distrito de Caicay, provincia de Paucartambo, región Cusco, de modo que este trabajo será pionero, es decir, que no hay un trabajo similar que se haya realizado en la Región del Cusco en el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

En un escenario de escasez de agua que se vive en la actualidad, incrementar la eficiencia del uso del agua será crucial, y desde el punto de vista de la agricultura se puede hacer mucho más aún, ya que según indica (Funcagua - Guatemala, 2024) del total del agua dulce utilizada en el globo terrestre, aproximadamente el 69% se usa en la actividad agropecuaria, seguidamente el 19% en la industria y el 12% en uso municipal, este porcentaje de agua usada en la agricultura no se hace de manera suficientemente eficiente lo que significa que cualquier mejora que se logre en el sector agrícola en cuanto a la eficiencia del uso del agua, tendrá un efecto mayor proporcional a nivel total. La huella hídrica permite conocer la cantidad de agua utilizada para producir una unidad de medida de producto agrícola expresada en kilogramos, toneladas etc. De esta manera mejorar la huella hídrica como un indicador de eficiencia del uso del agua, permite ahorrar el uso del agua en la agricultura, constituyéndose así la determinación de la huella hídrica como una medida de adaptación ante el cambio climático. Debido a que no se cuenta con antecedentes previos de estudios en requerimiento hídrico para arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) en el Valle Sagrado de los Incas, se experimenta con tres niveles de aplicación de riego denominados tratamientos A, B y C, para así comparar la producción de cada tratamiento estadísticamente, seguidamente se determina la huella hídrica. No obstante, para la determinación de la huella hídrica también se requiere estimar la huella hídrica verde y la huella hídrica gris que también se realiza en el presente trabajo de investigación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General.

¿Cuál es la huella hídrica del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) mediante un sistema de riego localizado por goteo usando sensores de humedad de suelo para la medición de la humedad?

1.2.2. Problemas específicos.

1. ¿Cuál es la huella hídrica azul para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo?
2. ¿Cuál es la huella hídrica verde y gris para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo?
3. ¿Cuál es el rendimiento del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo experimentado?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación se realiza porque se desea conocer la huella hídrica del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) para un sistema de riego localizado usando sensores de humedad de suelo, de modo que este parámetro una vez medido permita calcular la dotación de agua en m³/ha o en su defecto litros/planta, debido a la relación lineal entre el porcentaje de humedad volumétrica del sensor y los mm de agua por cada 10 centímetros. Será entonces este trabajo de determinación de huella hídrica un punto de referencia para posteriores trabajos similares en el Valle Sagrado de los Incas.

Las justificaciones específicas son:

- 1.3.1. Se desea determinar la huella hídrica azul para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo, porque su valor permite determinar la huella hídrica total.
- 1.3.2. Se desea determinar la huella hídrica verde y gris para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo, porque ello permite seguidamente determinar la huella hídrica total.
- 1.3.3. Se busca determinar el rendimiento del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo experimentado.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Determinar la huella hídrica del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) basado en un sistema de riego localizado por goteo usando sensores de humedad de suelo.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar la huella hídrica azul para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo.
2. Determinar la huella hídrica verde y gris para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo.
3. Determinar el rendimiento del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo experimentado.

II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. BASES TEÓRICAS.

Lo que se desea hacer en el presente trabajo de investigación es regar con tres niveles diferentes de dotación de agua, constituyendo estos tres niveles de riego los tratamientos denominados A, B y C, tales niveles de riego se relacionan uno del otro en 90% (aproximadamente) del valor inferior hacia el superior, para la determinación de los parámetros de diseño se acudirá a los valores sugeridos por la (FAO, 2006) y otras fuentes relacionadas con el presente tema de investigación. La huella hídrica azul se determina para cada uno de los tratamientos, para la medición de la humedad del suelo se usará sensores del tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry) que son sensores capacitivos que permiten medir la humedad volumétrica del suelo (Campbell, Decagon Brasil, 2014). Por otra parte, el uso de un medidor de pluviometría permitirá determinar la precipitación con lo cual se podrá estimar la huella hídrica verde. La cantidad de fertilizantes nitrogenados aplicados permiten estimar la huella hídrica gris, y así finalmente se determina la huella hídrica total que es la suma de la huella hídrica azul, la huella hídrica verde y la huella hídrica gris.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. El cultivo de arándano.

2.1.1.1. Taxonomía

El arándano en la variedad Biloxi, tiene la siguiente clasificación taxonómica Cronquist (1981):

Reino: Plantae (Vegetal)
División: Pterophytas
Subdivisión: Angiosperma
Clase: Dicotiledónea
Subclase: Dilleniidae
Orden: Ericales
Familia: Ericaceae
Subfamilia: Vaccinioidea
Género: Vaccinium
Especie: Vaccinium corymbosum x Vaccinium darrowii

2.1.1.2. Variedad de arándano Biloxi.

Esta variedad necesita al menos 400 horas de frío (chill hours) para su desarrollo óptimo. Se caracteriza por tener una producción temprana, madurando justo después de variedades como O'Neal y Star. Sin embargo, la variedad Biloxi florece muy temprano, lo que la hace vulnerable a las heladas, pudiendo afectar negativamente la calidad del fruto. Sus frutos son de tamaño mediano, de color azul, con una textura firme y un sabor excelente. La planta tiene un crecimiento erecto, es muy vigorosa y altamente productiva (Morales A., 2017).

2.1.1.3. Requerimientos de suelo y clima.

El arándano es un arbusto perenne de hojas caducas en su estado natural. Prefiere suelos ligeros, bien drenados, profundos y ricos en

materia orgánica. Su sistema radicular está compuesto principalmente por raíces finas y fibrosas, carentes de pelos absorbentes, lo que limita su capacidad de absorción de nutrientes y agua. Esta característica lo hace muy sensible tanto al déficit como al exceso de humedad en el suelo. Para mejorar las condiciones del suelo, se pueden construir camellones de más de 40 cm de altura y 1 m de ancho, enriquecidos con enmiendas orgánicas como humus, compost, guano, bokashi u otros bio-preparados.

La salinidad del suelo es un factor crítico en el cultivo de arándanos, y el pH ideal para su desarrollo oscila entre 4,4 y 5,5, aunque se han observado buenos resultados en suelos con pH de 5,6 a 6,0. Antes de establecer el cultivo, es esencial realizar un análisis completo del suelo que incluya macronutrientes, micronutrientes, salinidad, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y pH. Si el pH es demasiado alto, se puede acidificar el suelo con azufre agrícola, preferiblemente aplicado un año antes de la plantación e incorporado superficialmente. Además, el pH ácido puede mantenerse acidificando el agua de riego con ácido sulfúrico o fosfórico, o mediante el uso de fertilizantes de reacción ácida. En cuanto a los requerimientos de temperatura, el arándano tolera bien las heladas, con un valor crítico de $-0,6^{\circ}\text{C}$ antes de que se produzcan daños. Sin embargo, durante la floración es sensible a las bajas temperaturas. El cultivo requiere entre 400 y 1,200 horas de frío (con un umbral de 7°C) para una correcta elección de la variedad. La temperatura óptima para el crecimiento de las raíces oscila entre 18°C y 22°C , mientras que, para brotes, hojas y frutos, el rango ideal es de 20°C a 26°C (Morales A., 2017).

2.1.1.4. Uso de sustratos.

Según (Villegas L., 2021) la agricultura se enfrenta hoy a múltiples retos: las sequías cada vez más frecuentes, el incremento de temperaturas extremas y la contaminación derivada del uso de productos químicos. Al mismo tiempo, el crecimiento de la población ha impulsado una mayor conciencia sobre la importancia de consumir alimentos de alta calidad para proteger la salud humana. El tipo de sustrato condiciona sus propiedades físicas y químicas, como la capacidad de retención hídrica y el porcentaje de aireación, las cuales, en conjunto, potencian procesos metabólicos esenciales y modulan la susceptibilidad del cultivo a la incidencia de patógenos. Un sustrato eficiente debe integrar dos aspectos fundamentales: Primeramente, propiedades físico-químico-biológicas que garanticen un desarrollo radicular óptimo en espacios limitados, como los contenedores y en segundo lugar requisitos operativos adaptados al sistema de producción específico en el que se emplea, para asegurar su viabilidad práctica y rendimiento, aunque se reconoce que un sustrato de cultivo cuenta con una estructura física idónea para mantener un balance adecuado entre aire y agua a lo largo de todo el ciclo vegetativo, así como un entorno químico y biológico favorable para el sistema radicular, se ha comprobado que su comportamiento varía cuando se emplea de manera aislada frente a su combinación con otros materiales incluyendo suelos o sustratos convencionales como la turba y la fibra de coco. La fibra de coco, residuo de la industria del coco (*Cocos nucifera* L.), está compuesta por polvo y fibras cortas obtenidas del mesocarpio del fruto. Al igual que la turba, ofrece una excelente aireación al sistema radicular y una notable

capacidad de retención y reutilización del agua. Este subproducto se ha consolidado como sustituto de la turba en diversos sistemas de producción hortícola, florícola y frutícola. Por otra parte, la cascarilla de arroz, un residuo agrícola muy abundante cuyo abandono puede generar lixiviados en aguas subterráneas, ha demostrado ser una enmienda valiosa cuando se emplea como sustrato. Su incorporación mejora las propiedades físicas de suelos arcillosos al aumentar la porosidad total, la conductividad hidráulica y la densidad aparente, además de disminuir la resistencia a la penetración. Químicamente, presenta elevados contenidos de carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo disponible y bases intercambiables, con predominio de calcio y magnesio. Diversos estudios han evidenciado que la incorporación de sustratos o enmiendas orgánicas mejora las propiedades físicas del suelo, su fertilidad y la actividad microbiana, lo cual repercute positivamente en la productividad de los cultivos a largo plazo. En particular, la aplicación de cascarilla de arroz ha demostrado aumentar los rendimientos de cultivos, reduciendo la incidencia de Fusarium y la eficiencia en el uso del agua.

2.1.1.5. Establecimiento del cultivo.

El establecimiento del cultivo de arándano según indica (Morales A., 2017) tiene un alto costo inicial debido a que requiere de adecuada preparación de suelo o sustrato, instalación de riego, un suelo liviano y mulch; además está el costo de la planta, que debe ser libre de enfermedades, obtenida de viveros que brinden las garantías necesarias. Una buena planta es la que cuenta con un sistema radicular con buen desarrollo, blancas y con

no más de dos años en vivero. Cuando el cultivo es en suelo directo, se recomienda confeccionar camellones, acondicionar su textura y estructura. La orientación de las hileras debe alinearse preferiblemente en la dirección del viento para favorecer una ventilación adecuada del cultivo. La distancia recomendada entre hileras es de 3 metros, y la longitud de cada hilera no debe superar los 100 metros. Se debe proceder con la instalación del riego previo al establecimiento de las plantas; con caudal de 1,6 o 2,2 L/h. La época de instalación puede ser en otoño o inicios de primavera, en caso de instalar en primavera se requiere regar abundantemente antes de plantar, el gotero deberá quedar a 5 cm de distancia de la planta, apisonar alrededor de la planta suavemente, para eliminar el exceso de aire, evitando la compactación.

2.1.1.6. El riego de arándanos.

Se puede hacer uso del riego por goteo, micro aspersión y aspersión, existen estudios en otras variedades en donde se han comparado rendimientos y calidad del fruto con estos tres métodos de riego y los resultados arrojan que el riego por goteo es el mejor en aspectos de producción y peso de fruto. En Chile que es el país pionero en arándanos en Sudamérica, los agricultores han optado por el riego por goteo. La distribución de la humedad en el suelo es un factor determinante, por ello se recomienda doble línea de emisores. Si existe riesgo de heladas es necesario contar con un sistema de riego adicional por aspersión (Morales A., 2017).

2.1.1.7. El manejo de la poda en arándanos.

La poda es una práctica que consiste en recortar los arbustos con el objetivo de equilibrar el desarrollo radicular y el crecimiento vegetativo. Durante los primeros tres años se limita el desarrollo de la fruta para favorecer la formación de tallos rectos y resistentes. Posteriormente, este manejo mejora la calidad del fruto al controlar la “carga” de la planta. Además, la intensidad de la poda puede variar entre ligera, moderada o severa según las necesidades del cultivo. Se reconocen cinco modalidades principales de poda en arbustos frutales:

- Poda de invierno o de descanso vegetativo, que se realiza en la estación fría para eliminar madera muerta y estimular el brote de nuevas ramas.
- Poda de establecimiento o de plantación, aplicada durante los primeros años para moldear la estructura base de la planta y favorecer el desarrollo de tallos vigorosos.
- Poda de producción o de fructificación, destinada a regular la carga frutal y garantizar una buena ventilación e iluminación del interior del dosel.
- Poda de rejuvenecimiento, que consiste en retirar la madera envejecida para renovar la capacidad productiva de la planta.
- Poda en verde, efectuada en la temporada de crecimiento activo, para descartar chupones y brotes no fértiles, dirigiendo así los recursos hacia las ramas fructíferas.

Durante los primeros meses de crecimiento no se debe permitir la floración; en su lugar, hay que eliminar las yemas florales mediante la poda. En el caso del arándano, estas yemas se localizan aproximadamente 5 cm por encima de los brotes del año anterior, por lo que la poda de dichas ramas elimina

efectivamente el potencial de floración prematuro. Este manejo enfocado en la poda inicial estimula el crecimiento vegetativo y permite seleccionar las ramas que configurarán la estructura definitiva de la planta. Al alcanzar los 4–5 años de edad, la pauta de poda cambia: es necesario equilibrar la proporción entre madera vieja, que tiende a volverse improductiva, y madera joven, que aún no ha alcanzado su máxima capacidad de fructificación. Para ello, cada año se renuevan de 1 a 2 ramas de edad avanzada. Asimismo, se practica una poda de aclarado para abrir bien el dosel, favoreciendo la penetración de luz y aire en el interior de la planta (Rodríguez Marquina, 2021)

2.1.1.8. La cosecha.

La cosecha de los frutos se realiza cuidando tanto su calidad como su higiene, evitando golpes, magulladuras o contaminación. Este proceso debe ser selectivo, basándose en el tamaño y grado de madurez de cada baya; el color es el principal indicador, dado que la maduración no ocurre de forma uniforme. Por esta razón, cada planta puede requerir hasta ocho pasadas de recolección. Cuando el fruto alcanza su punto óptimo, desarrolla una capa cerosa o “pruina” que no debe eliminarse, por lo que la manipulación ha de ser extremadamente delicada. En esta etapa se requiere un mayor número de recolectores: en plantaciones maduras se suele emplear entre 10 y 12 personas por hectárea, aunque esta cifra puede variar según la variedad de arándano (Rodríguez Marquina, 2021).

2.1.1.9. Evapotranspiración del cultivo ETc.

La (ETc) se calcula de la siguiente manera:

$$ETc = ET0 \times Kc$$

Donde:

Kc: Coeficiente de cultivo que es determinado por el desarrollo fenológico de la planta (Morales A., 2017).

Cuadro 1: Coeficiente de cultivo Kc referencial de arándano.

Mes	Kc
Agosto	0,7
Septiembre	0,7
Octubre	0,8
Noviembre	0,9
Diciembre	1,0
Enero	1,0
Febrero	1,0
Marzo	0,9
Abril	0,8

Fuente: Morales A.,2017.

2.1.2.10 Huella hídrica y la edad del cultivo.

La huella hídrica constituye un indicador integral que permite cuantificar el volumen total de agua utilizada en la producción agrícola, considerando sus componentes de huella hídrica azul, verde y gris, expresados generalmente en metros cúbicos por unidad de producción (m³/t). En el caso de cultivos perennes como el arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), la determinación de la huella hídrica está estrechamente relacionada con la edad del cultivo, debido a la evolución progresiva del rendimiento a lo largo de su ciclo productivo.

Diversos estudios han demostrado que, durante los primeros años posteriores a la plantación, los rendimientos del cultivo de arándano son relativamente bajos, mientras que las necesidades hídricas particularmente asociadas al establecimiento vegetativo pueden ser comparables a las de plantas en etapas

más avanzadas. Esta relación provoca que los valores de huella hídrica total sean considerablemente elevados en las primeras etapas productivas, disminuyendo progresivamente a medida que el cultivo alcanza su madurez fisiológica y productiva.

En este sentido, el estudio desarrollado por (Pannunzio, y otros, 2023) sobre la huella hídrica agrícola del arándano tipo *Southern Highbush* evaluó un huerto comercial durante un período de nueve años consecutivos, evidenciando que la huella hídrica presenta una alta variabilidad interanual, particularmente en los primeros años de producción. Los autores concluyen que la huella hídrica tiende a estabilizarse cuando el cultivo alcanza una etapa de producción plena, generalmente a partir del **tercer o cuarto año después de la plantación**, momento en el cual los rendimientos se incrementan significativamente y permiten obtener valores más representativos y comparables del uso del agua por unidad de producción.

Desde el punto de vista metodológico, (Mekonnen & Hoekstra, 2010) en Water Footprint Network establece que la huella hídrica debe calcularse sobre la base de un período productivo definido, siempre que se disponga de datos confiables tanto del volumen de agua consumido como del rendimiento agrícola obtenido. En cultivos perennes, se recomienda realizar los cálculos durante los años en los que el cultivo ha superado la fase de establecimiento y presenta rendimientos comerciales estables, con el fin de evitar sesgos asociados a etapas no representativas del sistema productivo.

Por lo tanto, en el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), resulta técnicamente recomendable realizar estudios de huella hídrica total **a partir del primer año de producción comercial**, siendo más robustos y representativos

aquellos realizados **desde el tercer año en adelante**, cuando el cultivo alcanza una mayor estabilidad productiva. Esta consideración metodológica permite una evaluación más precisa de la eficiencia del uso del agua y facilita la comparación de resultados entre diferentes sistemas de manejo, condiciones agroclimáticas y niveles de dotación hídrica.

2.2.2. Masificación del cultivo de arándano en la Región Cusco.

Como antecedente de cultivo de arándanos en la sierra del Perú según (Arándanos peru, 2022) se tiene la experiencia de instalación de 1000 hectáreas para el año 2024, proyecto privado a cargo del Grupo Athos tratándose del cultivo de arándanos en túnel a 2300 msnm específicamente localizado en la Región Ancash, Provincia Huaylas, Distrito Caraz, sectores Pomabamba, Santa Catalina y San Lauro, incluida Cashapampa a 2900 msnm generando empleo a 400 personas.

En la Región de Cusco, los sectores que características similares son en especial el Valle Sagrado de los Incas entre 3030 a 2500 msnm, por lo que es suficientemente factible la masificación del cultivo en esta parte del país.

2.2.3. Sistemas de riego por goteo

El riego por goteo es un método de irrigación que distribuye agua filtrada directamente sobre el suelo cerca de las raíces de las plantas, lo que ayuda a prevenir la erosión causada por el agua y permite que el agua liberada esté a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada. El agua de riego es transportada a través de una extensa red

de cañerías o tuberías plásticas hacia cada planta; el componente que emite el agua fuera de la red hidráulica se denomina emisor o gotero. Los emisores disipan la presión que existe en la red de tuberías por medio de un orificio pequeño por medio de un largo laberinto; de esta forma disminuye la presión del agua y permite descargar desde el sistema hacia el suelo solamente unos pocos litros por hora por cada emisor, después de dejar el emisor, el agua es distribuida en el interior del perfil del suelo, de esta manera el volumen del suelo puede ser humedecido (Gurovich, 1999).

2.2.3.1 Beneficios del riego por goteo.

El riego por goteo proporciona ventajas en términos de eficiencia en el uso del agua, la respuesta de las plantas, la gestión del cultivo y los rendimientos agronómicos. Sin embargo, estos beneficios no son exclusivos de este sistema de riego, ya que otros sistemas de riego como el sistema de riego por microaspersión entre otros pueden producir beneficios similares; sin embargo, la combinación de ventajas analizadas a continuación es únicas para el riego por goteo. (Gurovich, 1999)

a) Enfermedades y plagas

Al minimizar el área de humedecimiento de la superficie del suelo el riego por goteo reduce la posibilidad de ataque de plagas (las malezas no se diseminan tanto) y disminuye el desarrollo de enfermedades y problemas de hongos, además reduce el volumen de pulverizaciones para el control de enfermedades (Gurovich, 1999).

b) La respuesta de las plantas

La respuesta en términos de desarrollo y rendimiento de los cultivos regados por goteo suele ser más alta que la obtenida con otros métodos de riego. Esto ha sido comprobado en numerosas instalaciones comerciales agrícolas y en múltiples experimentos, especialmente en cultivos de hortalizas y huertos frutales (Gurovich, 1999).

2.2.3.2. Problemas potenciales del riego por goteo.

Está sujeto a tres problemas potenciales importantes; la oclusión de los emisores por temas de filtrado, los problemas de salinidad que forma corteza exterior alrededor de las plantas y la no uniforme distribución de la humedad en el suelo al ser muy localizado (Gurovich, 1999).

a) Sensibilidad a la oclusión de los goteros

El bloqueo en los emisores, que impide el paso del agua, es uno de los problemas más graves que deben tenerse en cuenta en el riego por goteo. Las principales causas son las partículas de arena y los elementos orgánicos. El filtrado adecuado del agua de riego es la mejor medida para prevenir estos inconvenientes. La obstrucción gradual de los goteros puede ser ocasionada por la acumulación de precipitados de productos químicos o arcilla, así como por un aumento de limo en los emisores, lo que puede causar una distribución irregular del agua a lo largo de las líneas de riego. Esto podría perjudicar seriamente el cultivo si los emisores permanecen obstruidos durante un tiempo prolongado antes de ser detectados y reparados (Gurovich, 1999).

b) Condiciones de salinidad del suelo.

El agua de riego contiene diversas sales disueltas, y dado que las plantas absorben únicamente el agua, gran parte de las sales se quedan en el suelo. De manera similar, durante el proceso de evaporación, las sales tienden a concentrarse en los bordes de la zona de suelo húmedo durante la estación de crecimiento. Mediante una aplicación adicional de agua, superior a la que requieren las plantas, la mayor parte de las sales puede ser desplazada fuera de la zona radicular. Las áreas más críticas para la acumulación de sales son aquellas cercanas al borde del bulbo de humedad superficial. Si ocurre una lluvia suave, estas sales acumuladas pueden ser arrastradas hacia la zona de mayor actividad radicular, lo que podría causar un daño significativo a las plantas. Para minimizar este riesgo, en regiones donde la precipitación anual es inferior a 250 mm, será necesario realizar aplicaciones suplementarias de agua mediante sistemas de aspersión o inundación, con el fin de reducir los niveles críticos de salinidad. Este aspecto es especialmente relevante cuando se utiliza agua de riego salina (Gurovich, 1999).

c) Distribución de la humedad en el suelo.

El riego por goteo solo humedece una porción del volumen de suelo requerido para el desarrollo de las raíces, por lo que el crecimiento del sistema radicular de un cultivo queda limitado a ese volumen de suelo mojado alrededor de cada emisor. Aunque los cultivos pueden crecer en un perfil de suelo parcialmente humedecido, es necesario que haya un volumen mínimo de suelo disponible para un desarrollo adecuado. El tamaño de este volumen de

humedad depende de la tasa de descarga de los emisores, la distancia entre ellos y el tipo de suelo. La distribución del agua es una de las principales consideraciones al diseñar un sistema de riego por goteo, ya que realizar ajustes después de la instalación resulta complicado (Gurovich, 1999).

2.2.3.2 El Coeficiente de uniformidad para riego localizado (CU).

Se refiere al grado de consistencia en la cantidad de agua que se distribuye a cada emisor en la parcela de riego. Si la uniformidad es deficiente, existe el riesgo de que algunas áreas del cultivo experimenten déficit de agua, mientras que otras puedan sufrir percolación profunda (Bohorquez & Ruiz, 2011).

El coeficiente de uniformidad se calcula dividiendo el promedio de los caudales correspondientes al 25% más bajo de los emisores entre el promedio total de todos los caudales emitidos (Merriam & Keller, 1978).

$$CU_{25} = \frac{q_{25}}{q_{total}} \times 100\% \quad (\text{Merriam \& Keller, 1978})$$

q_{total} : Promedio del caudal total.

q_{25} : Promedio del caudal de la cuarta parte más baja.

El resultado obtenido se convierte a porcentaje y se aplica la siguiente.

Tabla 1: Calificación del CU para riego localizado.

CUC	Clasificación
>95%	Excelente
85%-95%	Bueno
80%-85%	Aceptable
70%-80%	Pobre
<70%	Inaceptable

Fuente: (Merriam & Keller, 1978):

2.2.3.3 Sistemas de riego por goteo sub-superficial

El riego por goteo sub superficial conocido también como riego subterráneo consiste en la aplicación de agua bajo la superficie del suelo mediante emisores, con dosis de descarga en el mismo rango que el riego localizado, aunque parece que es su principal problema la obstrucción de emisores (Lucas & Alarcón, 2015).

2.2.3.3.1 Ventajas de riego sub-superficial.

Respecto al riego localizado superficial, este sistema, presenta determinadas ventajas:

- Incrementa la productividad.
- Potencia la eficiencia de recursos.
- Mejora la eficiencia de riego.
- Localización de la aplicación de agua y fertilizantes.
- Promueve el ahorro energético.
- Facilita las operaciones agrícolas.
- Localización de la aplicación de agua y fertilizantes.
- Minimiza los requerimientos de labor.
- Permite una mayor expansión de los sistemas de riego localizado, tanto en usos como en importancia.
- Reduce la aparición de enfermedades.
- Optimiza la distribución de pesticidas, incluyendo herbicidas.
- Disminuye el crecimiento de maleza.
- Disminuye la acumulación y el impacto de las calcificaciones en las tuberías y emisores.
- Facilita el uso de aguas residuales previamente filtradas.
- Aumenta la duración del sistema.

(Lucas & Alarcón, 2015)

2.2.4. Definiciones técnicas de riego.

2.2.4.1. Zona de absorción de agua.

La zona de las raíces es la principal área de absorción, y el desarrollo del sistema radicular influye considerablemente en la capacidad de absorción de agua, lo cual afecta el rendimiento del cultivo. Este desarrollo depende en gran medida de las condiciones del suelo. Por ejemplo, en un suelo con agua freática a 30 cm de profundidad, donde el agua ha desplazado al aire en el subsuelo, las raíces no pueden desarrollarse más profundamente. En suelos con una capa arenosa en el subsuelo a 50 cm de profundidad, la falta de agua en esa capa impide el crecimiento adecuado del sistema radicular. En suelos compactados, el sistema radicular se desarrolla de manera superficial y lenta. En suelos con una capa rocosa en el subsuelo, esta capa obstaculiza el crecimiento de las raíces. En condiciones normales, las raíces absorbentes de la mayoría de los cultivos se concentran en la capa superior del suelo, hasta una profundidad de aproximadamente 40 cm. Cerca del 60% al 70% de las raíces se encuentran en esta zona, donde la extracción de agua es mayor (Berlijn, 2006).

2.2.4.2. Percolación

La percolación se da generalmente por el excesivo tiempo de riego, lo que produce una infiltración de agua fuera del alcance de las raíces las mayores percolaciones se dan en suelos arenosos los suelos delgados sobre un subsuelo de alta permeabilidad, además de descuidos en la atención del agua en el momento de regar, aplicación en exceso de agua influyen bastante sobre la percolación, (Villaroel Fuentes, 1981).

2.2.4.3. Medida del contenido hídrico del suelo.

La determinación de la humedad del suelo es fundamental para estudios relacionados con el movimiento y la disponibilidad de agua en el suelo, así como para la cantidad de agua aplicada durante el riego y otros aspectos relacionados (Bernardo, 1995).

La capacidad de retención de agua varía según el tipo de suelo. Cuando el suelo se satura de agua y no permite un drenaje adecuado, las raíces de las plantas pueden morir debido a la falta de oxígeno. Por otro lado, si el suelo carece de suficiente agua, el crecimiento de las plantas se detiene, lo que eventualmente provoca su marchitamiento. La humedad del suelo depende de factores como su textura y la cantidad de materia orgánica presente. Los suelos con altos niveles de arcilla y materia orgánica tienen una mayor capacidad para retener agua (Cisneros, 2003).

2.2.4.4. Medida directa del contenido hídrico.

El método más básico y directo para medir el contenido de agua en el suelo consiste en tomar muestras del suelo que se desea analizar. La cantidad de agua se expresa en relación al peso seco de la muestra. Para calcularla, se seca la muestra en una estufa a una temperatura de 105°C hasta que su peso se estabilice. La diferencia entre el peso inicial y el peso final después del secado permite determinar el porcentaje de humedad presente en el suelo (Martín de Santa Olalla, 1993).

$$\% \text{ humedad} = \frac{M1 - M2}{M2 - M3} \times 100$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso del agua evaporada en la estufa}}{\text{Peso de la muestra seca a } 105^{\circ} \text{ C}} \times 100$$

(Martin de Santa Olalla, 1993)

2.2.4.5. Mediciones indirectas del contenido hídrico del suelo basado en la constante dieléctrica del suelo.

La constante dieléctrica del suelo es la medida de la capacidad a transmitir ondas o pulsos electromagnéticos y está en función al contenido de volumen de agua, el agua, en el rango de frecuencias de radio, presenta una constante dieléctrica de 80, un valor adimensional significativamente más alto en comparación con los minerales del suelo, cuyas constantes dieléctricas oscilan entre 4 y 5, la materia orgánica que es 4 y del aire que es 1. Esta metodología de medición es más fácil en sensores electrónicos, y se considera principalmente dos categorías de sensores que usan este principio dieléctrico para medir el contenido de agua en el suelo, los tipos de sensores son: Sensores TDR (Time Domain Reflectometry) y los sensores FDR (Frequency Domain Reflectometry), también conocidos como sensores de capacitancia (Martin de Santa Olalla, 1993).

2.2.5. Sensores de humedad.

2.2.5.1. Concepto de sensores.

Son dispositivos electrónicos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas llamadas variables y transformarlas en señales eléctricas, tales variables de instrumentación, por ejemplo: Temperatura, presión, fuerza, *humedad*, pH, etc (Martinez Reyes, 2012).

2.2.5.2. Actuadores electrónicos.

Los actuadores por ejemplo los solenoides, son dispositivos capaces de transformar formas eléctricas de mando, en acciones físicas o similares con el fin de la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto, los actuadores reciben la orden de un controlador electrónico generalmente para activar un elemento final de control como por ejemplo una válvula solenoide el cual se abre o cierra gracias a una señal eléctrica (Martínez Reyes, 2012).

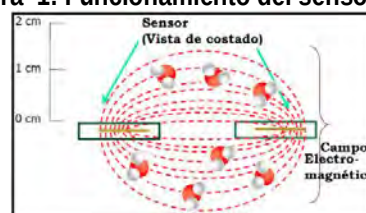
2.2.5.3. Sensores para la medición de agua en el suelo.

Existen varios tipos, pero en la actualidad los más indicados son los denominados sensores de capacitancia, en los cuales el suelo actúa como dieléctrico, la permisividad eléctrica está directamente relacionada con el contenido de agua en dicho suelo, entonces se hace pasar a través de electrodos (generalmente dos) una señal eléctrica de alta frecuencia (frecuencia de radio generalmente). Los sensores FDR son actualmente los más usados para la medida de agua en el suelo (Martín de Santa Olalla, 1993).

2.2.5.4. Sensores FDR, para la medición de la humedad del suelo.

Debido a que en el suelo típicamente lo que cambia es la cantidad de aire y de agua y el resto de componentes permanece constante el uso de sensores FDR es el más idóneo.

Figura 1: Funcionamiento del sensor FDR.



Fuente: (Campbell, Decagon Brasil, 2014)

Los sensores FDR miden la constante dieléctrica del suelo y la transforman en una señal de salida expresada en voltios. Este voltaje se calibra posteriormente para obtener el valor correspondiente de humedad en el suelo (Campbell, 2014).

2.2.5.5. Valores de la constante dieléctrica aplicada para la medición del contenido hídrico.

En medios como es el suelo, esta fracción de suelo está relacionada con la permeabilidad dieléctrica, y entre los componentes más influyentes en cuanto a valor de constante dieléctrica, resulta que el agua es el de mayor valor y a causa de su elevada permeabilidad dieléctrica los cambios en el volumen de agua tienen un efecto proporcional lineal sobre el total de la permeabilidad dieléctrica de la fracción de suelo analizada (Rogrigo Villar, 2014).

Tabla 2: Permeabilidad dieléctrica (ϵ) en muestra de suelos.

Material	ϵ
Aire	1
Suelos Minerales	3 - 7
Materia Orgánica	2 - 5
Hielo	5
Agua	80

Fuente: (Campbell, Decagon Brasil, 2014)

2.2.6. Conceptos básicos sobre diseños experimentales.

2.2.6.1. Pruebas experimentales.

Este método implica realizar una o varias pruebas en las que se modifican de manera intencional las variables de entrada del proceso, con el objetivo de observar y analizar cómo estos cambios afectan la variable de salida (UGR, 2016).

2.2.6.2. Definición de experimento.

De acuerdo con (UGR, 2016), consiste en aplicar los distintos niveles, a distintas unidades experimentales y observar el valor de la variable respuesta.

- **Unidades experimentales:** Son los sujetos o elementos (personas, objetos físicos, cultivos, etc.) sobre los que se realiza el experimento.
- **Factores:** Variables que el experimentador controla y manipula durante el estudio.
- **Variable de interés:** También conocida como variable respuesta, es el resultado que se mide o analiza en el experimento.
- **Error experimental o perturbación:** Son aquellas variables que no pueden ser controladas y que pueden influir en los resultados.
- **Tamaño del experimento:** Se refiere al número total de observaciones o mediciones realizadas durante el estudio.

(UGR, 2016)

2.2.6.3. Principios básicos del diseño de experimentos.

Los principios básicos son:

- **Aleatorización:** Consiste en asignar de manera aleatoria las unidades experimentales a los diferentes tratamientos, así como determinar el orden en que se llevan a cabo los ensayos.
- **Replicación:** Se refiere a la repetición de los experimentos o tratamientos para aumentar la precisión y confiabilidad de los resultados.
- **Homogeneidad del material experimental:** Implica que las unidades o materiales utilizados en el experimento deben ser lo más similares posible para reducir la variabilidad no controlada.

(UGR, 2016)

2.2.6.4. Diseño completamente aleatorizado (DBCA)

Esta prueba se fundamenta en el análisis de varianza (ANOVA), donde la varianza total se divide en dos componentes: la 'varianza de los tratamientos' y la 'varianza del error'. Su propósito es identificar si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Para ello, se compara la 'varianza de los tratamientos' con la 'varianza del error', utilizando la distribución F para determinar si la varianza de los tratamientos es lo suficientemente grande como para considerarse estadísticamente significativa (**Mellado Bosque, 2016**).

➤ Características del diseño.

Se definen los 't' tratamientos que se aplicarán a las 'n' unidades experimentales, asignando 'r' unidades a cada tipo de tratamiento. La asignación de las unidades experimentales a los tratamientos se realiza de manera aleatoria mediante un sorteo (Mellado Bosque, 2016).

2.2.7. Huella hídrica.

La huella hídrica desde una mirada genérica según (Sevilla, 2015) constituye un indicador que permite cuantificar el volumen total de agua dulce utilizado de manera directa e indirecta a lo largo de toda la cadena de suministro necesaria para la obtención de un bien o servicio. En este sentido, el análisis de la huella hídrica de un producto no se limita únicamente al agua empleada en la fase de producción de la materia prima, sino que también considera el consumo hídrico asociado a las etapas de transporte, procesamiento, manufactura y comercialización, hasta su llegada al consumidor final.

Este indicador resulta una herramienta útil para evaluar la eficiencia en el uso del recurso hídrico en relación con la disponibilidad de agua en un territorio específico. De esta forma, permite analizar si el aprovechamiento del agua se realiza de manera sostenible, garantizando simultáneamente la satisfacción de las necesidades de la población local, el desarrollo de las actividades económicas y la conservación de los ecosistemas. Asimismo, al incorporar variables de carácter económico, la huella hídrica facilita la identificación de aquellos contextos geográficos en los que el uso del agua genera un mayor valor o rentabilidad. El análisis del uso del agua debe abordarse desde una perspectiva local, dado que se trata de un recurso cuya disponibilidad y características varían espacialmente. Así, el empleo del agua en regiones con alta disponibilidad hídrica difiere significativamente de su utilización en zonas con escasez, del mismo modo que el uso de agua de origen pluvial presenta implicancias distintas frente al aprovechamiento de fuentes superficiales o subterráneas en un mismo territorio. Por esta razón, a diferencia de indicadores ambientales de alcance global como la huella de carbono, la huella hídrica requiere una comprensión detallada del contexto local para interpretar adecuadamente sus resultados y efectos. Según (Canga, 2015) la huella hídrica se muestra como una poderosa herramienta de concienciación de la opinión pública, con sus flujos virtuales de agua que viajan de unos continentes a otros. Sus estimaciones son verdaderamente llamativas y hacen reflexionar. La Huella Hídrica es además la que ha dado lugar a interesantes y educativas infografías y esquemas que nos informan, por ejemplo, de que la Huella Hídrica de una taza de café está en torno a 140 litros; la de un vaso de vino de 125 ml es de unos 117 litros; y la de una pinta

de cerveza está alrededor de 76 litros. La conclusión es inmediata, hay que dejar los cafés y pasarse al vino y las cervezas. Los coffeebreaks de jornadas y congresos han de pasar a convertirse en wine-breaks o beerbreaks, en aras de la conservación de un recurso escaso y valioso como el agua. Hay quien considera que tan sólo por esta sublime aportación, esta metodología merecía la pena ser creada. De las definiciones de huella hídrica, nos quedamos con el inventor de este concepto, es decir, (Hoekstra, 2011), la huella hídrica es un indicador que evalúa el uso de agua dulce, considerando no solo el consumo directo por parte de un productor, sino también el uso indirecto. Este concepto representa una medida integral de la apropiación de recursos hídricos, complementando la medición tradicional y limitada de la extracción de agua. La huella hídrica de un producto se refiere al volumen total de agua dulce empleada en su producción, medido a lo largo de toda la cadena de suministro. Es un indicador multidimensional que detalla los volúmenes de agua consumida según su fuente y los volúmenes contaminados según el tipo de contaminante. Además, los componentes de una huella hídrica total se definen tanto geográfica como temporalmente.

2.2.7.1. Huella hídrica azul.

La huella hídrica azul según (Hoekstra, 2011) este concepto se refiere al uso de recursos hídricos azules, es decir, aguas superficiales y subterráneas, a lo largo de la cadena de suministro de un producto. El término 'consumo' hace referencia a la pérdida de agua superficial disponible en una cuenca hidrográfica específica. Estas pérdidas ocurren cuando el agua se evapora, es desviada a otra cuenca o al mar, o cuando se integra en un producto. La huella hídrica azul según (Sevilla, 2015) corresponde al volumen de agua

dulce captada de fuentes naturales superficiales o subterráneas, tales como ríos, lagos, embalses o acuíferos, destinada a distintos usos productivos o domésticos. Este tipo de agua suele requerir infraestructura para su almacenamiento, conducción y distribución, lo que implica costos asociados a su captación y suministro.

2.2.7.2. Huella hídrica verde.

Manteniéndonos con la definición de (Hoekstra, 2011), la huella hídrica verde es el consumo de recursos hídricos verdes, es decir, agua de lluvia en la medida en que no se convierte en escorrentía. La huella hídrica verde según (Sevilla, 2015) se refiere al agua proveniente de la precipitación que queda almacenada en el suelo no saturado y es aprovechada directamente por la vegetación a través de la absorción radicular. Este componente no genera escorrentía hacia cuerpos de agua superficiales ni requiere sistemas de captación o distribución, por lo que su costo de abastecimiento es prácticamente inexistente.

2.2.7.3. Huella hídrica gris.

La huella hídrica gris se refiere según (Hoekstra, 2011) a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce necesario para diluir el agua contaminada, con el fin de que la calidad del agua ambiental se mantenga por encima de los estándares establecidos o acordados. Este volumen es hipotético y se calcula en función del nivel de contaminación generado, en este caso, por actividades agrícolas. La huella hídrica gris según (Sevilla, 2015) representa el volumen hipotético de agua dulce necesario para diluir una determinada carga contaminante hasta alcanzar concentraciones

aceptables, de acuerdo con los estándares de calidad ambiental del agua y las condiciones naturales del cuerpo receptor. Este componente no implica un consumo directo de agua, sino que refleja el impacto potencial de la contaminación generada por una actividad productiva.

2.2.8. Precipitación efectiva.

De acuerdo a (FAO, 2013), se denomina así al agua de lluvia que queda utilizable dentro de la zona radicular de las plantas, de modo que las raíces puedan absorberla. Según la misma (FAO, 2000) en otros términos, la precipitación efectiva es un término utilizado para a la fracción de lluvia que estará efectivamente disponible para la planta y puede ser determinado por experimento o por medio de ecuaciones como, por ejemplo:

$$\begin{aligned} Pe &= 0.8 \times PP - 25 \quad \text{si } PP > 75 \text{ mm/mes} \\ Pe &= 0.6 \times PP - 10 \quad \text{si } PP < 75 \text{ mm/mes} \quad (\text{FAO, 2000}) \end{aligned}$$

2.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1. Locales.

En el ámbito local, específicamente en la Región Cusco, no se han identificado investigaciones que evalúen la huella hídrica del cultivo de arándano. La revisión de repositorios universitarios y literatura técnica evidencia que los estudios existentes en la región se concentran principalmente en aspectos productivos, manejo agronómico y riego de cultivos tradicionales, sin aplicar metodologías específicas de huella hídrica al cultivo de arándanos. Esta ausencia de antecedentes locales representa una limitación en la disponibilidad de información técnica para la toma de decisiones relacionadas

con el uso sostenible del recurso hídrico en este cultivo emergente en la región, lo que justifica la necesidad del presente estudio.

2.3.2. Nacionales.

A nivel nacional, en el Perú, se han desarrollado investigaciones relacionadas con el consumo y requerimiento hídrico del cultivo de arándano, principalmente en sistemas de campo abierto. (Rodríguez Marquina, 2021) con la instalación de arándano en camellones y plástico mulch, en el trabajo de tesis denominado “Manejo agronómico del cultivo de arándano (*Vaccinium spp*) en condiciones del valle de Chao, La Libertad” reporta que una plantación de arándano de un año presenta un requerimiento hídrico aproximado de 8000 m³/ha, incrementándose hasta 12 000 m³/ha en plantaciones de dos años de edad. De manera similar, (Custodio Llontop, 2024) en el trabajo de tesis denominado “Fertirriego en arándano (*Vaccinium corymbosum* L) cv. Ventura cultivado en suelo, bajo condiciones del proyecto Olmos - Región Lambayeque” con cultivo de arándano en camellones, señala que el consumo de agua del cultivo de arándano depende de la edad de la plantación y de la variedad cultivada, reportando para la variedad Ventura un consumo aproximado de 11 200 m³/ha.

Si bien estos estudios aportan información relevante sobre el volumen de agua aplicado al cultivo, no abordan el enfoque de huella hídrica, el cual permite relacionar el uso del agua con la producción obtenida y diferenciar los componentes de huella hídrica azul, verde y gris. En este sentido, los antecedentes nacionales constituyen una base referencial, pero evidencian la

necesidad de estudios que incorporen el enfoque de huella hídrica en el cultivo de arándano en el país.

2.3.3. Internacionales.

A nivel internacional, se han desarrollado investigaciones que evalúan la huella hídrica del cultivo de arándanos en distintos contextos productivos. (Donoso, 2013), en el trabajo denominado “La huella hídrica agrícola de Chile”, reporta valores de huella hídrica del orden de 1 400 m³/t, evidenciando la elevada demanda de agua asociada a este cultivo en sistemas productivos intensivos. Asimismo, (Villanueva Nava, 2021), en México en su trabajo de tesis “Estimación de huella hídrica en el cultivo arándano en el municipio de Acutzio del Canje MICH”, estimó la huella hídrica del cultivo de arándano aplicando la metodología de la Water Footprint Network, obteniendo una huella hídrica total de 62.27 m³/t. El autor destaca la importancia de evaluar el uso del agua en función de la producción obtenida, así como la necesidad de ampliar estos estudios a otras regiones con condiciones climáticas y productivas diferentes.

Estos antecedentes internacionales aportan referencias metodológicas y valores comparativos, sin embargo, no existen estudios que evalúen la huella hídrica del cultivo de arándano en la Región Cusco, lo que refuerza la pertinencia del presente trabajo de investigación.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.

3.1. HIPÓTESIS.

3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL.

El sistema de riego localizado por goteo experimentado usando sensores de humedad de suelo para la medición de la humedad, permitirá determinar la huella hídrica del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).

3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

1. La utilización de caudalímetros conectados al sistema de riego localizado por goteo, permitirá determinar la huella hídrica azul para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).
2. Determinar la huella hídrica verde y gris para el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo, se logrará calculando la cantidad de fertilizante nitrogenado y precipitación correspondientes.
3. El rendimiento del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo experimentado presentará diferencias significativas.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.

Huella hídrica total:

Es una variable dependiente, respecto a la causalidad, es decir, depende principalmente del efecto de los niveles de aplicación de riego y de la precipitación.

Es una variable continua, respecto a la unidad de medida.

Es una variable cuantitativa, respecto a la operatividad.

Indicador: m³/kg.

Riego localizado:

Es la variable independiente, respecto al modelo causal, son los diferentes niveles de riego los tratamientos, su medición permite determinar la huella hídrica azul.

Es una variable continua, respecto a la unidad de medida.

Es una variable cuantitativa, respecto a la operatividad.

Indicador: L/planta y/o litros/ha.

Precipitación:

Es la variable interviniente, respecto a la causalidad, permite determinar la huella hídrica verde.

Es una variable continua, respecto a la unidad de medida.

Es una variable cuantitativa, respecto a la operatividad.

Indicador: mm, L.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Cuadro 2: Operacionalización de variables.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Sub dimensión	Indicador
Variable dependiente: Huella hídrica	La huella hídrica se compone de tres elementos principales: La huella hídrica azul, que representa el volumen de agua dulce utilizada proveniente de fuentes superficiales y subterráneas. La huella hídrica verde, que corresponde al volumen de agua consumida derivada de la precipitación. La huella hídrica gris, que es el volumen de agua necesario para diluir las aguas contaminadas (Hoekstra, 2011).	La huella hídrica azul se mide con caudalímetros los cuales miden el agua aplicada al cultivo.	Huella hídrica azul	Agua aplicada	m3/ha.
		La huella hídrica gris se estima midiendo la cantidad de fertilizante nitrogenado.	Huella hídrica gris	Producción de arándano. Huella hídrica gris.	tn/ha. m3/tn
Variable interviniente: Precipitación.	La huella hídrica verde que es el volumen de agua consumida procedente del agua de lluvia (Hoekstra, 2011).	La huella hídrica verde se mide con pluviómetro.	Huella hídrica verde.	Precipitación Producción de arándano.	mm/ha, l/ha. tn/ha.
Variable independiente: Niveles de aplicación de riego localizado.	El riego localizado por goteo es un método de irrigación que suministra agua filtrada directamente al suelo, cerca de la planta. Este sistema evita la erosión causada por el agua y permite que el agua se libere a baja presión en el punto de emisión, humedeciendo el perfil del suelo de manera controlada y predefinida (Gurovich, 1999).	La aplicación de agua se mide mediante la lectura de los caudalímetros instalados para cada tratamiento, el mismo que está correlacionado con el tiempo de riego y la correspondiente medición de la humedad volumétrica.	Agua aplicada.	Dotación de agua.	m3/ha

IV. METODOLOGÍA

4.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.

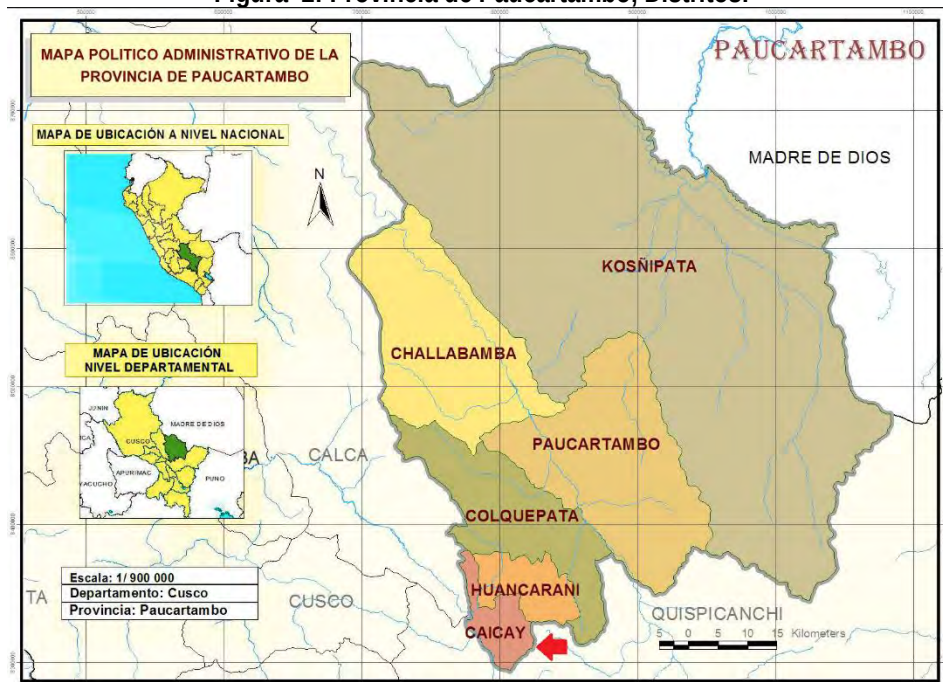
4.1.1. Ubicación política:

Departamento : Cusco
Provincia : Paucartambo
Distrito : Caicay
Fundo : Qhanopata.

4.1.2. Ubicación geográfica.

Altitud : 3030 msnm.
Latitud : 13° 33' 31" SUR
Longitud : 71° 52' 29" OESTE.

Figura 2: Provincia de Paucartambo, Distritos.



Fuente: <https://www.paucartambo.info/informacion/division-politica.html>

Figura 3: Distrito de Caicay.



Fuente: <https://www.paucartambo.info/informacion/division-politica.html>

Figura 4: Vista del Campo experimental.



Fuente: Imagen Satelital Google Earth.

4.1.3. Ubicación temporal:

El desarrollo del trabajo de investigación se desarrolló para la campaña 2023 – 2024, con plantas de arándano de 3 años de edad.

4.1.4. Ubicación hidrográfica.

Cuenca: Vilcanota Urubamba (ANA, 2024).

4.1.5. Material genético.

- *Vaccinium corymbosum L. variedad Biloxi*, (de 3 años de edad).

4.1.6. Material de campo.

4.1.6.1. Insumos.

- *Fertilizantes: Fosfato Monoamónico, Nitrato de Calcio, Sulfato de Potasio.*
- *Sustrato: Mix cascarilla de arroz, turba, guano bovino (relación: 0.8 – 1.0 – 0.1)*
- *Bolsas contenedoras de 30 litros.*
- *Suministro eléctrico (para programador de riego).*

4.1.6.2. Componentes del sistema de riego.

- *Solenoides marca: Rainbird.*
- *Pluviómetro Honde Technology Co Ltd.*
- *Caudalímetros marca: Valmeter.*
- *Sensores FDR de humedad marca: Decagon.*
- *Medidor de CE, pH, N, P, K. marca: Sentec.*
- *Sistema de filtrado de discos de 2" a 120 mesh.*
- *Tanque de agua de 1100L marca: Ethernit.*
- *Mangueras de riego de 50mm, 32mm y 16mm.*
- *Goteros de 2.2L/h, marca: Eurodrip.*
- *Mallas anti pájaros de 50mmx50mm.*
- *Accesorios de riego (adaptadores de compresión de 50mm y 32mm).*
- *Programador de riego.*

4.1.6.3. Herramientas y equipos.

- *Saca-bocado para polietileno de 16mm.*
- *Llave-cadena de ajuste para almado del sistema de filtrado.*
- *Llave stilson.*
- *Tijera de podar.*
- *Mochila fumigadora manual de 15 litros.*
- *Motoguadaña.*
- *Alicate de corte.*

4.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

4.2.1. Tipo de investigación

Se trata de una investigación aplicada, que de acuerdo a (Hernández Sampieri & et al., 2014) la investigación aplicada es un tipo de investigación científica cuyo propósito es resolver problemas.

4.2.2. Alcance de la investigación

Respecto los alcances de la investigación corresponde a una investigación explicativa, según el criterio de (Hernández Sampieri & et al., 2014) dado que se pretende establecer causas de sucesos que se estudian en este caso la huella hídrica.

4.2.3. Nivel de investigación

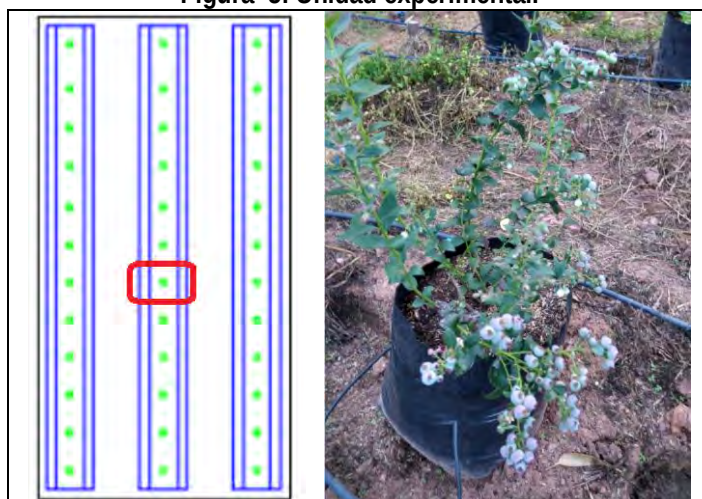
Investigación experimental que según indica (Arías, 2012), se da por el grado de profundidad con el que se desarrolla un objeto de estudio tal es así que define a la investigación experimental como el proceso de someter a un objeto de estudio, a determinados tratamientos conocidos como variable independiente, y así visualizar u observar los efectos que se producen, es decir, efectos en la variable dependiente, el presente trabajo de investigación se acoge a esta definición en el que la variable independiente con la que se experimenta son los niveles de humedad a experimentar y el efecto se mide en la variable dependiente que es el rendimiento de la producción de arándano. El tipo de investigación experimental empleado para el presente trabajo de investigación es de bloques al azar más conocido como DBCA, que según (Segura C., José C., 2000) se utiliza en casos en donde existe un gradiente de variación a

parte del tratamiento, el objetivo del DBCA, es agrupar las unidades experimentales a las que se les aplicará los tratamientos en grupos denominados “bloques”, de tal forma que los tratamientos experimentados participen en igualdad de condiciones tan homogéneas como sea posible en cada bloque subdividido.

4.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

De acuerdo a (Rodríguez, Breña, & Esenarro, 2021) la unidad de análisis es el objeto de estudio el mismo que es delimitado por el investigador, para ser observado y correspondientemente medido, para la presente investigación, la unidad de análisis es el contenedor que consiste en una bolsa de polietileno de 30 litros en el que se contiene la planta de arándano.

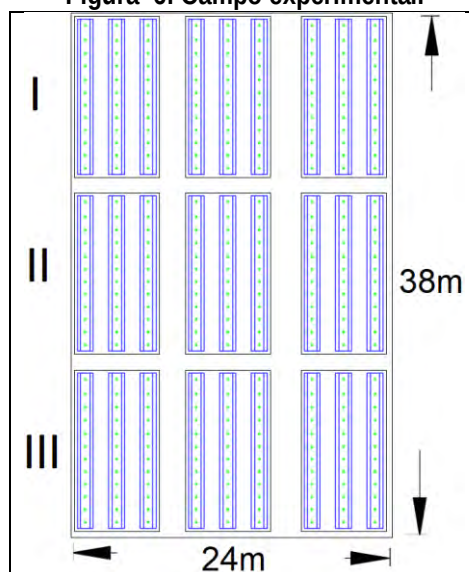
Figura 5: Unidad experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Al ser la unidad experimental el contenedor de polietileno, y siendo el distanciamiento trabajado de 1.0 metro entre plantas y 2.0 metros entre surcos, haciendo un área de 2m² por planta, de modo que para una hectárea son 5000 contenedores.

Figura 6: Campo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Bloques:

Número de bloques: 3

4.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio según Lepkowski, 2008b, citado por (Hernández Sampieri & et al., 2014) a la que se ha denominado también universo, se le define como el conjunto de todos los elementos coinciden ciertas especificaciones dadas. Por lo que, para el caso de la presente investigación, la población es el total de plantas de arándano variedad Biloxi, instaladas 297 plantas en total.

4.5. TAMAÑO DE MUESTRA.

La muestra según (Hernández Sampieri & et al., 2014) es un sub grupo representativo de la población total o universo a la cual se extrae datos. En la presente investigación, se analiza a toda la población por lo que no corresponde determinar un tamaño de muestra ni tampoco la utilización de una técnica de selección de muestra.

4.6. LOS TRATAMIENTOS.

Se experimenta tres tratamientos, tres niveles de dotación de agua diferentes mediante riego por goteo localizado, debido al funcionamiento y diseño del sistema, el nivel de dotación de agua en l/planta, es directamente proporcional al tiempo de riego del sistema en minutos, es decir, hay directa correspondencia lineal entre el tiempo de riego, la dotación o aplicación de agua en litros, así como también es lineal la relación entre la humedad volumétrica y cantidad de agua en el contenedor. A continuación, se indican detalles:

Numero de tratamientos: 03

Número de bloques: 03



4.6.1. Relación entre los tratamientos y agua aplicada.

Se experimenta con el 90% de relación entre tratamientos.

Tratamiento A: El valor del tratamiento A es el 90% del valor del tratamiento B.

Tratamiento B: El valor del tratamiento B es el 90% del valor del tratamiento C.

Tratamiento C: Su valor va en función del comportamiento fenológico del cultivo referenciado con la ETc calculada.

Resumiendo:

Tratamiento A=90%B

Tratamiento B=90%C

Para cada tratamiento se instaló un caudalímetro que permite conocer el volumen de agua aplicado, para controlar el volumen de riego se usa un programador electrónico en el que se configura los minutos de riego a aplicar a cada tratamiento. La humedad resultante se mide con un sensor electrónico FDR, es así que se tiene los siguientes valores de dotación de agua para cada tratamiento en las fases o etapas del cultivo observadas.

4.7. CONDUCCIÓN DE EXPERIMENTO.

4.7.1. Medición de la humedad con sensor FDR.

En función de los resultados de las medidas realizadas, se establece los minutos de riego.

De la dotación de agua bajo los siguientes tiempos de riego:

Cuadro 3: Dotación de agua por planta y por tiempo de riego.

Tratamiento	Dotación de agua por planta (l/día).	Tiempo de riego (min/día).
A	Inicial: 3.6	Inicial: 49
	Desarrollo: 3.6	Desarrollo: 49
	Media: (1.1 – 3.6)	Media: (14 – 49)
	Fin: (1.7 – 1.8)	Fin: (24 – 25)
B	Inicial: 3.9	Inicial: 53
	Desarrollo: 3.9	Desarrollo: 53
	Media: (1.2 – 3.9)	Media: (15 – 53)
	Fin: 1.9	Fin: (27 – 28)
C	Inicial: 4.2	Inicial: 58
	Desarrollo: 4.2	Desarrollo: 58
	Media: (1.3 – 4.2)	Media: (16 – 58)
	Fin: (2.0 – 2.1)	Fin: (29 – 30)

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra datos de fecha 03/06/2024, y los resultados de la medición de la humedad y los datos relacionados a la medición.

Fotografía 1: Medición de la humedad volumétrica.



Fuente: Elaboración propia (2024).

Cuadro 4: Medidas de humedad con sensor FDR.

Humedad vs Riego	A	B	C
Valor de humedad (%)	48.4	52.3	58.7
Dotación de agua (L)	1.7	1.9	2.1
Tiempo de riego	24	27	29

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Procedimiento de medición de la humedad con sensor FDR.

Se procedió como se muestra, insertando el sensor en el sustrato del cultivo, la lectura es instantánea, es importante verificar que no haya piedras en la zona de medición del sensor que alteren el valor de su lectura.

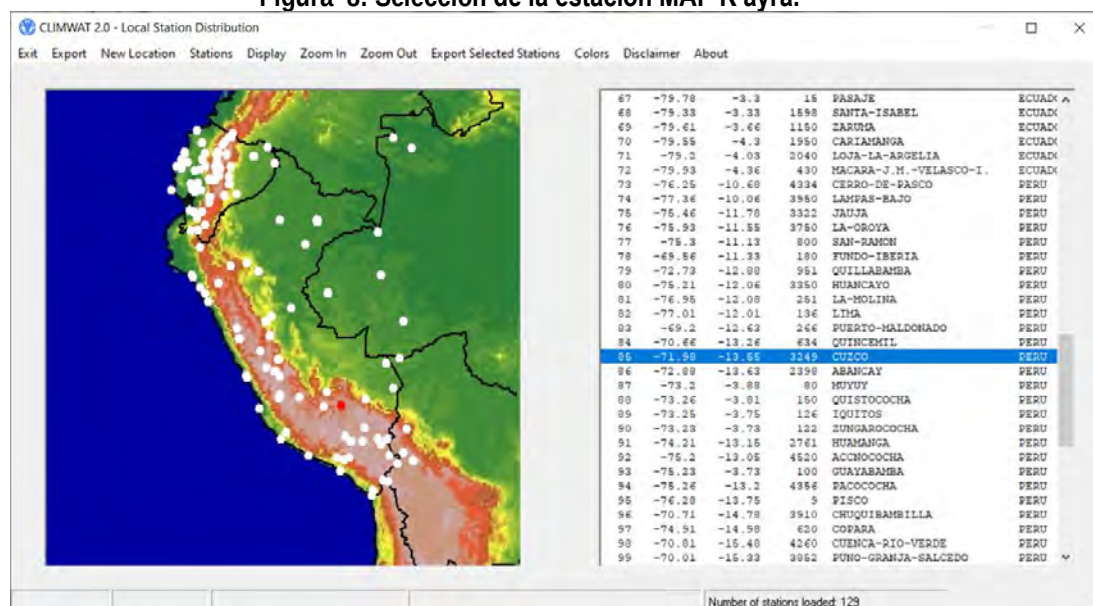
4.7.3. Balance hídrico.

4.7.3.1. Estimación de la demanda hídrica.

Para la determinación de la demanda hídrica se hace uso de los softwares de la FAO, los cuales son Climwat y Cropwat, tomando como fuente la estación meteorológica más cercana siendo en este caso la MAP K'ayra – Cusco, lo cual se ingresa en el software Climwat.

Resultados de la demanda hídrica:

Figura 8: Selección de la estación MAP K'ayra.



Fuente: Elaborado con Climwat 2.0.

❖ Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia (ET_o) Penman Monteith resulta:

Cuadro 5: Resultados de evapotranspiración de referencia (ET_o).

ET _o Penman-Monteith Mensual - E:\00 2024 VOLUMEN TESIS\0 2024 volumen\CALCULOS\CR...							
País	Peru			Estación	K'AYRA		
Altitud	3249	m.	Latitud	13.55	°S	Longitud	71.98 °W
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET _o
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	6.8	19.0	61	164	5.4	18.7	3.78
Febrero	6.8	18.6	62	164	4.6	17.2	3.55
Marzo	6.3	18.8	65	164	5.4	17.7	3.48
Abril	5.2	19.5	59	138	6.9	18.2	3.46
Mayo	3.2	19.4	54	138	7.5	17.1	3.21
Junio	0.9	19.1	43	164	8.0	16.7	3.28
Julio	0.8	18.5	48	199	7.8	16.9	3.35
Agosto	2.0	19.8	46	233	7.7	18.5	3.96
Septiembre	4.5	19.6	52	233	6.9	19.2	4.07
Octubre	5.9	20.7	53	233	6.5	19.9	4.37
Noviembre	6.3	20.4	48	199	6.3	20.0	4.42
Diciembre	6.7	19.3	59	199	5.0	18.0	3.87
Promedio	4.6	19.4	54	186	6.5	18.2	3.73

Fuente: Elaborado con Cropwat 8.0.

❖ Precipitación efectiva (P)

Según la estación climatológica más cercana que es la estación MAP K'ayra se tiene:

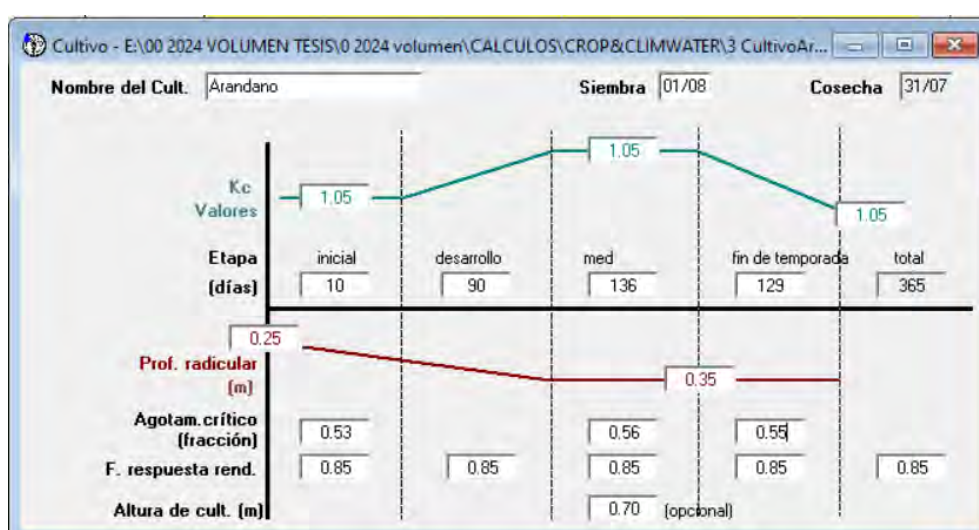
Cuadro 6: Precipitación efectiva según Cropwat.

Precipitación mensual - E:\00 2024 VOLUMEN TESIS\0 2024 volumen\CALCULOS\CR...		
Estación	CUZCO	
Método Prec. Ef	Fórmula FAO/AGLW	
	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	152.0	97.6
Febrero	116.0	68.8
Marzo	102.0	57.6
Abril	45.0	17.0
Mayo	7.0	0.0
Junio	3.0	0.0
Julio	4.0	0.0
Agosto	8.0	0.0
Septiembre	22.0	3.2
Octubre	47.0	18.2
Noviembre	74.0	35.2
Diciembre	117.0	69.6
Total	697.0	367.2

Fuente: Elaborado con Cropwat 8.0.

❖ Factor de cultivo (Kc)

Para el factor del cultivo, se considera la fenología del cultivo y con tales datos se procede en el software Cropwat 8.0. Se considera Kc constante, según recomendación de (Custodio Llontop, 2024) y tomando de referencia el boletín de la FAO se usa $K_c = (1.05 - 1.08)$ para berries, la profundidad de la raíz según el tamaño de contenedor corresponde a 35cm.



Fuente: Elaborado con Cropwat 8.0.

❖ Evapotranspiración del cultivo (ETc)

De acuerdo a los resultados del software de la FAO Cropwat, resulta:

Cuadro 7: Evapotranspiración del cultivo ETc según Cropwat.

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo K'AYRA				Cultivo Arandano			
Est. de lluvia CUZCO				Fecha de siembra 01/08			
Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ago	1	Inic	1.05	3.94	39.4	0.0	39.4
Ago	2	Des	1.05	4.16	41.6	0.0	41.6
Ago	3	Des	1.05	4.20	46.2	0.1	46.1
Sep	1	Des	1.05	4.24	42.4	0.4	42.0
Sep	2	Des	1.05	4.28	42.8	0.6	42.2
Sep	3	Des	1.05	4.39	43.9	2.4	41.5
Oct	1	Des	1.05	4.50	45.0	4.4	40.6
Oct	2	Des	1.05	4.60	46.0	6.0	40.0
Oct	3	Des	1.05	4.62	50.8	7.9	42.9
Nov	1	Med	1.05	4.64	46.4	9.3	37.1
Nov	2	Med	1.05	4.66	46.6	10.9	35.6
Nov	3	Med	1.05	4.46	44.6	15.0	29.6
Dic	1	Med	1.05	4.27	42.7	19.5	23.1
Dic	2	Med	1.05	4.08	40.8	23.5	17.3
Dic	3	Med	1.05	4.04	44.5	26.5	18.0
Ene	1	Med	1.05	4.01	40.1	31.2	8.9
Ene	2	Med	1.05	3.98	39.8	35.2	4.6
Ene	3	Med	1.05	3.90	42.9	31.1	11.8
Feb	1	Med	1.05	3.82	38.2	25.6	12.6
Feb	2	Med	1.05	3.74	37.4	22.1	15.3
Feb	3	Med	1.05	3.72	29.8	21.2	8.6
Mar	1	Med	1.05	3.69	36.9	21.3	15.6
Mar	2	Med	1.05	3.67	36.7	20.6	16.1
Mar	3	Fin	1.07	3.71	40.8	15.6	25.2
Abr	1	Fin	1.08	3.73	37.3	9.4	27.8
Abr	2	Fin	1.08	3.72	37.2	4.6	32.6
Abr	3	Fin	1.08	3.63	36.3	3.0	33.3
May	1	Fin	1.08	3.54	35.4	0.1	35.3
May	2	Fin	1.08	3.46	34.6	0.0	34.6
May	3	Fin	1.08	3.48	38.3	0.0	38.3
Jun	1	Fin	1.08	3.51	35.1	0.0	35.1
Jun	2	Fin	1.08	3.53	35.3	0.0	35.3
Jun	3	Fin	1.08	3.55	35.5	0.0	35.5
Jul	1	Fin	1.08	3.57	35.7	0.0	35.7
Jul	2	Fin	1.08	3.60	36.0	0.0	36.0
Jul	3	Fin	1.08	3.82	42.0	0.0	42.0
					1444.9	367.5	1077.4

Fuente: Elaborado con Cropwat 8.0.

De donde se puede apreciar que la mayor demanda hídrica ocurre durante los meses de agosto a noviembre 4.66 mm/día.

Resultados de la oferta hídrica:

El caudal de la fuente de agua que es un manante fue aforado resultando 0.15 l/s en temporada de secano (mes Agosto), se trata de un agua para consumo humano. La oferta hídrica diaria por consiguiente es de 12960.00 litros/día.

En el entorno del software Climwat 2.0 se selecciona las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de experimentación, en nuestro caso la estación MAP K'ayra y extrae la data climática el cual es importado y procesado en el software Cropwat 6.0.

4.7.3.2. Oferta hídrica.

El agua utilizada para el cultivo de arándano de la presente investigación proviene de una fuente del tipo manantial permanente.

4.7.3.3. Balance hídrico.

De los resultados de demanda hídrica y de oferta hídrica para la presente investigación se obtiene el balance hídrico.

La demanda hídrica máxima calculada previamente, tiene como máximo valor el de 4.66 mm/día, siendo el área de experimentación igual a 912.00 m², entonces el agua de riego requerido para el presente experimento resulta mediante una regla de tres simple:

Demanda hídrica para el campo experimental (l/día).

46.6m3	----	10000m2
X	----	912m2
X=4.25 m3/día		
X=4250 l/día		

Fuente: Elaboración propia.

Entonces el balance hídrico resulta:

Cuadro 8: Balance hídrico del sistema de riego (l/día).

Oferta hídrica (L/día)	12960.00
Demanda hídrica (L/día)	4250.00
Diferencia (L/día)	8710.00

Fuente: Elaboración propia.

El balance hídrico que resulta con superávit de 8710.00 litros/día.

4.7.4. Diseño agronómico.

Permitió determinar los parámetros de diseño y de operación del sistema de riego. Los arándanos se cultivan en contenedores (bolsas de PE) de las siguientes medidas:

Perímetro: $P=1025\text{mm}$

Altura de bolsa: $h=355\text{mm}$

De donde:

Área boquilla: $A=0.083606081\text{m}^2$

Volumen: $V=0.029680159\text{m}^3$

$V=30$ Litros

El sustrato utilizado para los contenedores se somete a análisis de laboratorio del Centro Agronómico K'ayra cuyos resultados se adjunta en anexos, con lo que se calculan los parámetros del cultivo.

Cuadro 9: Parámetros de sustrato del cultivo.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD :								
N°	CLAVE	mmhos/c.c. C.E.	pH	% CaCO ₃	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	M. SUSTRATO	1.06	5.40	0.00	20.41	1.02	125.6	7,843
ANÁLISIS FISICO MECANICO :								
N°	CLAVE	% H.E.	% C.C.	g/c.c. Da	g/c.c. Dr	% PMP	% POROSIDAD	
01	M. SUSTRATO	98.83	88.10	0.72	1.87	-	61.49	

Fuente: Laboratorio de suelos K'ayra

De donde se calcula:

$$\begin{aligned}\theta_{cc\%} &= CCps \times Da \\ \theta_{cc\%} &= 88.10 \times 0.72 \\ \theta_{cc\%} &= 63.4\%\end{aligned}$$

$$PMPps = -5 + 0.74 \times CCps$$

$$PMPps = 60.19\% \text{ (Silva, A., 1988)}$$

$$\begin{aligned}\theta_{pmp\%} &= PMPps \times Da \\ \theta_{pmp\%} &= 60.19\% \times 0.72 \\ \theta_{pmp} &= 43.34\%\end{aligned}$$

Donde:

CCps : Capacidad de campo del suelo expresada en función del peso seco.

PMPps: Punto de marchitez permanente expresado en función del peso seco.

Da: Densidad aparente del suelo en el área cultivada.

$\theta_{cc\%}$: Capacidad de campo en base a volumen.

$\theta_{pmp\%}$: Punto de marchitez permanente en base a volumen.

Seguidamente:

Agua disponible (AD%):

$$AD\% = \theta_{cc\%} - \theta_{pmp\%} \quad (\text{FAO, 2006})$$

$$AD\% = 63.43\% - 43.34\%$$

$$AD\% = 20.09\%$$

Lamina disponible en la zona radicular (LDzr):

Longitud de raíz del arándano ($zr=35.5\text{cm}$)

$$LDzr = AD\% \cdot \frac{zr}{10} \quad (\text{FAO, 2006})$$

$$LDzr = 20.09\% \cdot \frac{35.5}{10}$$

$$LDzr = 71.31\text{mm} \text{ (a } 35.5 \text{ cm)}$$

Lámina fácilmente aprovechable (LAzr):

$$LAzr = LDzr \cdot fs$$

$$fs=0.55 \text{ Para berries, (FAO, 2006)}$$

$$LAzr=71.31 \times 0.55$$

$$LAzr=39.22\text{mm/zr}$$

Umbral de riego a factor de secamiento ($\theta_{fs}\%$):

$$\theta_{fs}\% = \theta_{cc}\% - fs \times AD\% \quad (\text{Puppo, 2015})$$

$$\theta_{fs}\% = 63.43\% - 0.55 \times 20.09\%$$

$$\theta_{fs}\% = 52.38\%$$

Cuadro 10: Resultados de cálculos de parámetros del sustrato.

Parámetro	Símbolo	Fórmula	Resultado	Und.
Humedad del suelo a CC.	$\theta_{cc}\%$	$\theta_{cc}\% = Da * CCps\%$	63.43	%
Humedad del suelo a PMP	$\theta_{pmp}\%$	$\theta_{pmp}\% = Da * PMPps\%$	43.34	%
Agua disponible o agua útil.	$AD\%$	$AD\% = \theta_{cc}\% - \theta_{pmp}\%$	20.09	%
Lamina disponible en la zona radicular.	$LDzr$	$LDzr = AD\% \cdot \frac{zr}{10}$	71.31	mm/zr
Lámina fácilmente aprovechable	$LAzr$:	$LAzr = LDzr \cdot fs$	39.22	mm/zr
Umbral de riego a factor de secamiento	θ_{fs}	$\theta_{fs}\% = \theta_{cc}\% - fs \times AD\%$	52.38	%

Fuente: Elaboración propia.

❖ Parámetros de diseño para el sistema de riego por goteo.

En base a los resultados calculados se concluye en el siguiente cuadro:

Cuadro 11: Parámetros de diseño para el sistema de riego.

Parámetros de diseño	Unidades	Cultivo de arándano <i>Vaccinium corymbosum</i> L.
Lugar de ubicación del predio.		Caicay – Sector Qhanopata
Superficie	m ²	912.00
Área por planta	m ²	2.00
Área de bolsa	m ²	0.083606081
Profundidad de contenedor (bolsa)	cm	35
Capacidad de contenedor (bolsa)	L	30
Fuente de agua (manante).	L/s	0.15
Distanciamiento entre plantas.	m	1.00
Distanciamiento entre hileras.	m	2.00
Humedad en base a volumen a CC.	%	63.43
Humedad es base a volumen a PMP.	%	43.34
Agua disponible (%)	%	20.09
Umbral de riego a factor de secamiento	%	52.38
Lamina disponible en la zona radicular.	mm	71.31
Necesidad de riego según Cropwat.	mm/ha	4.66
Intervalo de riego	día	1.0
Caudal de emisor de gotero.	L/h	2.2
Número de goteros por planta	und	2
Distanciamiento entre goteros	cm	12
Presión de funcionamiento del gotero.	Bar	0.5 – 4.0

Fuente: Elaboración propia.

❖ Parámetros de operación.

Para la definición de los parámetros de operación, se hace uso de los datos correspondientes a los parámetros de diseño anteriores, y están en correspondencia con los parámetros que definen los tratamientos a experimentar, en este caso la denominación de los tratamientos son A, B y C, los cuales consisten en tres niveles de dotación de riego, para lo cual se sectoriza la instalación del sistema de riego en 03 partes y a cada sector se aplica un tratamiento.

Cuadro 12: Parámetros de operación del sistema de riego.

Requerimiento de agua crítico (mm/día)	Distanciamiento (m)	Área por planta adulta (m ²)	Litros por planta máximo (L/día)
4.6	1m x 2m	0.955	4.8

Fuente: Elaboración propia.

4.7.5. Diseño hidráulico.

❖ Coeficiente de uniformidad (CU).

Para su determinación se procede con la metodología definida por (Merriam & Keller, 1978).

Fotografía 2: Determinación del coeficiente de uniformidad (CU).



Conexión de colectores.



Colectores 5 min de riego.



Pesado de cada colector.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13: Datos de evaluación de los emisores del sistema de riego a 1.2 bar.

N	Peso (mg)	Peso Ordenado (mg)	Tiempo (min)
1	133	117	5
2	117	131	5
3	142	133	5
4	140	135	5
5	131	140	5
6	135	140	5
7	140	142	5
8	145	144	5
9	147	145	5
10	145	145	5
11	150	147	5
12	158	150	5
13	153	150	5
14	144	153	5
15	150	157	5
16	157	158	5

Fuente: Elaboración propia.

N: El número de emisores examinados.

Peso (mg): El peso del agua colectado en los recipientes luego de 5 min de irrigación.

Promedio 25% = 129.00

Promedio 100% = 142.9375

$$CU\% = \frac{129.00}{142.9375} \times 100\%$$

$$CU\% = 90.23\%$$

Coeficiente de Uniformidad “**Buena**” según (Merriam & Keller, 1978).
 ❖ **Red de conducción y distribución.**

El sistema de conducción está conformado por una manguera de 50mm HDPE de 100m de longitud, conectado a un tanque de agua de 1100 litros, elevado con 14 metros de desnivel. El sistema de distribución está conformado por 03 mangueras de 32mm una manguera para cada tratamiento, finalmente se tienen mangueras de 16mm conectadas que son las laterales a las cuales se conectan los goteros y de los goteros va hacia los contenedores mediante microtubos de 4mm.

❖ **Cálculo de pérdidas por fricción de la conducción.**

Para lo cual se utilizó la ecuación general de pérdidas de carga de Darcy – Weisbach.

Ecuación general de pérdidas de carga.

$Hf = K \times Q^n$	$K = \frac{0.08263 \times f \times L}{D^5}$
Ecuación general de pérdidas de carga por fricción.	Coeficiente de resistencia según Darcy – Weisbach.

De donde resulta:

Cuadro 14: Caídas de presión por fricción del sistema de riego.

Caída	16mm	32mm	50mm
L (m)	50	22	100
v (m/s)	0.31	0.22	0.26
Q (l/h)	169.6	453.5	1359.3
hf (m)	0.4	0.0	0.2

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 15: Parámetros de funcionamiento del emisor utilizado.

Marca	= Eurodrip
Modelo	= Corona PC
Caudal de emisor	= 2.15 L/h
Presión de trabajo	= 0.5Bar – 4.0Bar.

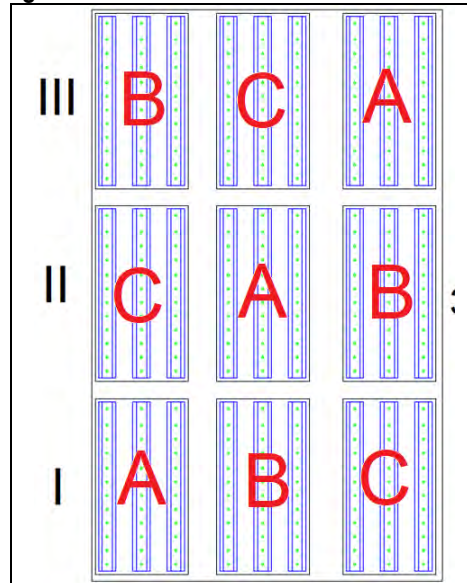
Fuente: Hoja de datos Eurodrip.

4.7.6. Instalación del sistema de riego y componentes.

4.7.6.1. Campo experimental y distribución de tratamientos.

El terreno experimental mide 912.00 m², con ligera pendiente del 14% aproximadamente, el cultivo se maneja en contenedores, es decir en bolsas de polietileno (PE). A continuación, se muestra el esquemático y fotografía de la instalación.

Figura 9: Distribución de los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3: Vista general de la instalación del cultivo de arándano.



Fotografía del campo experimental (Junio 2024).

Fuente: Elaboración propia.

4.7.6.2. Tanque de agua.

El tanque de agua es utilizado debido a que el caudal de la fuente de agua es muy bajo como para poder regar a todas las plantas a la misma vez. De este tanque prosigue la conexión con manguera HDPE de 50mm hacia el terreno experimental hasta donde gana presión natural de 1.2Bar.

Fotografía 4: Tanque de agua de 1100 litros.



Tanque de agua de 1100 Litros.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.6.3. Sistema de filtrado.

El sistema de filtrado está constituido por 3 filtros de 2" de 25 000 litros por hora, conectados en paralelo, se usa 03 unidades para ampliar el tiempo de funcionamiento sin que necesita un lavado de emergencia.

Fotografía 5: Sistema de filtrado.



Fuente: Elaboración propia.

4.7.6.4. Válvulas de control de riego.

Luego del sistema de filtrado, se tiene 03 sectores de riego controlados por válvulas solenoides para cada tratamiento (A, B y C), también tienen conectados en cada caso caudalímetros o medidores de agua. La conexión es mediante derivación mediante conexión de 1" continuando con mangueras de 32mm.

Fotografía 6. Caudalímetros y electroválvulas.



Vista de las electroválvulas de control de riego.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.6.5. Programador de riego.

Es un dispositivo que controla el tiempo de riego en función de la programación realizada, para lo cual está conectada a las válvulas solenoides.

Fotografía 7: Programador de riego.

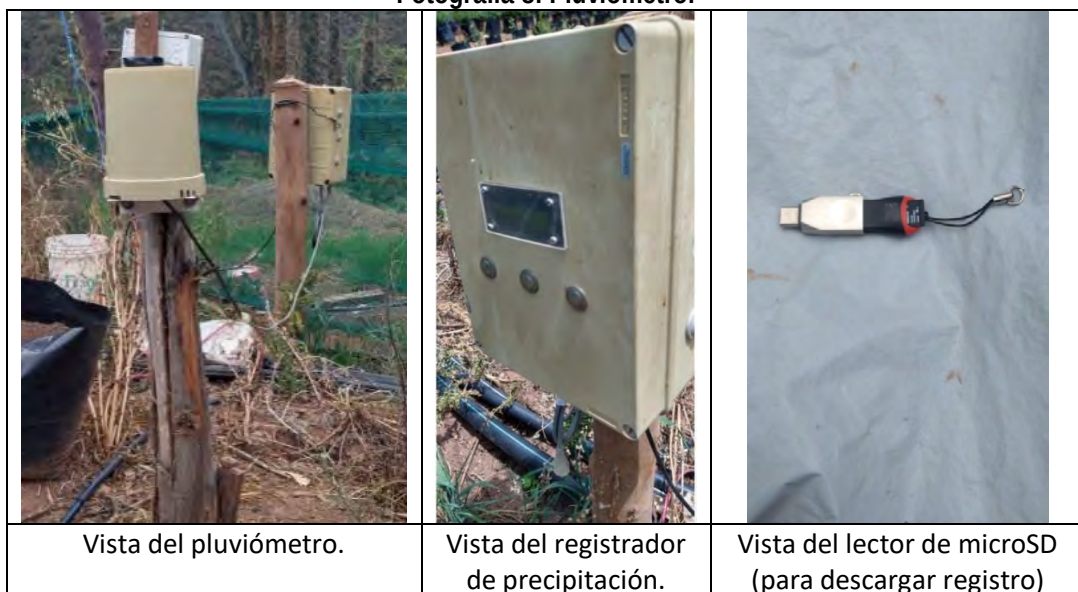


Fuente: Elaboración propia.

4.7.6.6. El Pluviómetro.

Se trata de un sensor de lluvia el cual está conectado a un registrador de datos de modo que la precipitación puede ser almacenada y leída posteriormente para su análisis y así determinar la huella hídrica verde.

Fotografía 8: Pluviómetro.



Fuente: Elaboración propia.

4.8. DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA.

Para la huella hídrica nos basamos en la metodología de (Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 18), indicamos que las definiciones que usa este autor van en concordancia con las definiciones de (Hoekstra, 2011) creador del concepto de huella hídrica.

4.8.1. Huella Hídrica Azul (H azul)

La huella hídrica azul, es un indicador respecto al uso de aguas superficiales o subterráneas (Osorio U. & Alfonso (ed), 2013), es decir, “uso consuntivo del agua”, y se calcula como:

$$H_{azul} = \frac{Agua\ aplicada(m3)}{Rendimiento(tn)}$$

(Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24)

4.8.2. Huella Hídrica Verde (H verde).

La huella hídrica verde corresponde a la fracción de la precipitación que se retiene en el suelo, pudiendo permanecer temporalmente en la capa superior del mismo o en la vegetación. Esta porción de la lluvia se considera como la precipitación efectiva, y la huella hídrica verde se refiere al volumen de esta agua de lluvia utilizada en actividades agrícolas o industriales (Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 18).

$$H_{verde} = \frac{Precipitación\ efectiva\ (m3)}{Rendimiento(tn)}$$

(Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24)

4.8.3. Huella Hídrica Gris (H gris)

Prosiguiendo con la huella hídrica gris, se trata de es un indicador de contaminación, su definición se entiende como el agua dulce que se requiere para diluir la carga de los contaminantes y llevar a los niveles de estándares

de calidad acordados, los contaminantes son específicamente la fertilización nitrogenada, usa también como parámetros, el factor de lixiviación de la fertilización y la concentración máxima de contaminante permitido en el acuífero (Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 18).

$$H_{gris} = \frac{\text{Fertilización} \left(\frac{kg}{ha} \right) \times \text{factor de lixiviación}}{\frac{\text{Concentración Máxima Permitida (mg/l)}}{\text{Rendimiento (tn)}}}$$

(Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24)

4.9. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

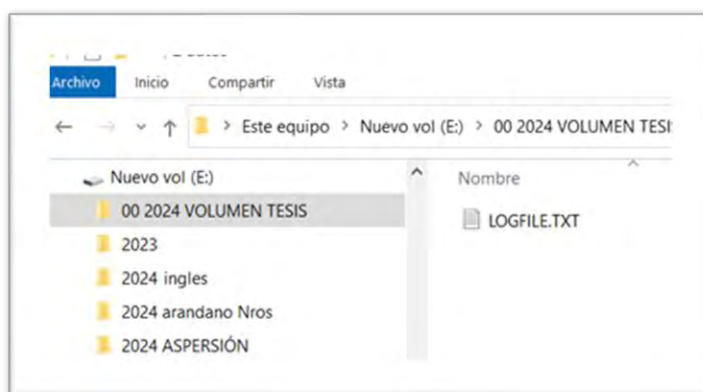
De acuerdo a (Hernández Sampieri & et al., 2014, pág. 14), puede haber múltiples técnicas de recolección de datos, pudiendo ser usados para lo que es investigación cuantitativa: Cuestionarios cerrados, registros estadísticos, aparatos de precisión, registros de datos estadísticos, etc.

Para la presente investigación se usaron principalmente aparatos de medición como balanzas de precisión, registradores electrónicos de precipitación y caudalímetros principalmente.

4.9.1. Datos de precipitación.

Los datos de precipitación se encuentran en el registrador de datos del Pluviómetro. La campaña del cultivo experimentado inicia en agosto del 2023 hasta julio del 2024, para acceder a los datos de precipitación se apaga el registrador de datos, se extrae el microSD, y con un lector de microSD, se copia el archivo de registro (LOGFILE.TXT) a un computador.

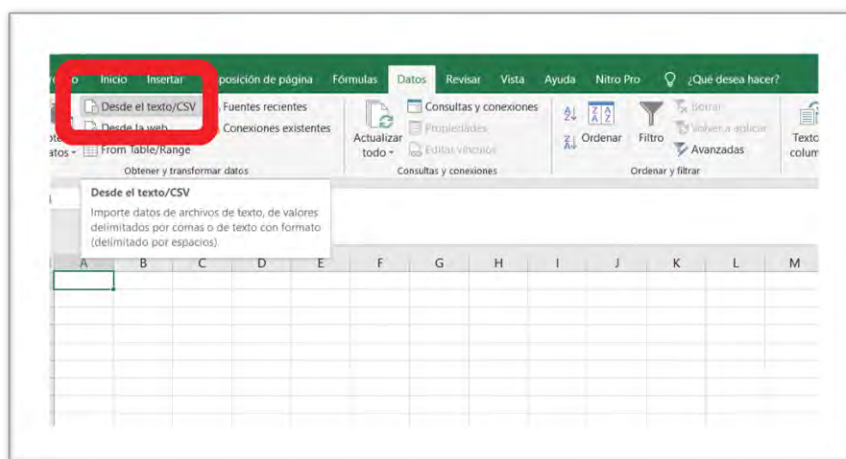
Figura 10: Recolección de datos de precipitación.



Vista del archivo de datos de precipitación.

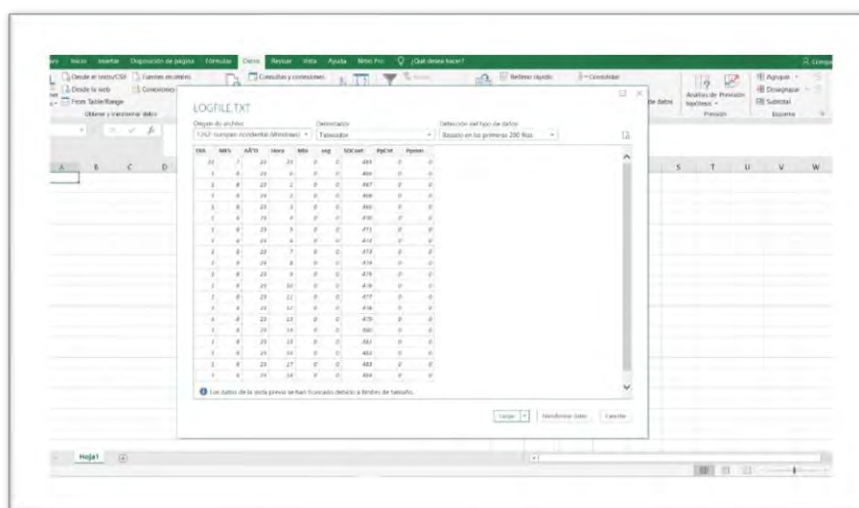
Para analizar los datos, se tiene que abrir en formato de Microsoft Excel.

Figura 11: Recuperación de datos de precipitación en Excel.



En el campo “Datos”, opción “Desde el texto /CSV”.

Figura 12: Previsualización de los datos de precipitación en Excel.



Procedimiento para abrir los datos en Microsoft Excel.

Figura 13: Apertura de datos en Excel.

	E	F	G	H	I	J	K
1	DIA	MES	AÑO	Hora	Min	seg	Ppmm
113	31	7	24	16	0	0	557.5
114	31	7	24	17	0	0	557.5
115	31	7	24	18	0	0	557.5
116	31	7	24	19	0	0	557.5
117	31	7	24	20	0	0	557.5
118	31	7	24	21	0	0	557.5
119	31	7	24	22	0	0	557.5
120	31	7	24	23	0	0	557.5
121	1	8	24	0	0	0	557.5
122	1	8	24	1	0	0	557.5
123	1	8	24	2	0	0	557.5
124	1	8	24	3	0	0	557.5
125	1	8	24	4	0	0	557.5
126	1	8	24	5	0	0	557.5
127	1	8	24	6	0	0	557.5
128	1	8	24	7	0	0	557.5
129	1	8	24	8	0	0	557.5
130	1	8	24	9	0	0	557.5
131	1	8	24	10	0	0	557.5
132	1	8	24	11	0	0	557.5
133	1	8	24	12	0	0	557.5

Vista de los datos del registro de datos de precipitación en Microsoft Excel.

Donde “**Ppmm**”, corresponde al registro de precipitación.

4.9.2. Recolección de datos de producción de arándano.

La información correspondiente a la producción de arándano por hectárea se obtiene mediante la medición la producción de arándano por unidad de análisis del campo experimental, para lo cual se pesa la producción de arándano y se lleva a Kg/ha. La recolección de los datos se realiza de manera manual, registrando los pesos de la producción de los tres tratamientos.

Fotografía 9: Vista de la instalación del campo experimental.



16/03/2024 Vista del campo experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 10: Pesado de primera cosecha.



20/03/2024 Cosecha para pesado.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 11: Imágenes comparativas de la producción de arándano.



Fecha 08/05/2024 Bloque I, tratamientos A, B y C.



Fecha 08/05/2024 Bloque II, tratamientos A, B y C.



Fecha 08/05/2024 Bloque III, tratamientos A, B y C.

4.9.3. Volumen de agua aplicada.

Como fuente hídrica para el cultivo se tiene el agua de riego aplicado bajo tres niveles de dotación del recurso hídrico que es la variable independiente del presente trabajo de investigación y la cantidad aplicada se mide mediante caudalímetros instalados para cada tratamiento.

Para medir el agua aplicada se recurre a caudalímetros por tratamiento y en un periodo de 01 año:

Cuadro 16: Agua aplicada para los tratamientos A, B y C.

Descripción	A	B	C
Litros por planta/año	Caudalímetro A	Caudalímetro B	Caudalímetro C

De donde para una hectárea con 5000 plantas resulta:

Cuadro 17: Agua aplicada para los tratamientos (m³/ha/año)

Descripción	A	B	C
m ³ /ha/año	Caudalímetro A x 5000	Caudalímetro B x 5000	Caudalímetro C x 5000

4.9.4. Fertilizante nitrogenado aplicado.

Para el cálculo de huella hídrica gris, se requiere de la información de fertilización nitrogenada aplicada, para la fertilización nitrogenada.

4.10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Para análisis de datos en este caso cuantitativos según (Hernández Sampieri & et al., 2014, pág. 271) se realiza mediante estadística inferencial correspondiente, siguiendo un procedimiento que consta de sus respectivas fases que principalmente son: 1) Selección de paquete estadístico, 2) Ejecución del programa, 3) Evaluación de la confiabilidad de los instrumentos, 4)

realización del análisis estadístico inferencial para lo cual tomaremos en cuenta la hipótesis planteada. 5) Preparación de los resultados para su presentación.

4.10.1. Paquete estadístico.

Para la investigación, el paquete estadístico seleccionado es el RStudio versión 2024.09.0.

4.10.2. Ejecución del programa estadístico.

Durante la ejecución del programa, se cuenta con el Script Editor donde se escriben los comandos a ejecutar y los resultados seguidamente se muestran en el panel “Console” y los resultados gráficos se muestran en el panel “Plots”.

4.10.2.1. Comando de ejecución en RStudio.

Figura 14: Captura de imagen del entorno Script del RStudio.

```
##https://www.youtube.com/watch?v=V1EEwFiztNk&list=WL&index=54
##ANALISIS DE RENDIMIENTO DE ARANDANOS CON TRES NIVELES DE RIEGO.
install.packages("car")
install.packages("agricolae")
install.packages("reshape")
library(car)
library(agricolae)
library(reshape)
library(readxl)

##CARGAS BASE DE DATOS
datos=read_excel("DBCADData.xlsx")
View(datos)
attach(datos)
## GRAFICA EXPLORATORIA
boxplot(split(RENDIMIENTO,TRATAMIENTO),xlab="Tratamientos",ylab="Rendimiento")

f_t=factor(TRATAMIENTO)
f_b=factor(BLOQUE)
##MODELO MATEMATICO
modelo=lm(RENDIMIENTO~(f_t+f_b))
summary(modelo)
anova=aov(modelo)
summary(anova)
```

4.10.2.2. Normalidad y homocedasticidad.

Se realiza mediante los siguientes comandos de RStudio.

Figura 15: Comandos en RStudio para Normalidad y Homocedasticidad.

```
# GRAFICA DE NORMAL QQ
qqnorm(modelo$residuals,main="Supuesto de normalidad, grafica Q-Q de residuos")
qqline(modelo$residuals,col="red")

##ANALISIS RESIDUAL (VERIFICACION DE SUPUESTOS)
##Normalidad {Mayor a 0.05 datos provienen de distribucion normal.}
normalidad_r=shapiro.test(RENDIMIENTO) ##
print(normalidad_r) ##

##Normalidad del modelo
normalidad=shapiro.test(resid(modelo))
print(normalidad)

##Residual
residual=data.frame(resid(modelo),f_t,f_b)
print(residual)

##Homocedasticidad
## Homogeneidad de varianza
bartlett.test(RENDIMIENTO~TRATAMIENTO) ## Mayor a 0.05, se cumple el supuesto

homocedasticidad_t=bartlett.test(resid(modelo)~TRATAMIENTO)
print(homocedasticidad_t)
homocedasticidad_b=bartlett.test(resid(modelo)~BLOQUE)
print(homocedasticidad_b)
```

Resultados:

Figura 16: Normalidad gráfica.

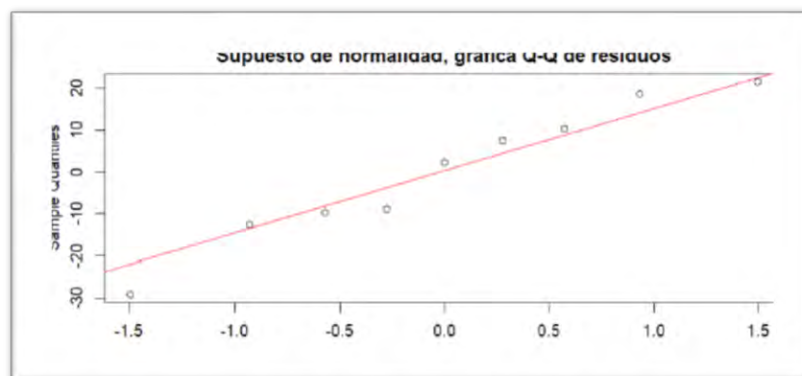


Figura 17: Prueba de normalidad de Shapiro.

```
shapiro-wilk normality test
data:  RENDIMIENTO
W = 0.93195, p-value = 0.5001

shapiro-wilk normality test
data:  resid(modelo)
W = 0.95739, p-value = 0.7706
```

Figura 18: Comandos y resultados de Homocedasticidad en RStudio.

```
> ##Homocedasticidad
> ## Homogeneidad de varianza
> bartlett.test(RENDIMIENTO~TRATAMIENTO)  ## Mayor a 0.05, se cumple
1 supuesto
Bartlett test of homogeneity of variances
data:  RENDIMIENTO by TRATAMIENTO
Bartlett's K-squared = 0.1701, df = 2, p-value = 0.9185

> homocedasticidad_t=bartlett.test(resid(modelo)~TRATAMIENTO)
> print(homocedasticidad_t)
Bartlett test of homogeneity of variances
data:  resid(modelo) by TRATAMIENTO
Bartlett's K-squared = 1.5668, df = 2, p-value = 0.4569

> homocedasticidad_b=bartlett.test(resid(modelo)~BLOQUE)
> print(homocedasticidad_b)
Bartlett test of homogeneity of variances
data:  resid(modelo) by BLOQUE
Bartlett's K-squared = 1.0737, df = 2, p-value = 0.5846
```

4.10.3. Confiabilidad de los instrumentos.

Los instrumentos fundamentales utilizados para medir son: Pluviómetro, para medir la precipitación. Caudalímetro para medir volumen de agua aplicado a cada tratamiento. Balanza, para medir el rendimiento del cultivo.

4.10.3.1. Pluviómetro.

El pluviómetro se usa para medir la precipitación pluvial, dato que es necesario saber para obtener la huella hídrica verde.

Fotografía 12: Medición del diámetro del pluviómetro.



De donde se tienen los datos:

Cuadro 18: Prueba del pluviómetro.

Detección	Vol (ml)
2	9.8
4	19.8
6	29.6
8	39.2
10	48.8
12	58.2

$$r=0.99$$

$$\text{Vol(ml) promedio}=4.85$$

De donde:

Detección: La precipitación detectada por el pluviómetro.

Vol (ml): La cantidad de agua de prueba aplicada en mili litros.

r: Coeficiente de correlación de Pearson.

La precipitación:

Cuadro 19: Cálculo de precipitación.

Área de Pluviómetro	Volumen aplicado	Precipitación en (m)
$Area(m2) = \pi \cdot D^2 / 4$	$Vol(m3)$	$h(m) = \frac{Vol(m3)}{Area(m2)}$
$Area(m2) = \pi \cdot \frac{0.11105^2}{4}$	$Vol(m3) = \frac{4.85}{1000000}$	$h(m) = 0.000500743$

Expresado en mm: $h(mm) = 0.5007$

4.10.3.2. Caudalímetro.

El caudalímetro mide el volumen de agua por unidad de tiempo, y se usa en la presente investigación, para medir el agua aplicada al cultivo, lo cual permitirá determinar la huella hídrica azul. Para cada tratamiento corresponde un caudalímetro cuyos datos de campo para verificar su funcionamiento son:

Cuadro 20: Datos de verificación del caudalímetro.

Tratamiento A		Tratamiento B		Tratamiento C	
T(min)	Vol(L)	T(min)	Vol(L)	T(min)	Vol(L)
10	68.800	10	72.200	10	71.400
15	107.100	15	111.500	15	111.900
120	799.700	160	1121.000	200	1380.400
r=0.99998		r= 0.999993117		r= 0.999991517	

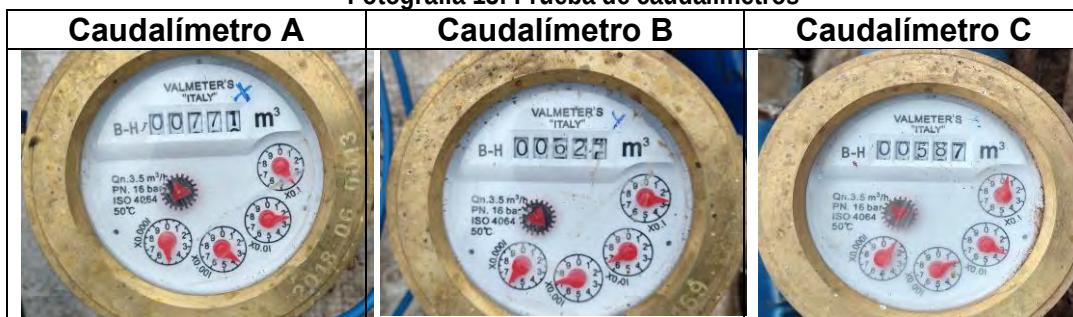
Donde:

T(min). – Tiempo de riego.

Vol (L). – Volumen de agua medida en litros.

r.- Coeficiente de correlación de Pearson.

Fotografía 13: Prueba de caudalímetros



4.11. TÉCNICAS PARA DEMOSTRAR DE LA VERACIDAD O FALSEDAD DE LA HIPÓTESIS DE LA HIPÓTESIS PLANTEADA.

Respecto a la huella hídrica y a la hipótesis general del planteamiento del problema, vemos que el empleo de riego por goteo y el uso de sensores de humedad para medir la humedad del suelo, en conjunto permitieron determinar la huella hídrica total para cada tratamiento del cultivo experimentado.

Para los datos de tratamientos y su efecto en la producción de arándanos, prosiguiendo con el uso del RStudio, primeramente, se verifica el modelo mediante el análisis gráfico de la normalidad residual, prueba cuantitativa de la normalidad residual también la prueba de igualdad de varianzas (homocedasticidad).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1.1. PROCESAMIENTO, DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO.

El pesado de la producción se realizó en 4 fechas, siendo: 20/03/2024 primera, 14/04/2024 segunda, 07/05/2024 tercera, 02/06/2024 cuarta cosecha, esto debido a que la producción de arándano por planta no es uniforme, es decir, no todas las plantas producen a la misma vez, algunas plantas adelantan su producción y otras se atrasan, por lo que cada cosecha se registró y finalmente se totalizó los datos, luego del cual se promedia entre el número total de plantas obteniéndose así la producción por planta en gramos. En cada bloque de 03 hileras por tratamiento y en cada hilera 11 plantas, a continuación, se muestra el cuadro de resultados de rendimiento por planta de cada hilera:

Cuadro 22: Rendimiento por hilera (g/planta).

I	159.60	150.00	205.20	210.00	165.60	222.00	206.40	171.60	230.40
II	268.80	278.40	309.60	246.00	283.20	248.40	261.60	303.60	234.00
III	271.20	290.40	280.80	319.20	326.40	294.00	231.60	198.00	196.80

Los colores en cada bloque denotan los tratamientos A, B y C, seguidamente se promedia y se obtiene:

Cuadro 23: Rendimiento(g/planta).

I	171.6	199.2	202.8
II	285.6	259.2	266.4
III	280.8	313.2	208.8

Cuadro 24: Rendimiento (kg/ha).

I	858.00	996.00	1014.00
II	1428.00	1296.00	1332.00
III	1404.00	1566.00	1044.00

Cuadro 25: Datos de entrada DBCA (g/planta).

	A	B	C
I	171.6	199.2	202.8
II	259.2	266.4	285.6
III	208.8	280.8	313.2

Cuadro 26: Rendimiento (tn/ha)

	A	B	C
I	0.858	0.996	1.014
II	1.296	1.332	1.428
III	1.044	1.404	1.566

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.1. Determinación de la huella hídrica azul (H azul).

De la lectura de los datos de los caudalímetros del 01 de agosto del 2023 al 06 de agosto del 2024 se tiene:

Cuadro 27: Resumen de agua aplicada (m³/ha).

Descripción	A	B	C
Litros por planta/año	774.286	846.084	915.581
Dotación de agua (m ³ /ha/año)	3485.67	3777.01	4076.89

Usando la ecuación:

$$H_{azul} = \frac{Agua\ aplicada(m^3)}{Rendimiento(tn)}$$

(Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24)

Cuadro 28: Resultado de huella hídrica azul (m³/tn).

H azul (m ³ /tn)	A	B	C
I	4062.6	3792.2	4020.6
II	2689.5	2835.5	2854.9
III	3338.7	2690.1	2603.3

5.1.1.2. Determinación de la huella hídrica verde (H verde).

Para lo cual previamente necesitamos la precipitación efectiva anual por lo que, de los datos de precipitación, haciendo uso de la ecuación siguiente de la (FAO, 2000) se obtiene la precipitación efectiva.

$$Pe = 0.8 \times PP - 25 \quad \text{si } PP > 75 \text{ mm/mes}$$

$$Pe = 0.6 \times PP - 10 \quad \text{si } PP < 75 \text{ mm/mes (FAO, 2000)}$$

Del registro de datos de precipitación conformamos el siguiente resumen:

Cuadro 29: Cálculo de la precipitación efectiva.

Fecha	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación mensual (mm/mes)	Pe (mm/mes)
31/08/2023	0	0	0
30/09/2023	11.5	11.5	0
31/10/2023	44.5	33	9.8
30/11/2023	127.5	83	41.4
31/12/2023	186.2	58.7	25.22
31/01/2024	291.5	105.3	59.24
29/02/2024	393.5	102	56.6
31/03/2024	511.5	118	69.4
30/04/2024	531	19.5	1.7
31/05/2024	552.5	21.5	2.9
30/06/2024	557.5	5	0
31/07/2024	557.5	0	0
			266.26

Fuente: Elaboración propia.

La precipitación efectiva resulta:

$$Pe=266.26\text{mm/año},$$

expresado en m³, resulta: $Pe=2662.6 \text{ m}^3/\text{año}/\text{ha}$.

De esta precipitación no todo fue aprovechado por la planta sino solamente lo que logró ingresar a los contenedores para lo cual se considera el área del contenedor el cual cuenta con un área de 0.0836 m². Por lo que para una planta:

2662.6m ³ /año	---	10000 m ²
X m ³ /año	---	0.0836 m ²

$$X= 0.022259 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$X= 22.259 \text{ L/año/planta}$$

Con una densidad de 5000 plantas por hectárea, resulta que la precipitación por hectárea de arándanos es de:

$$\text{Precipitación/ha} = 22.259 \times 5000$$

$$\text{Precipitación/ha} = 111.296 \text{ L/ha/año}$$

$$\text{Precipitación/ha} = 0.111 \text{ m}^3/\text{ha/año}$$

Cuadro 30: Rendimiento (tn/ha).

	A	B	C
I	0.858	0.996	1.014
II	1.296	1.332	1.428
III	1.044	1.404	1.566

Usando la ecuación para Hverde:

$$H_{verde} = \frac{\text{Precipitación efectiva (m}^3\text{)}}{\text{Rendimiento (tn)}}$$

(Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24)

Cuadro 31: Resultados de la huella hídrica verde (m³/tn).

Hverde (m ³ /tn)	A	B	C
I	0.129	0.111	0.109
II	0.086	0.083	0.078
III	0.106	0.079	0.071

5.1.1.3. Determinación de la huella hídrica gris.

Según (Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24), está definido por:

$$H_{gris} = \frac{\frac{\text{Fertilización} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) \times \text{factor de lixiviación}}{\text{Concentración Máxima Permitida (mg/l)}}}{\text{Rendimiento (tn)}}$$

(Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24)

Además, (Osorio U. & Alfonso (ed), 2013, pág. 24) para el nitrógeno considera factor de lixiviación igual a 10%, en la concentración máxima permitida de 10mg/L. Del registro de fertilización nitrogenada se utilizó Fosfato Mono Amónico

(MAP) y en el calcio aplicado también se aplicó nitrógeno en forma de Nitrato, para un nivel de fertilización nitrogenada estimado como sigue:

Cuadro 32: Total de fertilizante nitrogenado aplicado.

MAP (kg)	Nitrato de calcio (Kg)
13.394	0.890

Siendo la ley del Fosfato Mono Amónico: N 12%, P 61%, K 0%

Siendo la ley del Nitrato de calcio: N 15% Ca 26%

$$\text{Nitrógeno (kg)} = 12\% (13.394) + 15\% (0.89)$$

$$\text{Nitrógeno (kg)} = 1.60728\text{Kg} + 0.1335$$

$$\text{Nitrógeno (kg)} = 1.60728\text{Kg} + 0.1335$$

$$\text{Nitrógeno(kg)} = 1.74078$$

$$\text{Nitrógeno(g/planta)} = 5.63$$

$$\text{Nitrógeno (kg/ha)} = 28.16$$

De los datos de rendimiento del arándano:

Cuadro 33: Rendimiento (tn/ha).

	A	B	C
I	0.858	0.996	1.014
II	1.296	1.332	1.428
III	1.044	1.404	1.566

Cuadro 34: Resultados de la huella hídrica gris (m3/tn).

Hgris (m3/tn)	A	B	C
I	328.2	282.7	277.7
II	217.3	211.4	197.2
III	269.7	200.6	179.8

5.1.1.4. Determinación de la huella hídrica Total.

Para lo cual totalizamos los resultados anteriores.

$$\text{Huella hídrica Total} = \text{Huella hídrica azul} + \text{Huella hídrica verde} + \text{Huella hídrica gris}$$

Huella hídrica azul (m³/tn)

Hazul (m³/tn)	A	B	C
I	4062.6	3792.2	4020.6
II	2689.5	2835.5	2854.9
III	3338.7	2690.1	2603.3

Huella hídrica verde (m³/tn)

Hverde (m³/tn)	A	B	C
I	0.129	0.111	0.109
II	0.086	0.083	0.078
III	0.106	0.079	0.071

Huella hídrica gris (m³/tn)

Hgris (m³/tn)	A	B	C
I	328.2	282.7	277.7
II	217.3	211.4	197.2
III	269.7	200.6	179.8

Cuadro 35: Resultado de huella totalizada (m³/tn).

HH total	A	B	C
I	4390.9	4075.0	4298.4
II	2906.9	3047.1	3052.2
III	3608.6	2890.8	2783.3

La huella hídrica totalizada, es la suma de la huella hídrica azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris.

5.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De los resultados obtenidos que se muestra a continuación.

Huella hídrica (m ³ /tn)				
m ³ /tn	A	B	C	$\bar{Y}$
I	4390.9	4075.0	4298.4	4254.8
II	2906.9	3047.1	3052.2	3002.1
III	3608.6	2890.8	2783.3	3094.2

El promedio de los resultados por bloque se muestra a lado derecho de la tabla, de modo que podemos analizar estos resultados de huella hídrica.

La huella hídrica es la suma de las tres huellas hídricas previas, es decir la Huella hídrica azul, huella hídrica verde y la huella hídrica gris, de donde se puede apreciar que la huella hídrica verde respecto a la huella hídrica azul y la huella hídrica gris, es inferior por mucho, su valor no es determinante en el resultado de la huella hídrica total.

5.1.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Respecto a resultados a nivel internacional contamos con datos del ministerio de agricultura de Chile (Ministerio de Agricultura Chile, 2012), en el que se indica una huella hídrica para berries específicamente arándanos y frambuesa, mostrando como resultado de huella hídrica un valor de 1350.00 m³/tn aproximadamente, vale indicar que en Chile las variedades de arándano utilizadas son caducifolias, es decir, que entrando a invierno entra en dormancia, mientras que en el Perú los arándanos no son. Respecto a resultados a nivel nacional, específicamente trabajos de huella hídrica en arándanos no se encontraron, aunque sí fue posible encontrar trabajo de tesis respecto a

requerimiento hídrico del cultivo de arándano variedad Ventura como el de (Custodio Llontop, 2024) con un valor de 15 175.00 m³/ha. Respecto a resultados de huella hídrica en nuestra localidad, no hay antecedentes que permitan la comparación de resultados. Los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo de investigación fueron: En el tratamiento A y bloques I, II y III arrojó valores de 4390.90 m³/tn, 2906.9 m³/tn y 3608.6 m³/tn respectivamente; En el tratamiento B y bloques I, II y III arrojó valores de 4075.0 m³/tn, 3047.1 m³/tn y 2890.8 m³/tn respectivamente; En el tratamiento C y bloques I, II y III arrojó valores de 4298.4 m³/tn, 3052.2 m³/tn y 2783.3 m³/tn respectivamente; Promediando los datos resulta 3450.4 m³/tn.

5.2. PRUEBAS DE HIPÓTESIS.

De la hipótesis general del planteamiento del problema, se verifica que el uso del sistema de riego por goteo, medición de la humedad con sensores, medición de la dotación de agua con caudalímetros, medición de la precipitación anual y de la medición de fertilizantes nitrogenados aplicados, permitieron determinar la huella hídrica para el cultivo de arándano. Por otra parte respecto a los tratamientos experimentados y su efecto en el rendimiento de la producción de arándanos, no presentaron diferencia significativa en cuanto al rendimiento por planta, es decir los diferentes niveles de dotación de agua mediante cada tratamiento, no generaron diferencia significativa en el rendimiento de la producción de arándano del presente experimento, respecto a los bloques sí hubo diferencia significativa, de tal modo que estadísticamente los rendimientos del bloque II y III son estadísticamente similares respecto el rendimiento obtenido en el bloque I.

5.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Huella hídrica (m³/tn)

Huella hídrica	A	B	C	$\bar{Y}$
I	4390.9	4075.0	4298.4	4254.8
II	2906.9	3047.1	3052.2	3002.1
III	3608.6	2890.8	2783.3	3094.2

Resultados ANOVA con software RStudio.

Fuente de variación	GL	SC	CM	FC	fo	S
F. Tratamiento	2	4521.92	2260.96	4.218	6.94	NS
F. Bloque	2	12117.4	6058.72	11.3	6.94	*
Error	4	2144.32	536.08			
Total	8	18783.7				

CV

9.53%

Donde:

F. Tratamiento, tratamientos A, B y C.

F. Bloque, bloques I, II y III.

* : Indica nivel de significancia.

Con $\alpha = 0.05$

Los tres niveles de aplicación de agua experimentados no arrojaron diferencia significativa, pero entre bloques sí hubo diferencia significativa en los resultados.

5.3.1. Pruebas de Tukey de rangos múltiples para factor tratamientos:

Comando en RStudio:

```
##TUKEY  
> prm_tukey_t=TukeyHSD(anova,"f_t",ordered = TRUE,conf.level = 0.95)
```

Resultado:

```
Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level  
factor levels have been ordered  
  
Fit: aov(formula = modelo)  
  
$f_t  
      diff      lwr      upr      p adj  
B-A 35.6 -31.77604 102.97604 0.2570897  
C-A 54.0 -13.37604 121.37604 0.0957134  
C-B 18.4 -48.97604  85.77604 0.6293498
```

De donde se infiere:

Según Tukey, no hay diferencia significativa entre los tratamientos y todos son homogéneos estadísticamente.

5.3.2. Pruebas de Tukey de rangos múltiples para factor bloques:

Comando en RStudio:

```
> prm_tukey_b=TukeyHSD(anova,"t_b",ordered = TRUE,conf.level = 0.95)
```

Resultado:

Cuadro 36: Resultados de prueba de Tukey, prueba de rangos múltiples.

Tukey multiple comparisons of means 95% family-wise confidence level factor levels have been ordered				
Fit: aov(formula = modelo)				
\$f_b	diff	lwr	upr	p adj
III-I	76.4	9.023957	143.77604	0.0335114
II-I	79.2	11.823957	146.57604	0.0297753
II-III	2.8	-64.576043	70.17604	0.9880151

Inferencia:

Según Tukey, para un valor de $p < 0.05$ que define significancia se tiene que sí hay diferencia significativa entre los bloques, específicamente en los bloques III – I y los bloques II-I. Mientras que entre los bloques II y III, no hay diferencia significativa, es decir, son homogéneos y superiores al bloque I en media,

Los resultados se interpretan de la siguiente manera:

Entre los rendimientos de los tratamientos A, B y C, no hay diferencia significativa entre tratamientos. Por otra parte, los rendimientos del bloque II y III pueden ser promediados debido a que no hay diferencia significativa entre estos bloques y el bloque I presenta significativamente un menor rendimiento.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

- La huella hídrica total resultó: Para el tratamiento A en los bloques I, II y III arrojó valores de 4390.90 m³/tn, 2906.9 m³/tn y 3608.6 m³/tn respectivamente, para el tratamiento B y bloques I, II y III arrojó valores de 4075.0 m³/tn, 3047.1 m³/tn y 2890.8 m³/tn respectivamente; y para el tratamiento C y bloques I, II y III arrojó valores de 4298.4 m³/tn, 3052.2 m³/tn y 2783.3 m³/tn respectivamente;
- La huella hídrica azul resultó: En el tratamiento A en los bloques I, II y III arrojó valores de 4062.6 m³/tn, 2689.6 m³/tn y 3338.8 m³/tn respectivamente, en el tratamiento B y bloques I, II y III arrojó valores de 3792.2 m³/tn, 2835.6 m³/tn y 2690.2 m³/tn respectivamente; y en el tratamiento C y bloques I, II y III arrojó valores de 4020.6 m³/tn, 2855.0 m³/tn y 2603.4 m³/tn respectivamente.
- La huella hídrica verde resultó: En el tratamiento A en los bloques I, II y III arrojó valores de 0.129 m³/tn, 0.086 m³/tn y 0.106 m³/tn respectivamente, en el tratamiento B y bloques I, II y III arrojó valores de 0.111 m³/tn, 0.083 m³/tn y 0.079 m³/tn respectivamente; y en el tratamiento C y bloques I, II y III arrojó valores de 0.109 m³/tn, 0.078 m³/tn y 0.071 m³/tn respectivamente. La huella hídrica gris resultó: En el tratamiento A en los bloques I, II y III arrojó valores de 328.2 m³/tn, 217.3 m³/tn y 269.7 m³/tn respectivamente, en el tratamiento B y bloques I, II y III arrojó valores de 282.7 m³/tn, 211.4 m³/tn y 200.6 m³/tn respectivamente; y en el tratamiento C y bloques I, II y III arrojó valores de 277.7 m³/tn, 197.2 m³/tn y 179.8 m³/tn respectivamente.
- El rendimiento del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en tn/ha, resultante fue de: En el tratamiento A en los bloques I, II y III arrojó valores de 0.858 tn/ha, 1.296 tn/ha y 1.044 tn/ha respectivamente, en el tratamiento B y bloques I, II y III arrojó valores de 0.996 tn/ha, 1.332 tn/ha y 1.404 tn/ha respectivamente; y en el tratamiento C y bloques I, II y III arrojó valores de 1.014 tn/ha, 1.428 tn/ha y 1.566 tn/ha respectivamente.

Recomendaciones.

- En trabajos posteriores de huella hídrica, tomar en cuenta que la huella hídrica gris y la huella hídrica verde, no resultan de gran magnitud respecto a la huella hídrica azul para las condiciones climatológicas del experimento.
- Respecto la huella hídrica azul es influenciada en gran medida por el rendimiento del cultivo, bajos rendimientos significan una mayor magnitud de huella hídrica azul tomar en cuenta este aspecto.
- En futuras investigaciones que se pudieran dar sobre huella hídrica verde y gris, se recomienda obviar la magnitud de la huella hídrica verde debido a que su valor resulta muy ínfimo respecto al valor de la huella hídrica azul.
- Respecto al rendimiento del cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), se recomienda probar con otras variedades de arándano como puede ser la variedad Emerald por ejemplo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANA. (2024). *www.ana.gob.pe*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/urubamba/%C3%81mbito>: <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/urubamba/%C3%81mbito>
2. Arándanos peru. (14 de Enero de 2022). <https://arandanosperu.pe/>. Obtenido de <https://arandanosperu.pe/2022/01/14/peru-tiene-el-proyecto-de-arandanos-en-sierra-bajo-invernadero-mas-grande-del-mundo/>
3. Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación Introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme. Obtenido de <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
4. Berlijn, J. D. (2006). *Riego y Drenaje*. Mexico D. F.: Trillas S. A.
5. Bernardo, S. (1995). *Manual de irrigacion* (Sexta ed.). Minas Gerais - Brasil: Universidad Federal de Vicosa.
6. Bohorquez, J. M., & Ruiz, N. (15 de Abril de 2011). *Evaluaciones del riego localizado para conseguir un manejo uniforme y eficiente del agua*. Recuperado el 31 de Agosto de 2016, de http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Vrural%2FVrural_2011_327_46_51.pdf
7. Campbell, C. S. (2014). *Decagon Brasil*. Recuperado el 13 de 09 de 2016, de Water Content Measurement Methods and Field Applications: <http://www.decagon.com.br/assets/Virtual-Seminar-Slides/03252010.pdf>
8. Campbell, C. S. (2014). *Decagon Brasil*. Recuperado el 13 de 09 de 2016, de Dielectric Soil Moisture Measurement: <http://www.iai.ga.a-u-tokyo.ac.jp/mizo/seminar/colin.pdf>
9. Canga, J. L. (11 de 05 de 2015). <https://agua.org.mx/>. Obtenido de <https://agua.org.mx/> : https://agua.org.mx/wp-content/uploads/filespdf/doc_pdf_41550.pdf

10. Canto, C. (09 de SETIEMBRE de 2016). *AUTOMATIZACIÓN CONCEPTOS GENERALES*. Recuperado el 11 de SETIEMBRE de 2016, de UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS DE POTOSI: http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/3_AUTOMATIZACION_GENERAL.PDF
11. Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje* (Primera ed.). San Luis Potosí - México: Publicado por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
12. Custodio Llontop, D. M. (2024). *FERTIRRIEGO EN ARÁNDANO (Vaccinium corymbosum L) cv. VENTURA CULTIVADO EN SUELO, BAJO CONDICIONES DEL PROYECTO OLMOS - REGIÓN LAMBAYEQUE*. Recuperado el 25 de 01 de 2024, de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f367b288-d580-4939-8f4f-f7767f5749f4/content>
13. Donoso, G. (2013). La huella hídrica agrícola de Chile. (P. U. Forestal, Ed.) *Agronomía y forestal*, 11. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/d7187845-ef06-4709-9c5a-e8044dc7f7c7/content>
14. FAO. (2000). Manual de Captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina. Santiago, Chile. Obtenido de <https://www.fao.org/4/ai128s/ai128s00.pdf>
15. FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma - Italia: Estudio FAO Riego y drenaje.
16. FAO. (04 de 2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Santiago, Chile. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
17. FAO, & Brower, C. (1986). Obtenido de <https://www.fao.org/4/s2022e/s2022e00.htm#Contents>
18. Funcagua - Guatemala. (2024). *Funcagua*. Obtenido de <https://funcagua.org.gt/agua-en-el-planeta/>

19. Gurovich, L. A. (1999). *Riego superficial tecnificado*. México D. F.: Alfaomega.
20. Hernández Sampieri, R., & et al. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México D.F., México: McGRAW-HILL.
21. Hoekstra, A. (2011). <https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/>. Recuperado el 26 de setiembre de 2024, de <https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/>: https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_English.pdf
22. INEI - Cusco. (2017). <https://www.inei.gob.pe>. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1493/libro.pdf
23. INIA-Chile. (2013). Determinación de la huella hídrica del agua y estrategias de manejo de recursos hidricos. La Serena, Chile. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/items/6c4b6d20-f771-40a8-b622-3404473c6d8f>
24. Lucas, F. J., & Alarcón, A. L. (2015). *Riego Localizado Subsuperficial ventajas e inconvenientes*. Recuperado el 07 de Julio de 2018, de www.infoagro.com: http://www.infoagro.com/riegos/riego_localizadoventajas_incovenientes.htm
25. Marciel Garcia, C. E. (01 de Abril de 2012). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/OmarHernandez48/capacitancia-13022160>
26. Martin de Santa Olalla, F. (1993). *Agronomía del Riego*. Madrid: Mundi Prensa.
27. Martinez Reyes, J. C. (23 de Febrero de 2012). *SlideShare*. Recuperado el 24 de 09 de 2016, de Sensores y Actuadores: <http://es.slideshare.net/ErendiraAvalosMorales/sensores-y-actuadores-11723590>

28. Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (12 de 2010). <https://www.waterfootprint.org/>. Obtenido de <https://www.waterfootprint.org/>: <https://www.waterfootprint.org/resources/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>
29. Mellado Bosque, J. A. (2016). <http://www.uaaan.mx/~jmelbos/>. Recuperado el 07 de Julio de 2018, de <http://www.uaaan.mx/~jmelbos/>: <http://www.uaaan.mx/~jmelbos/cursos/deapu1b.pdf>
30. Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Utah: Utah Uneversity.
31. Ministerio de Agricultura Chile. (2012). Huella hídrica del agro en Chile. (G. D. Franco., Ed.)
32. Morales A., C. G. (2017). <https://www.inia.cl/>. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/home>: <https://biblioteca.inia.cl/items/3198f4a3-2ebc-4756-842b-3da97570da77>
33. NaanDanJain. (01 de 04 de 2012). *Helitene*. Recuperado el 01 de 11 de 2015, de Amnon Drip PC CNL: http://www.helitene.pt/media/pt/NDJ_Drip_cat_spn_AmnonDrip.pdf
34. Osorio U. (ed), A. (2013). *Biblioteca INIA Chile*. INIA Chile, La Serena. Recuperado el 2024, de <https://biblioteca.inia.cl/items/6c4b6d20-f771-40a8-b622-3404473c6d8f>
35. Osorio U., & Alfonso (ed). (2013). <https://biblioteca.inia.cl/>. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/items/6c4b6d20-f771-40a8-b622-3404473c6d8f>
36. Pannunzio, A., Holzapfel, E., Fernández, A., Texeira, P., Souto, C., & Bryla, D. (2023). <https://www.scirp.org/index>. Obtenido de <https://www.scirp.org/index>: https://cdn.blueberriesconsulting.com/2023/06/Agricultural-Water-Footprint.pdf?utm_source
37. Perez Porto, J. (2008). *Definición de*. Recuperado el 12 de Septiembre de

2016, de Definición de Automatización:
<http://definicion.de/automatizacion/>

38. Puppo, L. (06 de 07 de 2015). *Calculo de lámina de riego* . Recuperado el 10 de 11 de 2015, de Canal MGAP: <https://www.youtube.com/watch?v=hs9edqD3eP8>
39. Rodriguez Marquina, R. R. (2021). <https://repositorio.upao.edu.pe>. (U. P. Orrego, Ed.) Recuperado el 10 de 10 de 2023, de <https://repositorio.upao.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/3beef882-2ff3-40a4-a3b5-31e40f07956b/content>
40. Rodríguez, C., Breña, J. L., & Esenarro, D. (2021). *Las variables en la metodología de la investigación científica*. (Ciencias, Ed.) Valencia, España: Área de innovación y desarrollo, S.L. doi:<https://doi.org/10.17993/IngyTec.2021.78>
41. Rogrigo Villar, G. (27 de Febrero de 2014). *slideshare*. Recuperado el 13 de 09 de 2016, de slideshare: <http://es.slideshare.net/LabFerrer/qu-debo-saber-antes-de-comprar-un-sensor-de-contenido-de-humedad-del-suelo>
42. Segura C., José C. (2000). Notas de diseños experimentales. Yucatán, México.
43. Sevilla, J. C. (01 de 02 de 2015). <https://www.gob.pe/ana>. Obtenido de <https://www.gob.pe/ana>:
https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/huella_hidrica.pdf?utm_source
44. Silva, A. (1988). Obtenido de https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/333060/mod_resource/content/2/Agua%20en%20el%20suelo.pdf
45. UGR. (2016). <http://www.ugr.es>. Recuperado el 07 de Julio de 2018, de <http://www.ugr.es/~bioestad/>:
http://www.ugr.es/~bioestad/_private/cpfund3.pdf
46. Uribe Sifuentes, H. (2013). *Biblioteca INIA Chile*. Obtenido de

<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/f11c49ff-76a9-45f3-8819-21c4013dd84b/content>

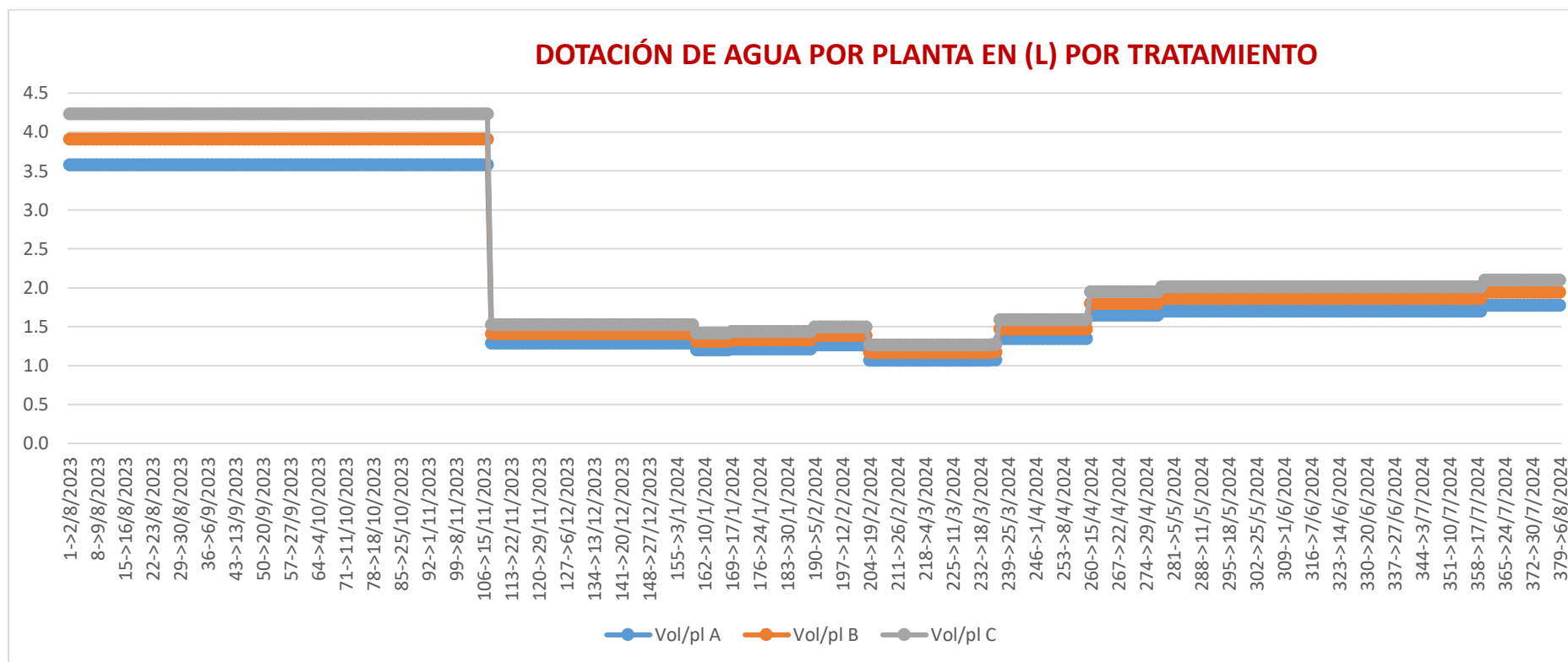
47. Villanueva Nava, S. A. (2021). <https://rinacional.tecnm.mx>. Obtenido de <https://rinacional.tecnm.mx>:
https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/4360/1/TESIS%20SALVADOR%20VILLANUEVA%20NAVA.pdf?utm_source
48. Villaroel Fuentes, D. I. (1981). *Antecedentes bibliográficos sobre diseño, evaluación y manejo de riego por surcos*. Concepción: Universidad de Concepción.
49. Villavicencio Poblete, A., Tapia Contreras, F., & Osorio Ulloa, A. (2013). <http://www.paltahass.cl>. Obtenido de DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DEL AGUA Y ESTRATEGIAS DE MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS: http://www.paltahass.cl/determinacion-huella-hidrica-inia_.pdf
50. Villegas L., L. A. (2021). *Repositorio UTA*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/home>:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34563/1/Tesis-303%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20Villegas%20Lozada%20Lissette%20Aracelly.pdf>

VII. ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

DETERMINACION DE LA HUELLA HIDRICA EN EL CULTIVO DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) MEDIANTE RIEGO LOCALIZADO SUB-SUPERFICIAL CON SENSORES DE HUMEDAD, EN EL DISTRITO CAICAY, PAUCARTAMBO, CUSCO.

PP	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADOR	METODOLOGÍA
PPG: ¿Cuál es la huella hídrica del cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) basado en un sistema de riego localizado por goteo usando sensores de humedad de suelo para la medición de la humedad?	OG: Determinar la huella hídrica del cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) basado en un sistema de riego localizado por goteo usando sensores de humedad de suelo para la medición de la humedad.	HG: El sistema de riego localizado por goteo experimentado usando sensores de humedad de suelo para la medición de la humedad, permitirá determinar en gran medida la huella hídrica del cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.).	V. INDEPENDIENTE: Riego localizado θv . V. DEPENDIENTE: Huella hídrica	% m3/tn	ENFOQUE INVESTIGACIÓN: CUANTITATIVA ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN: EXPLICATIVA, DESCRIPTIVA
PE1 ¿Cuál es la huella hídrica azul para el cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo?	OE1 Determinar la huella hídrica azul para el cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo.	HE1 La utilización de caudalímetros conectados al sistema de riego localizado por goteo, permitirá determinar la huella hídrica azul para el cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.).	V. INDEPENDIENTE: Riego localizado θv .; V. DEPENDIENTE: Huella hídrica azul.	% m3/tn	
PE2 ¿Cuál es la huella hídrica verde y gris para el cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo?	OE2 Determinar la huella hídrica verde y azul para el cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo.	HE2 Determinar la huella hídrica verde y azul para el cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo, se logrará calculando la cantidad de fertilizante nitrogenado y precipitación correspondientes.	V. INTERVINIENTE: Precipitación. Fertilización. V. DEPENDIENTE: Huella hídrica.	mm, L Kg/ha m3/tn	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: EXPERIMENTAL 03 TRATAMIENTOS, CON TRES REPETICIONES." UNIDAD DE ANALISIS
PE3 ¿Cuál es el rendimiento del cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo experimentado?	OE3 Determinar el rendimiento del cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo experimentado.	HE3 El rendimiento del cultivo de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) bajo el sistema de riego localizado por goteo experimentado presentará diferencias significativas.	V. INTERVINIENTE: Rendimiento. V. DEPENDIENTE: Huella hídrica.	tn/ha m3/tn	



INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Sistema de registro de precipitación: Pluviómetro registrado electrónicamente.



Pluviómetro.



Registrador.



Datos.

Imágenes del registrador de precipitación.

Archivo del sistema de registro.

*LOGFILE.TXT: Bloc de notas						
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda		
DIA	MES	AÑO	Hora	Min	seg	Ppmm
6	8	24	15	0	0	557.5
6	8	24	16	0	0	557.5
6	8	24	17	0	0	557.5
6	8	24	18	0	0	557.5
6	8	24	19	0	0	557.5
6	8	24	20	0	0	557.5
6	8	24	21	0	0	557.5
6	8	24	22	0	0	557.5
6	8	24	23	0	0	557.5
7	8	24	0	0	0	557.5
7	8	24	1	0	0	557.5
7	8	24	2	0	0	557.5
7	8	24	3	0	0	557.5
7	8	24	4	0	0	557.5
7	8	24	5	0	0	557.5
7	8	24	6	0	0	557.5
7	8	24	7	0	0	557.5
7	8	24	8	0	0	557.5
7	8	24	9	0	0	557.5
7	8	24	10	0	0	557.5
7	8	24	11	0	0	557.5
7	8	24	12	0	0	557.5
7	8	24	13	0	0	557.5
7	8	24	14	0	0	557.5
7	8	24	15	0	0	557.5
7	8	24	16	0	0	557.5
7	8	24	17	0	0	557.5
7	8	24	18	0	0	557.5
7	8	24	19	0	0	557.5
7	8	24	20	0	0	557.5
7	8	24	21	0	0	557.5
7	8	24	22	0	0	557.5
7	8	24	23	0	0	557.5
8	8	24	0	0	0	557.5
8	8	24	1	0	0	557.5
8	8	24	2	0	0	557.5
8	8	24	3	0	0	557.5
8	8	24	4	0	0	557.5
8	8	24	5	0	0	557.5
8	8	24	6	0	0	557.5
8	8	24	7	0	0	557.5
8	8	24	8	0	0	557.5
8	8	24	9	0	0	557.5
8	8	24	10	0	0	557.5
8	8	24	11	0	0	557.5
8	8	24	12	0	0	557.5
8	8	24	13	0	0	557.5
8	8	24	14	0	0	557.5

Línea 2, colum 100% Windows (CRLF) UTF-8

Vista de la plantilla de archivo de registro.

Instrumento de recolección de producción de arándanos en gramos (en blanco).

FECHA:					SUMA					SUMA					SUMA
III	B:					C:					A:				
II	C:					A:					B:				
I	A:					B:					C:				

Instrumento de recolección de producción de arándanos en gramos (con datos de campo).

FECHA:	20/03/2024	14/04/2024	07/05/2024	02/06/2024	SUMA	20/03/2024	14/04/2024	07/05/2024	02/06/2024	SUMA	20/03/2024	14/04/2024	07/05/2024	02/06/2024	SUMA			
III	B:	796	1696	3671	3103	=9266	C:	888	1892	4095	3461	=10336	A:	592	1261	2730	2307	=6890
II	C:	810	1725	3734	3156	=9425	A:	735	1566	3389	2864	=8554	B:	755	1609	3483	2944	=8791
I	A:	486	1037	2243	1896	=5663	B:	565	1203	2604	2201	=6574	C:	575	1225	2651	2241	=6692

Plantilla de datos de rendimiento por planta (g/planta)

III	B	280.8	C	313.2	A	208.8
II	C	285.6	A	259.2	B	266.4
I	A	171.6	B	199.2	C	202.8

Instrumento de recolección de agua aplicada.

Plantilla (an blanco)

<u>fecha</u>	x1000L	x100L	x10L	xL	xL/10	Lectura Actual	Agua aplicada
A							
B							
C							

Plantilla (con datos)

18/07/2024	x1000L	x100L	x10L	xL	xL/10	Lectura Actual	Agua aplicada
A	774	8	3	9	7	774839.70	---
B	628	4	1	7	3	628417.30	---
C	591	7	6	9	6	591769.60	--

Plantilla (con datos)

28/07/2024	x1000L	x100L	x10L	xL	xL/10	Lectura Actual	Agua aplicada
A	776	5	8	4	7	776584.70	1745.00
B	630	6	0	5	4	630605.40	2188.10
C	594	1	1	5	1	594115.10	2345.50

ANALISIS DE SUSTRATO.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- **APARTADO POSTAL**
N° 921 - Cusco - Peru
- **FAX:** 238156 - 238173 - 222512
- **RECTORADO**
Calle Tigne N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254098
- **CIUDAD UNIVERSITARIA**
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228601 - 222512 - 232970 - 232375 - 232226
- **CENTRAL TELEFÓNICA:** 232598 - 252210
243835 - 243836 - 243877 - 240638
- **LOCAL CENTRAL**
Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 225574 - 225721 - 224015
- **MUSEO INKA**
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- **CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA**
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277240
- **COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"**
Av. De la Cultura N° 721
"Estado Universitario" - Teléfono: 227192

FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA CENTRO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y ABONOS (CISA) LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS

TIPO DE ANALISIS : FERTILIDAD Y OTROS ANALISIS.

MUESTRA DE : SUSTRATO

PROCEDENCIA DE MUESTRA : QHANUPATA, CAICAY, PAUCARTAMBO - CUSCO

INSTITUCION SOLICITANTE : JULIO MANUEL CONCHA VARGAS.

ANALISIS DE FERTILIDAD :

N°	CLAVE	mmhos/c.c. C.E.	pH	% CaCO ₃	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	M. SUSTRATO	1.06	5.40	0.00	20.41	1.02	125.6	7.843

ANALISIS FISICO MECANICO :

N°	CLAVE	% H.E.	% C.C.	g/c.c. Da	g/c.c. Dr	% PMP	% POROSIDAD
01	M. SUSTRATO	98.83	88.10	0.72	1.87	0.00	61.49

CUSCO-KAYRA, 17 DE JUNIO DEL 2024.


 Ing. Agr. Arcadio Caldeón Choquechambi
 DIRECTOR

Fuente: Laboratorio de suelos FAZ K'AYRA.

MEDIOS DE VERIFICACIÓN.



16/03/2024 Vista del campo experimental.



12/04/2024 Vista del campo experimental.



20/03/2024 corresponde a plantas en producción Tratamiento A, Bloque II.



20/03/2024 Tratamiento B, Bloque I.



20/03/2024 Cosecha para pesado.



Fecha 08/05/2024 Vista del tamaño de los frutos.



Fecha 14/04/2024, tratamiento C Bloque II



Fecha 14/04/2024, tratamiento A Bloque II



Fecha 14/04/2024, tratamiento B Bloque II



Fecha 07/05/2024, tratamiento C
Bloque III



Fecha 07/05/2024, tratamiento
A Bloque III



Fecha 07/05/2024, tratamiento B
Bloque III



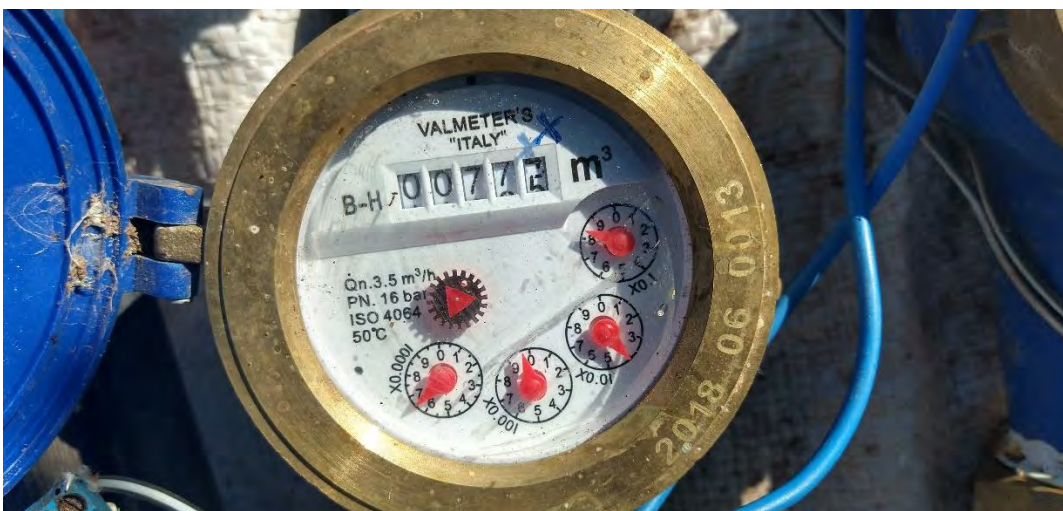
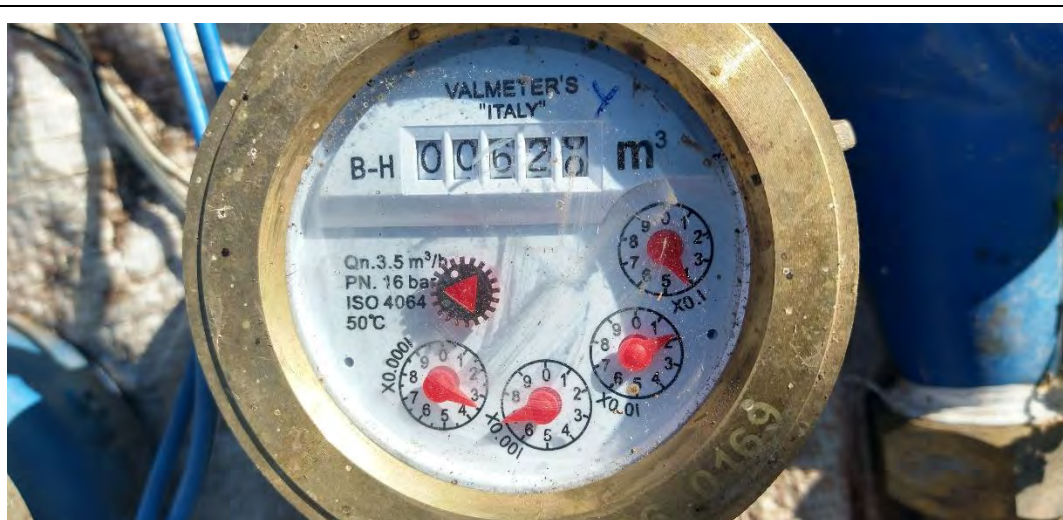
Fecha 02/06/2024 Tratamiento A,
Bloque I



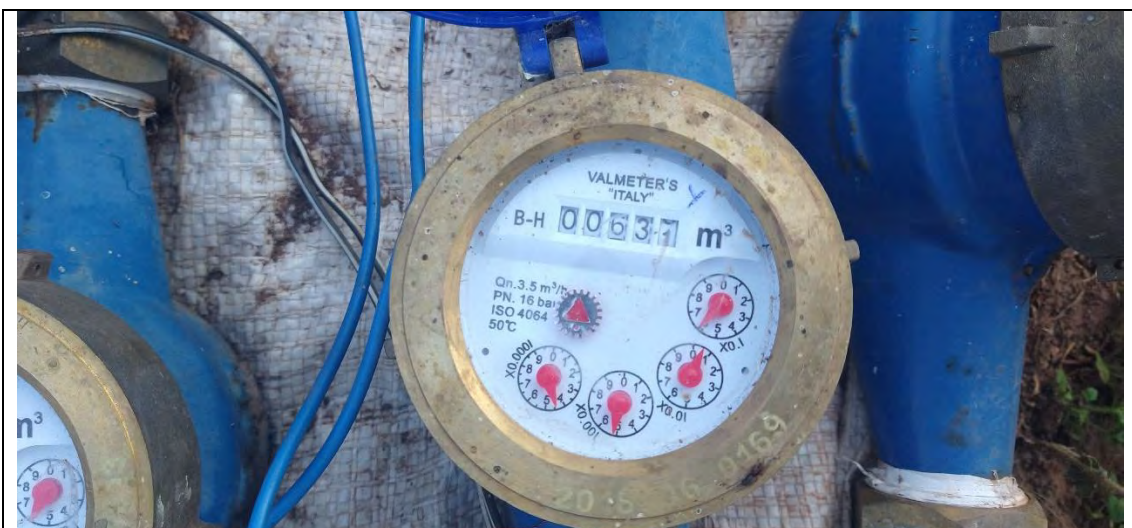
Fecha 02/06/2024 Tratamiento B,
Bloque I



Fecha 02/06/2024 Tratamiento C,
Bloque I



Fecha: 18/07/2024, Lectura de los caudalímetros.



Fecha: 28/07/2024, Lectura de los caudalímetros.



FECHA 20/03/2024, instalación del riego por goteo con gotero y microtubo por debajo de la superficie.



Fecha 02/06/2024, vista de los goteros y microtubos y su ingreso al contenedor.



Fecha: 02/06/2024, vista del campo experimental y el tesista.

Hoja de datos del gotero utilizado.



Corona PC & PCND

Online Drippers

Pressure Compensating Online Drippers with No Drain Option



Dripper	Corona	Corona PCND
Pressure Compensating	Yes	Yes
No Drain	No	Yes
Flow Rates (l/h)	2.15, 3.15, 4.15, 8.25, 26.2	2.15, 3.15, 4.15, 8.25
Pressure Range (bar)	0.5 – 4.0	
Sealing & Opening pressure (bar)	n/a	Sealing: 0.02 bar Opening: 0.45 bar
Outlet	Conic. Barb option available for 4 & 8 l/h models	
Install with	3.0 mm punch tool	
Accessories	Corona tubing and pegs are available upon request	

Resultados de la medición del pH y CE de la fuente de agua.

Fuente de agua: Manante.

Dispositivo de medición del agua: Sensor multiparamétrico.

Marca: Sentec Ltd.

Localidad: Sector Qhanopata, Distrito Caicay,
Provincia Paucartambo.

Coordenadas UTM de la fuente de agua: 19 L; 203670.27 m E; 8502494.68 m S

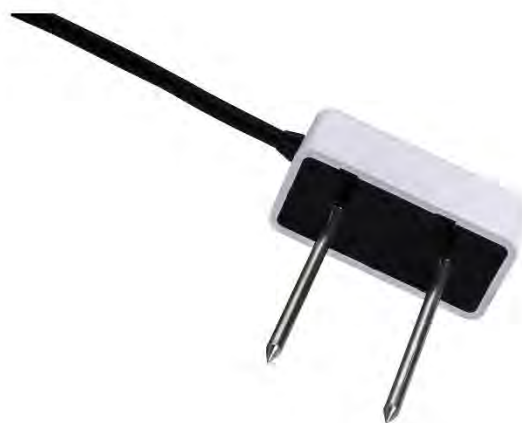
Resultados:

Fecha	EC (us/cm)	pH
08/12/2023	736	7.0

GS1

Soil Moisture Sensor

Operator's Manual



Decagon Devices, Inc.

Version: November 23, 2015 — 09:02:54