

**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**UDH**  
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
<http://www.udh.edu.pe>

**TESIS**

---

**“Determinación de la Huella Hídrica en los cultivos de arveja  
“*Pisum sativum* L” y habas “*Vicia faba* L” mediante la  
simulación prospectiva utilizando el Software Cropwat  
Chaglla - 2025”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR: Hidalgo Castro, Juan Daniel**

**ASESORA: Campos Ríos, Bertha Lucila**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2025**

# U

# D

# H



### TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Meteorología, hidrología y climatología

**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)

### CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

**Área:** Ciencias agrícolas

**Sub área:** Agricultura, Silvicultura, Pesquería

**Disciplina:** Agricultura

### DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( x )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72264527

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 19939411

Grado/Título: Magister en educación gestión y planeamiento educativo

Código ORCID: 0000-0002-5662-554X

### DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
2	Vásquez Baca, Yasser	Título oficial de master universitario en planificación territorial y gestión ambiental	42108318	0000-0002-7136-697x
3	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000-2063-4076



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:30 horas del día 17 del mes de setiembre del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Secretario)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1861-2025-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"Determinación de la Huella Hídrica en los cultivos de arveja *Pisum sativum L*" y habas *Vicia faba L*" mediante la simulación prospectiva utilizando el Software Cropwat Chaglla - 2025**, presentado por el (la) Bach. **HIDALGO CASTRO, JUAN DANIEL**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas; procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO**... Por **UNANIMIDAD**... con el calificativo cuantitativo de **1.3**... y cualitativo de **SUFICIENTE**... (Art. 47)

Siendo las **18:31**... horas del día **17**... del mes de **SEPTIEMBRE**... del año **2025**..., los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
Mg. Milton Edwin Morales Aquino  
DNI: 44342697  
ORCID: 0000-0002-2250-3288  
Presidente

  
Mg. Yasser Vasquez Baca  
DNI: 42108318  
ORCID: 0000-0002-7136-697X  
Secretario

  
Mg. Jorge Antonio Romero Estacio  
DNI: 22520481  
ORCID: 0009-0000-2063-4076  
Vocal



## UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JUAN DANIEL HIDALGO CASTRO, de la investigación titulada "Determinación de la Huella Hídrica en los cultivos de arveja "Pisum sativum L" y habas "Vicia faba L" mediante la simulación prospectiva utilizando el Software Cropwat Chaglla - 2025", con asesor(a) BERTHA LUCILA CAMPOS RIOS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2027-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 18 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 07 de agosto de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA  
D.N.I.: 71345687  
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

## 6. HIDALGO CASTRO, Juan Daniel.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

5%

2

[distancia.udh.edu.pe](http://distancia.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

4

[repositorio.lamolina.edu.pe](http://repositorio.lamolina.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

5

[repositorio.untels.edu.pe](http://repositorio.untels.edu.pe)

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA  
D.N.I.: 71345687  
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, dedico este esfuerzo a Dios, por darme la sabiduría y fortaleza para vencer todas las dificultades, y también a mis progenitores, quienes me proporcionaron una educación de calidad y me inculcaron valores, emociones y costumbres que han contribuido a mi prosperidad a lo largo de mi vida. Y a mis hermanos, que han sido soporte en mi vida

A mi familia en general, por su respaldo incondicional y sin reservas, y por compartir conmigo cada fase de mi vida, ya sean alegres o melancólicos; siempre están a mi lado.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por orientarme siempre y darme la fortaleza para continuar en todos los periodos de mi vida.

A los docentes de la Universidad de Huánuco por su respaldo incondicional, y a mi mentora, Bertha Campos Ríos, quien me motivó con sus recomendaciones y su apoyo ininterrumpido en la redacción de esta tesis. A los compañeros con los que he forjado lazos profesionales.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN .....	XIII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	16
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	16
1.3. OBJETIVOS .....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA .....	17
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA .....	17
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA .....	17
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES .....	22
2.2. BASES TEÓRICAS.....	22
2.2.1. HUELLA HÍDRICA .....	22
2.2.2. CULTIVOS DE ARVEJA Y HABAS .....	31
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	36
2.4. HIPÓTESIS .....	37
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	37
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	37
2.5. VARIABLES.....	38
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE .....	38
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	38
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	39
CAPÍTULO III.....	40
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.1.1. ENFOQUE .....	40
3.1.2. ALCANCE O NIVEL .....	40
3.1.3. DISEÑO .....	40
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	41
3.2.1. POBLACIÓN .....	41
3.2.2. MUESTRA .....	42
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
3.3.1. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	42
3.3.2. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
3.3.3. CONSIDERACIONES PARA EL TRABAJO DE CAMPO .....	43
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	44
3.4.1. PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS .....	44
3.4.2. PARA EL ANÁLISIS DE DATOS .....	44
CAPÍTULO IV.....	45

RESULTADOS .....	45
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	45
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS...	61
CAPÍTULO V.....	66
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	66
5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	66
CONCLUSIONES .....	71
RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXOS.....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Guías y normas nacionales e internacionales relacionados al cálculo de la Huella Hídrica.....	27
Tabla 2 Ecuaciones empleadas por el Software CROPWAT .....	29
Tabla 3 Ventajas y limitaciones del Software CROPWAT .....	30
Tabla 4 Resultados del muestreo de suelo y del cultivo de habas .....	45
Tabla 5 Resultados del muestreo de suelo y del cultivo de arveja .....	46
Tabla 6 Resultados de los requerimientos de agua para el cultivo de arveja	48
Tabla 7 Requerimiento de agua para el cultivo de habas .....	49
Tabla 8 Fracción de agotamiento (p) para el cultivo de habas .....	51
Tabla 9 Fracción de agotamiento (p) para el cultivo de arveja .....	52
Tabla 10 Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de las habas .....	53
Tabla 11 Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la arveja .....	54
Tabla 12 Necesidad de agua de cultivo del componente verde y azul de las habas .....	56
Tabla 13 Necesidad de agua para el cultivo del componente verde y azul de la arveja .....	56
Tabla 14 Huella hídrica verde y azul para el cultivo de habas y arveja .....	58
Tabla 15 Peso porcentual de la Huella Hídrica .....	58
Tabla 16 Valores de Huella Hídrica verde, azul y total de los cultivos de habas y Arveja a nivel nacional .....	59
Tabla 17 Valores de Huella Hídrica verde, azul y total para los cultivos de habas y arveja en todo el país, calculados con la Huella Hídrica calculada	59
Tabla 18 Valoración de instrumentos .....	60
Tabla 19 Procesamiento de datos para el análisis de confiabilidad del instrumento .....	60
Tabla 20 Prueba de normalidad para evaluar los datos recolectados en los cultivos de arveja y habas.....	61
Tabla 21 Prueba de hipótesis del objetivo general.....	62
Tabla 22 Prueba estadística del primer objetivo específico .....	63

Tabla 23 Prueba de medias entre la huella hídrica de los cultivos de arveja y habas .....	64
Tabla 24 Prueba de hipótesis del segundo objetivo específico .....	64
Tabla 25 Prueba de hipótesis del tercer objetivo específico .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes de la huella hídrica .....	24
Figura 2 Diagrama del cálculo del agua directa en la agricultura.....	25
Figura 3 Esquema de los pasos para la cuantía de la huella hídrica en cultivos .....	26
Figura 4 Planta de arveja Pisum sativum L.....	34
Figura 5 Planta de habas Vicia faba L .....	36
Figura 6 Diseño de la recolección de muestras .....	41
Figura 7 Información climática obtenida de la estación Chaglla utilizando el software CROPWAT en relación al clima .....	47
Figura 8 Precipitación mensual de la estación Chaglla modelado en el software CROPWAT .....	50
Figura 9 Información extraída del cultivo de habas para el programa CROPWAT .....	51
Figura 10 Datos obtenidos de la variable del cultivo de arveja para el software CROPWAT .....	52
Figura 11 Datos del suelo procesados con el software CROPWAT .....	53
Figura 12 Requerimiento de agua de cultivo de habas procesado en el software CROPWAT .....	54
Figura 13 Resultados de los requerimientos de agua para el cultivo de arveja procesado en el software CROPWARE .....	55
Figura 14 Programación de requerimiento de riego para el cultivo de habas .....	55
Figura 15 Datos de la programación de los requerimientos de de riego para el cultivo de arveja .....	56
Figura 16 Porcentaje de la huella hídrica verde, azul y total de los cultivos de arveja y habas.....	59

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Muestra de arveja "Pisum Sativum L" para laboratorio.....	96
Fotografía 2 Muestra de habas (Vicia faba L) para laboratorio .....	96
Fotografía 3 Toma de muestras de suelos y cultivos .....	97
Fotografía 4 Visita técnica del jurado ingeniero Yasser Vásquez Baca .....	97
Fotografía 5 Secado de las muestras (plantas) de arveja y habas en el horno .....	98
Fotografía 6 Muestra de suelo de la hectárea de habas.....	98
Fotografía 7 Pesaje de muestras de suelo .....	99
Fotografía 8 Triturado de las muestras (plantas) de las especies en estudio con el mortero.....	99
Fotografía 9 Pesaje de las muestras (plantas) de las especies después de ser triturado.....	100
Fotografía 10 Proceso de decantación de muestras de suelo y cultivos ...	100
Fotografía 11 Muestra de suelo siendo analizada.....	101
Fotografía 12 Muestra de cultivos siendo analizada.....	101

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación ha sido llevado a cabo con la finalidad de determinar la huella hídrica en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) a través de la simulación prospectiva empleando el software CROPWAT. Los datos fueron recolectados en el distrito de Chaglla, lugar en el que se ubican las dos hectáreas de las que se tomaron una muestra de cada cultivo con el que se trabajó; la metodología consistió en emplear el software CROPWAT, que se encargó de procesar y analizar los datos obtenidos en campo y laboratorio; los resultados mostraron que la huella hídrica del cultivo de arveja es 221.23 m<sup>3</sup>/ton y para el cultivo de habas 195.94 m<sup>3</sup>/ton. Se concluye que mediante la simulación prospectiva con el software CROPWAT se puede determinar de manera eficiente la huella hídrica para ambos cultivos.

**Palabras clave:** Huella hídrica, requerimiento hídrico, evapotranspiración, CROPWAT, estrés hídrico.

## **ABSTRACT**

This research aimed to determine the water footprint of pea (*Pisum sativum* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) crops through prospective simulation using CROPWAT software. Data were collected in the Chaglla district, where the two hectares from which samples of each crop were taken are located. The methodology consisted of using CROPWAT software, which processed and analyzed the data obtained in the field and laboratory. The results showed that the water footprint of pea crops is 221.23 m<sup>3</sup>/ton and that of faba beans is 195.94 m<sup>3</sup>/ton. It is concluded that prospective simulation using CROPWAT software can effectively determine the water footprint for both crops.

**Keywords:** water footprint, water requirement, evapotranspiration, CROPWAT, water stress.

## INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos son de gran importancia a nivel mundial, a lo largo del tiempo se han visto afectados por las diversas industrias y sectores de producción; una de los sectores económicos que más agua necesitan es el sector agrícola, la producción de alimentos supone una gran carga hídrica para el planeta y sus recursos, ya que alimentar alrededor de 8 mil millones de personas supone un reto y una carga inmensa. Por esto es fundamental saber cuánto de agua se necesita para producir un cultivo y ser consistentes del impacto que supone su producción, no solo para detener el uso indoctrinado del bien hídrico, sino también para optimizar su uso.

La huella hídrica resulta una herramienta idónea para analizar el consumo de agua de las diversas industrias e incluso de las personas; este indicador evalúa el agua de las precipitaciones que el cultivo capta para su desarrollo, siendo esta la huella verde; evalúa también la cantidad de agua de fuentes naturales (ríos, lagunas, etc.) o artificiales (agua potable) que el cultivo emplea para su producción, siendo esta la huella hídrica azul; por último, evalúa la cantidad de agua que se requiere para tratar la contaminación que genera la producción, siendo esta la huella gris.

En nuestra investigación ahondaremos sobre cómo se determina la huella hídrica en los cultivos de arveja y habas en el distrito de Chaglla – Huánuco, empleando una simulación prospectiva mediante el software CROPWA.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un bien preciado en todo el mundo, si bien hay reservas de agua, un problema crítico es la escasez de la misma debido a la distribución desigual, impedimentos geográficos para acceder a ella y al cambio climático. Tal como menciona la UNESCO (2023), el 26% de los habitantes en todo el planeta no dispone de agua, son alrededor de 2 mil millones de personas que no disponen de este bien en todo el año, representando una amenaza para la seguridad alimentaria; a pesar de que el 70% del planeta se compone de agua, donde el 3,5% es agua dulce y el 0,025% es agua potable. La escasez de este bien no solo es para asegurar la alimentación de una comunidad, también es indispensable para su desarrollo económico.

De acuerdo con el Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BVVA, 2024), indica que lo que consumen los seres humanos también incide en la escasez de los recursos hídricos; para producir solo un kilo de arroz son necesarios 5 mil litros de agua, acentuando lo señalado por la ONU de que la producción de alimentos está relacionada en un 70% con la huella hídrica; la institución menciona también que es la agricultura una de las que más contamina cuerpos de agua debido al empleo de insecticidas, herbicidas, pesticidas, fosfatos, nitratos y más.

De acuerdo con Montoriol (2022), el 72% de toda el agua que es extraída de la tierra es empleada en la agricultura, el 12% va para la industria y el 16% es empleado para consumo humano. El artículo menciona que es el sector agrario el que somete al agua a niveles altos de estrés hídrico, esto quiere decir que al año se usa más del 40% del agua disponible, lo que se intensifica con el cambio climático. También menciona que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha calculado que para el año 2050 esta industria tendrá que producir un 50% más de viandas, lo que implicaría mayor demanda de agua.

Los recursos hídricos del Perú representan el 1,89% de los recursos hídricos del mundo; sin embargo, estos se encuentran en las montañas del Ande, donde apenas hay población, lo que hace difícil llevarlo a la costa donde se concentra la mayor parte de los habitantes del país (BVVA,2024).

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Riego, la huella hídrica de la nación es más de 30 mil millones de metros cúbicos al año, donde el 90% está asociada al sector agropecuario; el informe menciona también que el 90% de los cultivos que se siembra en el país emplean agua azul, esto es agua extraída de fuentes naturales superficiales o subterráneas. Puntualmente la actividad agraria figura con el 76% de la huella hídrica (MINAGRI et al., 2015).

Mallma & Mejía (2015), señalan que en la sierra central del Perú la producción de arveja requiere 5 001.2 m<sup>3</sup>/ha de agua y 16 889 273.96 m<sup>3</sup> de agua virtual; en cuando a la producción de habas, el requerimiento de agua del cultivo es de 4 864.2 m<sup>3</sup>/ha y 3 706 164.38 m<sup>3</sup> de agua virtual.

Con base en WWF (2013), en la región Huánuco la producción de habas representa 2.56%. De acuerdo con GORECHO (2008), en la región Pachitea la superficie agrícola tenía un 29% de agua de riego y un 71% se cultivaban en secano.

El agua debe ser usada de forma sostenible, por lo que es importante el conocimiento del impacto que genera una actividad para poder modificar y mejorar dichas actividades en favor del desarrollo económico, humano y el cuidado ambiental.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo la simulación prospectiva mediante el software CROPWAT determina la huella hídrica en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo la simulación prospectiva mediante el software CROPWAT ayuda a obtener información sobre la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?
- ¿Qué diferencias hay entre la huella hídrica de los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?
- ¿En la agricultura los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) son sostenibles en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la Huella Hídrica en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) mediante la simulación prospectiva utilizando el software CROPWAT en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la simulación prospectiva mediante el software CROPWAT para determinar la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2024.
- Comparar la huella hídrica entre los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

- Evaluar la sostenibilidad de los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El presente trabajo investigativo pretende afianzar el legajo teórico existente, así como profundizar y generar nueva información generando reflexión y discusión sobre la importancia del tema, así como también la posible corrección de algunos puntos. Bernal (2010), señala que la justificación teórica es fundamental en la reflexión académica.

### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

El desarrollo de una simulación prospectiva favorece en la generación de nueva data, data actualizada para el cultivo (*Pisum sativum* L) y (*Vicia faba* L), donde la investigación genera aportes prácticos relacionados con la solución de la problemática. Blanco & Villalpando (2012), señalan que la justificación práctica debe contribuir con la solución de la problemática.

### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La metodología empleada es de fácil aplicación, siendo práctica en la generación de información que contribuye en mejorar no solo el aspecto del cuidado del recurso hídrico, también contribuye en el aspecto económico, porque permite conocer la cantidad de agua que requieren los cultivos acordes al clima, suelo y tipo de cultivo. Blanco & Villalpando (2012), define la justificación metodológica de un proyecto investigativo cuando esta propone o desarrolla un método que permite o contribuye en la obtención de información fiable.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

De forma puntual, el tema carece de bibliografía local respecto a los dos cultivos en los que se realizará la medición de la huella hídrica; sumado a esto, otra limitación es que en la ciudad de Huánuco no existen laboratorios certificados por INACAL para la evaluación de las muestras de tierra, por lo que se tendrá que enviar a la capital del país.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio es viable ya que, el investigador conoce la zona de estudio al radicar en el poblado; el investigador cuenta con los recursos económicos para afrontar todo lo que el estudio requiera, como la contratación de un laboratorio debidamente certificado, para la obtención de materiales para la caracterización de los suelos; la viabilidad radica también en la bibliografía a nivel nacional y extranjera sobre otros cultivos que pueden servir de guía para llevar a cabo esta investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Nieto (2021), el objetivo de su investigación se centró en llevar a cabo un estudio agronómico de leguminosas y calcular la huella hídrica del garbanzo en España; el método empleado se fundamentó en la valoración de varios indicadores agronómicos y la evaluación de aguas de tonalidad verde, azul y gris; sus hallazgos evidenciaron que el cultivo de garbanzo necesita de 2000 a 3000 litros para producir 1 kg de este cultivo; este valor se reduce a menos de 3000 L/kg al reducir el ciclo de cultivo; determinaron que los cultivos de riego exhiben valores más elevados debido a su mayor productividad, mientras que los cultivos de secano exhiben producción limitada debido a la escasez de agua. Los cultivos de leguminosas en sistemas de regadío exhiben un comportamiento agronómico superior y un incremento en la productividad y el rendimiento.

Mendoza & Moreira (2023), la investigación se llevó a cabo con el fin de evaluar la actividad agronómica en relación con la utilización del recurso hídrico en la cuenca del río Caña - Ecuador. El método se fundamentó en el manual The Water Footprint Assesment de Hoekstra (2011), utilizando este para obtener la huella hídrica; Los hallazgos indicaron que la huella de agua fue de 739785.90 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta la disponibilidad natural de 275324.7 m<sup>3</sup>, lo que indica descompensación y evidencia un estado de alerta, evidenciando un resultado de sostenibilidad de huella de agua de 2.69 anual; concluyeron que la actividad agrícola provoca una descompensación considerable en el río, provocando un desbalance en la sostenibilidad en relación con la gestión de recursos acuáticos en la agricultura, considerándose en la magnitud de impactos ambientales relevantes.

Farreras et al., (2024), cuyo propósito se fundamentó en medir la huella hídrica gris de la viticultura en un entorno de 7 herbicidas, 7 insecticidas y 24 fungicidas, para evaluar la calidad de la viticultura en la calidad de los recursos, Mendoza - Argentina; su método se fundamentó en examinar los cultivos y calcular la huella hídrica utilizando la metodología de Hoeskstra et al. (2011); sus hallazgos evidenciaron que el cultivo de uvas necesita  $1.10 \text{ m}^3$  de agua por kilogramo, aproximadamente 187 millones de  $\text{m}^3$  anuales para disolver el material contaminante. Al incrementar la resolución espacial del análisis, se puede mejorar la resolución espacial del análisis muestran una variabilidad de Huella Hídrica Gris de 0.04 a  $18.4 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ ; Concluyeron que incrementar la resolución espacial del análisis facilita obtener información más detallada para la gestión de cultivos, además de tener en cuenta la relevancia del análisis de pesticidas empleados en las prácticas agrícolas. Esta información es crucial para la elaboración de políticas del sector.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Quispe (2021), cuyo propósito de la investigación realizada fue evaluar la huella hídrica de 15 cultivos para determinar la ecoeficiencia económica del sector agricultura, Chupaca - Huancayo; la metodología empleada fue Hoekstra, es decir, emplear el software CROPWAT; entre sus 15 cultivos se analizó la huella hídrica de la arveja y el haba, obteniendo un resultado de  $86895,94 \text{ m}^3/\text{ton}$  y  $130851.14 \text{ m}^3/\text{ton}$  respectivamente; En conclusión, la ecoeficiencia y la huella de agua son indicadores positivos del progreso económico y ecológico.

Ortiz & Villaverde (2023), el objetivo de su proyecto se basó en estimar la huella hídrica y el rendimiento de especies agrícolas en el distrito de Chupaca; la metodología consistió en la selección de diversos cultivos y empleo del método Hoekstra (indicador que mide la cantidad de agua utilizada) para valorar la huella hídrica; sus resultados muestran que la huella hídrica verde es de  $22939.52 \text{ m}^3/\text{ton}$ , seguida de la huella hídrica azul que es de  $31200.57 \text{ m}^3/\text{ton}$ , así como la huella hídrica gris es de  $46.3 \text{ m}^3/\text{ton}$  y que la huella hídrica total es  $54186.51 \text{ m}^3/\text{ton}$ ;

concluyen que la especie de cultivo que mayor Huella Hídrica verde genera es *Zea mays* y el que menor huella hídrica verde genera es *Solanum stenotomum* y *Solanum chaucha*, menciona que la huella hídrica aumenta o disminuye acorde al área cultivada.

Herrera (2021), su investigación se basó en evaluar la huella hídrica del cultivo de papa en relación de las variables climáticas de la región Puno; la metodología empleada se basó en la utilización del software Cropwat, con la metodología propuesta por la FAO, mediante el cálculo del requerimiento de agua del cultivo (RAC); Sus hallazgos indican que a una temperatura mínima de  $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura máxima de  $16.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa del 64%, velocidad del viento de 2.2 m/s, insolación de 8.4 horas y lluvia de 748.3 mm, la huella hídrica producida por la papa es de  $303.96\text{ m}^3/\text{t}$ , con una estimación monetaria de 522.81 soles; de esta manera, se puede deducir que la huella hídrica de este cultivo está vinculada directamente con las variables.

Huanca et al., (2021), la investigación tuvo como objetivo especificar la evapotranspiración y cuantificar la huella hídrica de cultivos de Kañiwa en la cuenca de Coate e Illpa; empleó los criterios de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani para la evapotranspiración y para la huella hídrica empleó la metodología Hoekstra; sus resultados que la huella hídrica verde fue de  $3969\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  en la ZAE Suni-altiplano con potencial de cultivo de 513mm;  $4359\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  de huella hídrica verde en CIP-ILLPA con potencial de cultivo de 445.3mm y  $5329\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  de huella hídrica verde en la ZAE Suni-altiplano con potencial de cultivo de  $732\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$ ; mostró que la evapotranspiración fue de 445.3 mm; la huella hídrica azul fue de  $0.993\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  para la Kañiwa en grano; concluyendo que en base en la prueba t acepta la hipótesis planteada ( $\alpha=0.05$ ), donde la variación de la huella hídrica verde fueron de  $3.97\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$ ,  $4.36\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  y  $5.33\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$ ; la para la huella hídrica azul fue de  $0.993\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  en condición de déficit de humedad en el suelo.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Cárdenas (2023), cuyo proyecto radicó en evaluar la eficacia del programa de consumo sostenible; la metodología consistió en un grupo experimental y un grupo de control, las muestras fueron llevadas a un laboratorio, todos los datos recopilados fueron tabulados y analizados; sus resultados muestran que el grupo de control tiene una huella hídrica de 38.585% y el grupo experimental de 80.903%, mostrando que el valor para la huella hídrica verde es de 0.043, para la huella hídrica azul es de 0.005 y para la huella hídrica gris es de 0.05; concluye que existe diferencia significativa en ambos grupos, con un p-valor  $<0.05$ ; menciona también que la implementación del programa de consumo sostenible en Yarumayo es eficaz en cuanto a la huella hídrica verde, y en cuanto a la huella hídrica azul y gris afirma que también son eficaces.

Muller (2022), cuya tesis tuvo como objetivo valorar la huella hídrica, carbono y gestión residual de la municipalidad; la metodología cuantitativa de corte correlacional no experimental que consistió en recopilación de información, tabulación y análisis para la posterior valoración; sus resultados denotaron que la huella hídrica total es de 37.049 m<sup>3</sup>, emitió 0.096637 toneladas de CO<sub>2</sub>, 0.000127154 toneladas de CH<sub>4</sub> y 0.002204622 toneladas de NO<sub>2</sub>, obteniendo un HC de 0.098996896 de GEI; concluyendo que existe significancia estadística entre la huella hídrica, carbono y la gestión de residuos, con un coeficiente de correlación de 0.936, el estudio muestra que la huella hídrica es insustentable, ya que supera los 100 litros por día recomendados por la OMS.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. HUELLA HÍDRICA**

Acuñada por Arjen Hoekstra en el 2002 en la Institución de Educación del Agua de la UNESCO, la definió como un indicador empleado en el medio ambiental que calcula la cuantía de agua dulce que se requiere al producir ya sea un servicio o un producto, o lo que consume un individuo o comunidad; el indicador muestra también el

volumen de contaminación; es calculada en términos de volumen consumido o contaminado después de llevar a cabo la producción (Hoekstra et al., 2011).

La Huella hídrica ofrece información sobre el total del volumen usado al producir un bien desde que la materia prima es obtenida hasta la fabricación del producto final; también ofrece un panorama con cuya información uno puede ser consciente del impacto hídrico generado por la industria y por nosotros mismos. La evaluación de este indicador consiste de cuatro fases: establecer objetivos, cuantificación de la huella de agua, valoración de la sostenibilidad y elaboración de una respuesta ante la huella de agua (Generalitat Valenciana, 2023).

Se suele confundir huella hídrica con huella de agua, la huella de agua, de acuerdo con la norma ISO 14046 (2014), cuantifica los impactos potenciales en el medio ambiente, recursos y el bien de las personas, propiciados por el uso del bien hídrico en la producción de servicios o productos.

Según la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE, 2012), los factores que determinan la huella hídrica de un país son las actividades agrícolas, hábitos de consumo, el clima y el gasto de bien hídrico. Las estadísticas muestran que del 70% de agua en el mundo, solo el 2.5% es dulce.

Fabricar un auto necesita 400000 litros de agua, unos jeans requieren 10850 litros, producir papas requiere 900 litros, arroz 2497 litros, chocolate 17196; y ahora, con la presente investigación se sabrán los litros de agua que se requieren para producir habas y arvejas en el distrito de Chaglla.

#### **2.2.1.1. COMPONENTES DE LA HUELLA HÍDRICA**

De acuerdo con COSUDE (2012), constan de:

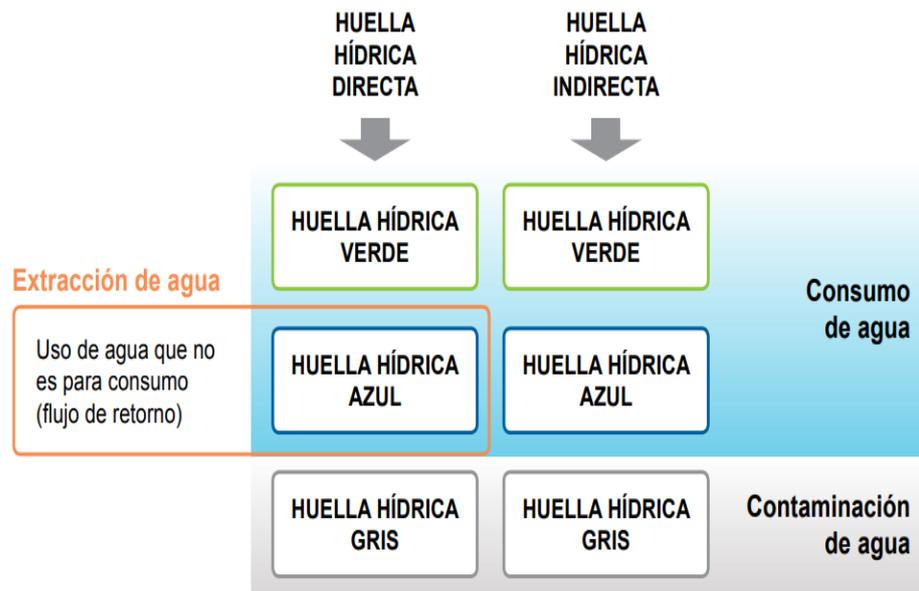
Huella hídrica verde: comprende agua de lluvia, agua evapotranspirada; el suelo cuya agua no ha discurrido y ha sido absorbida por las raíces.

Huella hídrica azul: comprende el agua que se extrae de ya sea de fuentes superficiales o subterráneas.

Huella hídrica gris: comprende al total de agua que resulta contaminada por la producción del bien o servicio.

**Figura 1**

*Componentes de la huella hídrica*



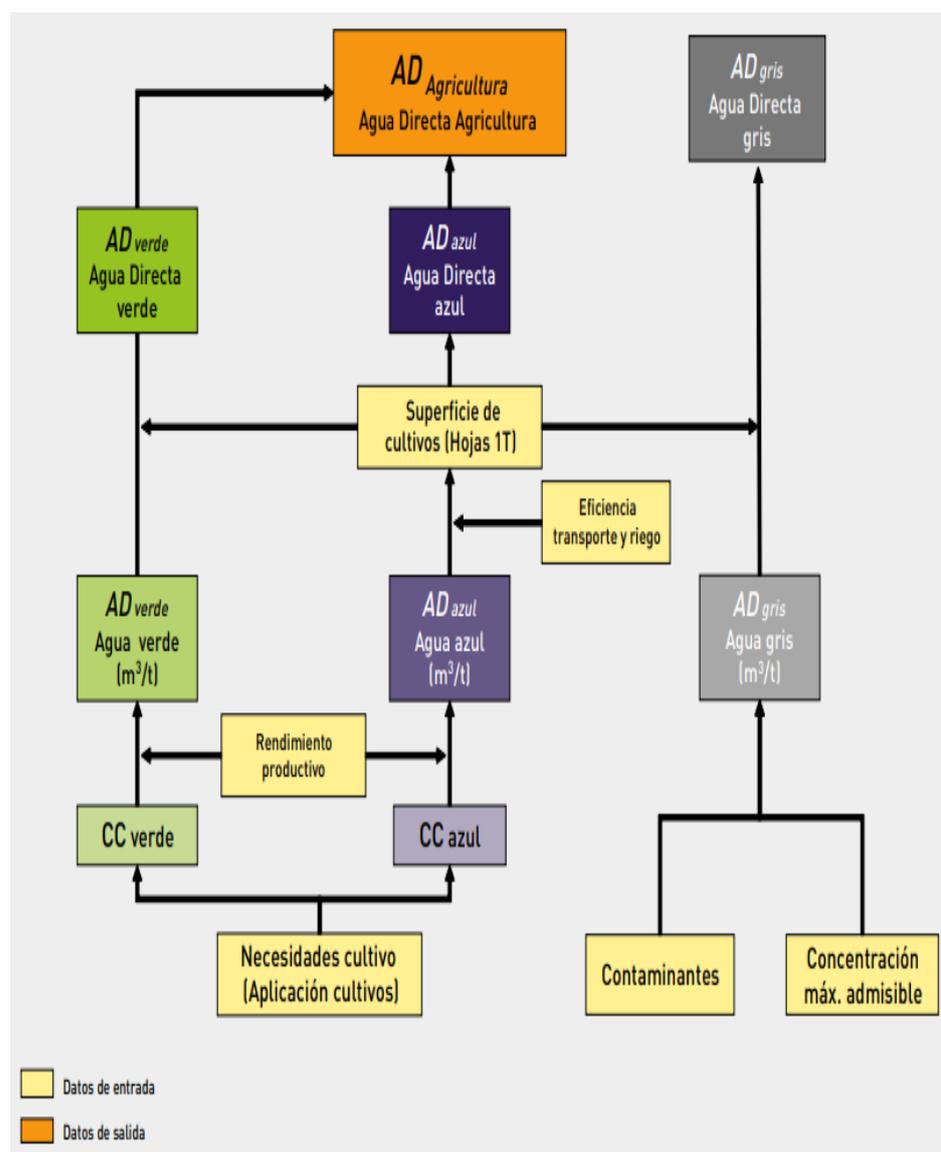
*Nota:* Síntesis de cómo interactúan las distintas huellas hídricas. Tomado de huella hídrica del Perú. Sector agropecuario (p.12), por WWF (2015).

Otros conceptos de acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino - España (MARM, 2011):

- Agua directa (AD): agua empleada solo en el proceso de producción.
- Agua indirecta (AI): comprende el agua asociada a la producción de un bien.
- Agua Virtual (AV): cada bien producido requiere de agua, el agua virtual hace referencia al agua que no se puede ver, pero que está presente en cada bien producido.

**Figura 2**

*Diagrama del cálculo del agua directa en la agricultura*



*Nota:* Tomado de Huella hídrica de España (p. 17), por MARM (2011).

### 2.2.1.2. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

De acuerdo con Hoekstra et al., (2011), la huella total de un cultivo es la suma de todos los componentes:

$$HH_{total} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris}$$

Esta sería la forma manual de calcularlo, previo a la estimación de la huella verde, huella gris y huella azul; sin embargo, hoy se puede usar el software CROPWAT.

### 2.2.1.3. HUELLA HÍDRICA DEL PERÚ

En el Perú, el 76% de la huella hídrica es provocada por la agricultura, seguido por un 14% de la ganadería, el 5% lo generan

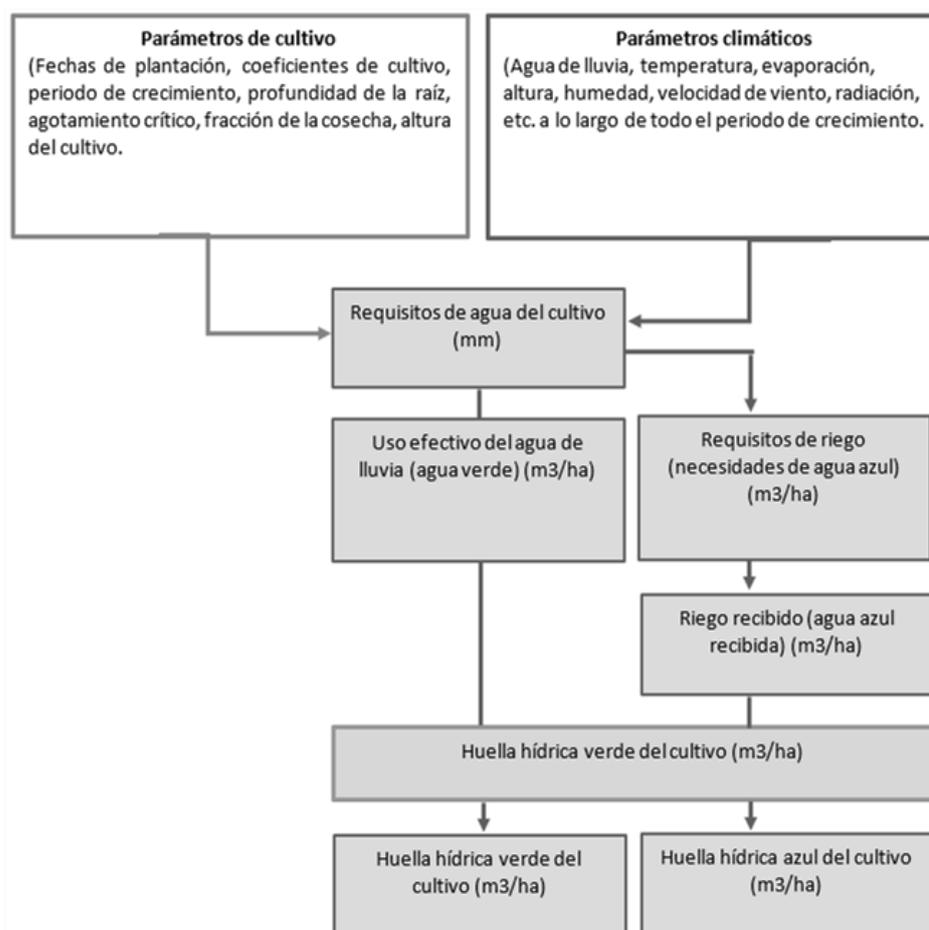
las industrias y la minería, culminando con el 5% generado por el consumo humano. El sector agropecuario es el que mayor huella hídrica verde, azul y gris genera. En la región Huánuco, la producción de papa es la que más genera la huella hídrica verde y azul (MINAGRI et al., 2015).

#### 2.2.1.4. IMPORTANCIA DE LA HUELLA HÍDRICA

Su impacto radica en que, como un indicador medioambiental, contribuye en la gestión idónea de los recursos hídricos directos e indirectos proporcionando el impacto real de las actividades de la industria y humanas (Altobello et al., 2018; Miglietta et al., 2018; Morrone & Lamastra, 2018, tal como se cita en Ortiz & Villaverde, 2023, p. 29).

**Figura 3**

*Esquema de los pasos para la cuantía de la huella hídrica en cultivos*



Nota: Fuster B (2018)

**Tabla 1****Guías y normas nacionales e internacionales relacionados al cálculo de la Huella Hídrica**

<b>GUÍA NACIONAL</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>AÑO</b>
Manual de Aplicación de Evaluación de Huella Hídrica Acorde a la Norma ISO 14046 Viene siendo el primer manual elaborado en el Perú de la mano del Gobierno Suizo y la Organización COSUDE, en conjunto con Fundación Chile del 2013 al 2015, publicado en el 2017.	Servir de guía metodológica para la evaluación de la HH bajo los requisitos de la norma ISO 14046.	Dirigido a profesionales técnicos, empresas, consultores y estudiantes afines. Se puede emplear para el cálculo de HH en productos, procesos e industrias. Excluye etapas de transporte de insumos importados e infraestructura empleada en la producción de cemento. Tampoco considera (calcula) la producción de residuos.	2017
El Perú cuenta con la "Norma que Promueve la Medición y Reducción Voluntaria de la Huella Hídrica y el Valor Compartido de las Cuencas Hidrográficas", aprobada con RJ N° 104-2018-ANA y modificada con RJ N°0390-2023-ANA	Promover el aprovechamiento sostenible y el uso de indicadores que permitan la identificación del volumen de agua que se consume.	Aplicada por personas jurídicas que realicen actividades de producción de bienes o servicios que deseen adquirir el Certificado Azul.	2018
<b>GUÍA INTERNACIONAL</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>AÑO</b>
Manual de Evaluación de la Huella Hídrica.	La guía menciona que el objetivo del estudio de la evaluación de la HH requiere de una etapa, producto, consumidor, geografía, sector empresarial.	La guía permite el cálculo de la HH azul, verde y gris. Y requiere que la evaluación tenga los límites claros en cuanto a su inventario. La guía puede ser usada por empresas, consumidores y naciones.	2011
ISO 14046: Huella Hídrica – Principios, Requisitos y Guía.	Proporcionar los requisitos y la guía para la generación de informes para auditorías o como estudios individuales.	Se aplica en productos, procesos y organizaciones,  La guía puede ser empleada por estudiantes, docentes, técnicos, profesionales, instituciones públicas y organizaciones.	2014
Guía para la Evaluación de la Huella Hídrica Productiva a Nivel Cuenca en Chile.	Entregar lineamientos metodológicos para la evaluación de la HH.	Aplicada en todas las cuencas hídricas de la república chilena	2016

*Nota.* FCH et al., (2011). ISO 14046: Huella Hídrica (2014). R.J N° 0390-2023-ANA (2023). Hoekstra et al., (2011). DGA (2016).

### **2.2.1.5. SOFTWARE CROPWAT**

La FAO (2006), define al software como una herramienta que permite el caculo del requerimiento de agua en cultivos, combinando información agrícola y climática.

De acuerdo con Hoekstra et al., (2011), menciona dos opciones, agua que requiere el cultivo si las condiciones son óptimas y calendario de riego; el manual se inclina por recomendar la segunda opción, ya que puede ser empleada si las condiciones de crecimiento del cultivo sean o no óptimas. El apéndice 1 del manual muestra cómo calcular la evapotranspiración mediante la opción NAC, donde se asume que no hay limitaciones hídricas, este modelo calcula la necesidad de agua del cultivo, precipitación en ese periodo y necesidad de riego; la otra opción es la de calendario de riego, este modelo requiere datos sobre el suelo.

El software requiere de datos climatológicos, datos sobre el cultivo a evaluar, fechas de siembra, coeficientes de los cultivos, fase de desarrollo, profundidad radicular, fracción de agotamiento crítico, factor respuesta, datos sobre el suelo de siembra y tasa de infiltración (FAO, 2006; FAO, 2010; Allen et al, 1668; tal como se cita en Castro & Barrera, 2014, p.30-35).

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006), el software se sostiene en 8 módulos en total, de ellos, 5 son datos de entrada y los otros 3 son de cálculo. Los 5 primeros módulos conllevan información sobre el clima, precipitación, cultivo, suelo y patrón del cultivo; los otros 3 módulos, que el software emplea para sus cálculos son RAC, programación (calendario de riego) y esquema del cálculo de la oferta del cultivo sobre el agua. El usuario solo debe introducir sus datos y exportar los resultados, ya sea a Word o Excel.

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

De acuerdo con la FAO (2006), estas son las características técnicas del software:

- Compatibilidad con versiones anteriores.

- Si no se cuenta con los datos de los valores medios, aun así, el software permite estimar los datos.
- Sus cálculos están basados en algoritmos sobre las necesidades de riego del cultivo.
- Permite el ajuste de riego.
- Se puede recuperar la sesión con facilidad, guardado simple.
- El software puede arrojar graficas de entrada.
- Importación y exportación de datos sencilla y simple.
- Funciona en Windows 95, 98, 2000, NT, XP y más.

## ECUACIONES MATEMÁTICAS

**Tabla 2**

*Ecuaciones empleadas por el Software CROPWAT*

		<b>Ecuación</b>	<b>Uso</b>
Ec. De FAO Penman-Monteith	ET <sub>0</sub>	$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}$	Empleada para determinar la evapotranspiración.
Velocidad de Viento	de	$U_2 = U_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$	Se mide a dos metros sobre el nivel del suelo.
Coeficiente de Cultivo	de	ET <sub>c</sub> = K <sub>c</sub> * ET <sub>0</sub>	Empleada en la estimación de la evapotranspiración del cultivo.
Agua Fácilmente Aprovechable		AFA = p * ADT	Fracción de agua disponible de un cultivo sin sufrir estrés hídrico.
Evapotranspiración del Cultivo Bajo Condiciones no Estándar		ET <sub>c-aj</sub> = ET <sub>c</sub> * K <sub>s</sub>	Representa el agotamiento de la zona radicular.
Reducción del Rendimiento	del	$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(\frac{ET_{c-aj}}{ET_c}\right)$	Reducción por estrés hídrico.
Balace del Suelo	Hídrico	Dr,i = Dr,i-1 + ET <sub>c</sub> I <sub>i</sub> + (ES, iPP, i)	adj, i-P, i- Evalúa el estado de la humedad del suelo.

*Nota.* FAO (2006)

## VENTAJAS Y LIMITACIONES

Tabla 3

*Ventajas y limitaciones del Software CROPWAT*

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"><li>• Permite realizar modelos de simulación de balances de agua en cultivos.</li><li>• De libre acceso, intuitiva y gratuita.</li><li>• De fácil programación.</li><li>• Requiere información básica.</li><li>• Ofrece una base estándar de estimación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El software no puede predecir impactos del riego sobre la calidad y salud del suelo.</li></ul>

*Nota:* Fao (2006).

### 2.2.1.6. SIMULACIÓN PROSPECTIVA

#### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La Real Academia Española define la prospectiva como un conjunto de investigaciones y análisis llevados a cabo con el propósito de anticipar un escenario (RAE, 2014).

El Instituto de Prospectiva Estratégica de España (1999), la define como una disciplina dinámica, abierta y global, que explica posibles futuros.

Cuando se desea adoptar decisiones antes de las acciones, y el escenario no es probable a menos que se haga algo al respecto, se puede emplear la prospectiva como una vía alterna. La prospectiva toma dos aspectos, el objeto focal y el entorno que influye en él (Meneses & Sesma, 2013).

De acuerdo con la Oficina de Planeamiento y Presupuesto – Uruguay (OPP, 2017), el uso de la prospectiva para modelar posibles escenarios en los que tomar decisiones a futuro se inicia en la década de 1940 en los ámbitos militares y tecnológicos.

#### APLICACIÓN

Su aplicación se puede ver desde la política, la banca, para predecir el riesgo económico y muchos otros aspectos, hasta en el sector salud, agronómico, o en la predicción de crecimiento o decrecimiento demográfico, etc. (Meneses & Sesma, 2013).

## **TIPOS**

De acuerdo con Meneses & Sesma (2013):

**MODELOS CUALITATIVOS:** aquí se tienen simulaciones con modelos de análisis de impacto, de aproximación morfológica, de estrategia (ariote), de escenarios (alternativos e integrales), etc.

**MODELOS FORMALES:** Son modelos de probabilidad condicional (matriz cruzada), de relación entre insumo y producto, de proyección, etc.

**MODELOS ECLÉCTICOS:** son modelos que destacan por el conjunto de recursos, pruebas, solución y validación.

## **CARACTERÍSTICAS**

- De acuerdo con Meneses & Sesma (2013):
- Cuenta con tres estrategias: visión a largo plazo, cobertura y consensuamiento.
- Culturalmente inverso.
- Se caracteriza por conocer y analizar lo que pasará en el futuro para usarlo en el presente.
- Indagación del escenario futuro para el entendimiento del ahora.
- Acción presente como proceso de construcción del futuro.

## **2.2.2. CULTIVOS DE ARVEJA Y HABAS**

### **2.2.2.1. ARVEJA (*PISUM SATIVUM* L.)**

#### **ORIGEN**

Los expertos señalan como posible origen el Medio Oriente, Oeste de Asia, posteriormente fue llevado a Europa, para después ser llevado a América. En oriente próximo han encontrado arvejas con 10000 años de antigüedad, datan de unos 7000 a. C.; en la edad de bronce de Europa, concretamente en Suiza, se encontró arvejas de los años 3000 a. C.; esta legumbre llega a Perú en la época colonial (Amigo, 2018).

#### **DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA**

Si bien se cultivan en muchas partes del mundo, los mayores productores de arveja son Canadá, Rusia, China e India; en Perú

se cultivan en Costa y Sierra, siendo las regiones que más producen este cultivo Cajamarca con el 27% de la producción, 20% en La Libertad, 13% en Huancavelica y 11% en Ayacucho (AgroPerú, 2024).

Sin embargo, de acuerdo a MINAGRI (2019), las regiones que más producen este cultivo son Junín con 29402 toneladas, Huánuco con 21567 toneladas y Huancavelica con 20254 toneladas; mencionan también que Cajamarca, Huancavelica y Junín son las regiones con la mayor área de cosecha; Arequipa es la región que mayor rendimiento obtiene en este cultivo (MINAGRI, 2019, como se cita en Arosi, 2020, p.26).

### **ASPECTOS BOTÁNICOS**

Cultivo de germinación hipogea, eso quiere decir que sus cotiledones permanecen bajo tierra, planta herbácea y glabra, de tallos redondos, huecos y angulosos (Saavedra, Arveja Verde *Pisum sativum* L., 2022).

### **TAXONOMÍA**

Según Angiosperm Phylogeny Goup (2016, como se cita en Arosi, 2020) la taxonomía es la siguiente:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Fabales
- Tribu: Fabeae
- Género: *Pisum*
- Especie: *Pisum sativum* L.

### **MORFOLOGÍA**

La raíz de este cultivo puede tener hasta 1 metro; el tallo es delgado en la base y grueso en la zona elevada; las hojas tienen un solo par de folíolos; su flor es pentámeras de color verde; el fruto es una vaina y esta contiene dos a diez semillas; las semillas de este cultivo son dicotiledóneas (Maroto, 1990; Camarena et al., 2014, tal como se cita en Arosi, 2020, p. 7-8).

### **VARIEDADES**

Existen arvejas de grano amarillo, verde, rugoso y liso; de acuerdo al Instituto Nacional de Semillas (INASE) hay al menos 76 variedades de origen francés, holandés, argentina, italiana, estadounidense y más. (De Bernardi, 2017)

En el Perú se comercializan las arvejas clase Usui, cuyo color es crema; también está la clase Azul, cuyo color es verde azulado de tono opaco; clase Crema rugosa de color crema con tono opaco; clase Blanca criolla de color crema (MINAGRI, 2016).

### **REQUERIMIENTO EDAFOCLIMÁTICO**

Esta legumbre crece mejor en el clima de los valles interandinos, ya que requiere de un clima frío, la arveja es sensible a la falta de agua y no tolera muy bien el calor; suele ser sembrado entre los 1300 msnm y los 3300 msnm. Respecto al suelo, el cultivo se desarrolla bien en suelos con un pH de 6 a 6.5, el suelo debe drenar muy bien ya que la planta se pudre con facilidad. Se desarrolla mejor a temperaturas bajas, por ello le viene bien la temperatura de la sierra, ya que es resistente al frío, pero no al frío extremo. Requiere entre 800 y 1000 mm de precipitación uniforme. Requiere de fósforo y nitrógeno para un mejor rendimiento (Maroto, 1990; Ugás et al., 2000; Tesfaye et al., 2007; Camarena et al., 2014, como se cita en Arosi, 2020, p. 9-10).

### **NECESIDADES DE AGUA**

Si la humedad es buena, este cultivo no requiere de mucho regadío; Noa (2001), estimó que para este cultivo se requiere de 647.81mm de agua, esto en la región de Ayacucho; Villanueva (2019), estimó que la arveja requiere 377mm de agua, esto en la región de Huaraz (Arosi, 2020).

**Figura 4**

*Planta de arveja Pisum sativum L*



Nota: Hughes (2023)

#### **2.2.2.2. Habas (*Vicia faba* L)**

##### **ORIGEN**

Indican que el origen de este cultivo se encuentra al suroeste de Asia y otros mencionan que podría estar al noroeste de África o el Cercano Oriente (Kay, 1979; Cubero & Moreno, 1983; tal como se cita en Zuñiga, 2021, p. 35).

A América llegaron entre el año 1602, al Perú llegaron junto con los españoles (INIA, 2004).

##### **DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA**

Se ha desarrollado en Bolivia, Colombia, Paraguay, Brasil, México, República Dominicana y Perú; los principales países productores son Argelia, China, Marruecos, Irak (CEPROBOL, 2004).

En Perú las regiones que más producen este cultivo son Huánuco, Ayacucho, Cajamarca, Puno, Huancavelica y Cusco (MIDAGRI, 2021).

##### **ASPECTOS BOTÁNICOS**

Las habas son cultivos anuales con sistemas radiculares desarrollados, son de color verde al estar frescas y toman un color

gris o negro al secar, están en el grupo de leguminosas (Gallegos, 2007; Arratea, 2011, tal como se cita en Zuñiga, 2021, p. 38-39).

### **TAXONOMÍA**

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Género: *Vicia*
- Especie: *Vicia faba* L.

### **MORFOLOGÍA**

De raíz profunda, sus nódulos pueden fijar nitrógeno; de tallo fuerte, angular y color verdoso; sus hojas son anchas y ovaladas de un color verde oscuro; sus flores son de unos 4cm y son hermafroditas, pueden auto polinizarse; su fruto es una leguminosa, la vaina es de unos 10cm que contienen los granos (Lindo & Marmolejo, 1997; INIA, 2004; tal como se cita en Zuñiga, 2021, p. 36-37).

### **VARIEDADES**

De acuerdo con Saavedra (2022), éstas son las variedades:

- *Vicia faba* L. var. Minor (Harz) Beck
- *Vicia faba* L. var. Equina Pers
- *Vicia faba* L. major (Jarz) Beck

### **REQUERIMIENTO EDAFOCLIMÁTICO**

Crece en un clima frío o templado, a una temperatura de 7°C a 14°C, con una humedad entre 70% a 80%, requiere de pluviosidad de 700 a 1000 mm; crece a una altitud de 2600 a 3500 msnm, el suelo en el que se desarrolla es franco, arcilloso y debe tener buen drenaje y un pH de 5.5 a 7.5 (Peralta et al., 1998, tal como se cita en Zuñiga, 2021, p. 39-40).

## NECESIDADES DE AGUA

De acuerdo con INIA (2004), si se emplea riego tecnificado son necesarios 3500 m<sup>3</sup> a 400 m<sup>3</sup> de agua por hectárea.

**Figura 5**

*Planta de habas Vicia faba L*



*Nota: Marcos (2022)*

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

#### HUELLA HÍDRICA

Tal como menciona la Real Academia Española, se trata de un indicador ambiental para medir el total de agua que se emplea al producir algún bien o servicio (RAE, 2023).

#### REQUERIMIENTO HÍDRICO

Consiste en el requerimiento hídrico del cultivo a la evapotranspiración que sufre para compensar y permitir que la planta recupere el agua perdida para que esta pueda desarrollarse (Castro & Barrera, 2014).

#### EVAPOTRANSPIRACIÓN

Consiste en la pérdida del recurso hídrico por el proceso de transpiración por el que pasa el cultivo (Castro & Barrera, 2014).

## **CROPWAT**

Es un software que incorpora los datos de evaporación, transpiración y requerimientos de agua para simular el uso de agua que realizan los plantíos, con datos del clima, suelo y el tipo de cultivo (Arteaga et al., 2011).

## **ESTRÉS HÍDRICO**

De acuerdo con el Fondo Mundial para la Naturaleza, el agua se reduce a puntos donde no es posible cubrir las necesidades humanas ni ecológicas debido al uso desmedido e irresponsable de este bien (WWF, 2015).

### **2.4. HIPÓTESIS**

#### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

**P<sub>a</sub>:** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT determina la huella hídrica en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas “*Vicia faba* L” en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>0</sub>:** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT no determina la huella hídrica en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

#### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- **P<sub>a1</sub>:** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT puede obtener información sobre la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>01</sub>:** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT no puede obtener información sobre la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

- **P<sub>a2</sub>:** Hay diferencias entre la huella hídrica de los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>02</sub>**: No hay diferencia entre la huella hídrica de los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

- **P<sub>a3</sub>**: Son sostenibles los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>03</sub>**: No son sostenibles los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Huella Hídrica.

### **2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L).

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTOS
<b>Variable independiente:</b> Cultivos de arveja ( <i>Pisum sativum</i> L) y habas ( <i>Vicia faba</i> L).	Cuantitativa Discreta	Definida como la acción o práctica de sembrar semillas en la tierra y realizar actividades que propicien su desarrollo. (MINAGRI, 2015; tal como se cita en Fuster, 2018)	Los datos se obtendrán del software CROPWAT	Consumo de agua por cultivo.	Inundación Precipitación Evapotranspiración	m <sup>3</sup> /ton Mm/día	Información obtenida de SENAMHI
				Cantidad de agua.	Volumen Humedad del suelo Agua del cultivo.	m <sup>3</sup> gr ml	Equipo multiparámetro GPS  Instrumentos para el muestreo de suelos.
<b>Variable dependiente:</b> Huella hídrica.	Cuantitativa Discreta	Definida como un indicador medioambiental para cuantificar el gasto o consumo de agua al elaborar bienes y servicios. (Hoekstra et al., 2011)	Se procede a tomar datos meteorológicos de la institución SENAMHI para depositarlas al software con las que se obtendrá la HH.	Tipología de modelos  Especies	Cantidad Humedad relativa Tiempo  Habas Arvejas	Unidad Modelo Meses  m <sup>3</sup> /ton	Software CROPWAT

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Con base en Supo & Zacarías (2020), la investigación es de tipo:

- Descriptivo, ya que se detallará el proceso de obtención de la Huella Hídrica.
- Prospectivo, ya que se realizará una simulación de un escenario del que se obtendrán datos.
- Longitudinal, ya que se realizará el muestreo de suelo en un tiempo determinado.
- Analítico, debido a que la investigación trabaja con más de una variable.

Por lo que el presente proyecto se enmarca en el tipo de investigación analítica.

##### **3.1.1. ENFOQUE**

El enfoque de este proyecto investigativo es cuantitativo, ya que se trabaja con datos numéricos, por ende, cuantificables (Supo & Zacarías, 2020).

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL**

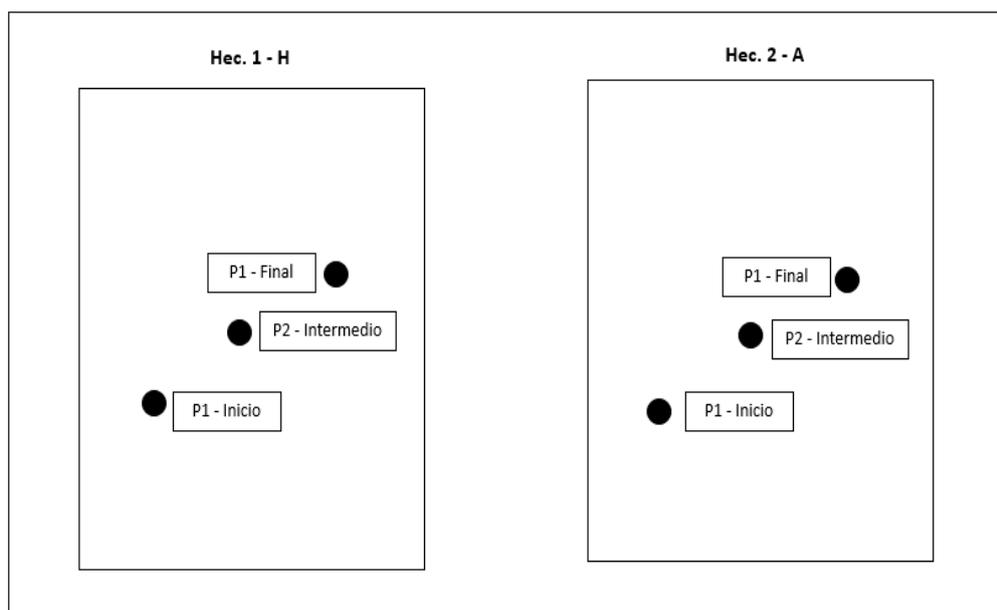
El proyecto es de nivel explicativo observacional, ya que se pretende conocer el consumo hídrico en las especies en estudio, en el que se realizó muestreos de suelo que se llevaron a un laboratorio para determinar el nivel de humedad, nivel biológico y nivel químico (Supo & Zacarías, 2020).

##### **3.1.3. DISEÑO**

El diseño del proyecto se asemeja al diseño no experimental, ya que estructura, condensa y expone la información de manera informativa. La información se muestra en tablas e ilustraciones (Ñaupas et al., 2018).

## Figura 6

*Diseño de la recolección de muestras*



*Nota:* la figura 6 muestra los puntos de muestreo y la etapa en la que serán muestreados.

Donde:

- Ha. 1 – H: Hectárea de Habas
- Ha. 2 – H: Hectárea de Arveja
- P1 – Inicio: Muestreo al inicio de la investigación.
- P2 – Intermedio: Muestreo en la etapa intermedia de la investigación.
- P3 – Final: Muestreo al final de la observación

## 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.2.1. POBLACIÓN

El distrito de Chaglla consta de 63800 hectáreas por 638.00 km<sup>2</sup>; ubicado a 3,040 msnm; la latitud es de -9.845, longitud -75.9031, latitud 9° 50' 42" sur, longitud 75° 54' 11" oeste; horario UTC -5:00. El proyecto se llevó a cabo en campos de cultivo del distrito de Chaglla, provincia de Pano, región Huánuco; esta zona se caracteriza por tener entre 5 a 9 meses de lluvia, la probabilidad de humedad es de 41%, la temporada seca es de 1-5 meses con probabilidad de 7% humedad. La temporada de precipitaciones dura 11-7 meses, con una acumulación media de

agua de 89 mm. En esta región se acostumbra a cultivar arveja de grano verde y haba de grano verde, entre otras cosechas.

### **3.2.2. MUESTRA**

Para obtener las muestras se utilizó un muestreo aleatorio simple, considerando dos cultivos: Arveja (*Pisum sativum* L.) de grano verde y haba (*Vicia faba* L) de grano verde, para esto se usó la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Medio Ambiente, 2014. Se trabajó en 1 hectárea de habas y 1 hectárea de Arveja; se sacaron 2 muestras en la etapa final del cultivo, 1 una muestra de cultivo de arveja y 1 muestra de cultivo de habas.

## **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **3.3.1. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **TÉCNICA DE OBSERVACIÓN**

De acuerdo con Díaz (2011), existe la observación directa, que trata de una observación estructurada, de campo e individual, el observador se pone en contacto con el hecho a observar: y la observación indirecta, que es una observación no estructurada, de laboratorio y de equipo, el observador toma las observaciones previas realizadas por otro investigador. En este proyecto se realizó una observación directa no participante, para ello se utilizaron blocks de notas y fichas como instrumentos para la recolección de datos.

#### **TÉCNICAS DE ANÁLISIS DOCUMENTAL**

Para esto se realizó el análisis de contenido de investigaciones previas, cuyo material bibliográfico permitió al investigador la recolección de datos que ayudaron al enriquecimiento de sus conocimientos y sirvieron también para la comparación de hallazgos.

### **3.3.2. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **INSTRUMENTOS MECÁNICOS**

- Pala
- Pico

- Balanza
- GPS
- Equipo multiparámetro
- Kit básico para muestreo de suelo
- Bolsas ziploc
- Frascos esterilizados
- Cinta métrica (wincha)

## **INSTRUMENTOS DOCUMENTALES**

Para el monitoreo de suelo se utilizaron: Fichas de observación, fichas de registro. Además, para la determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos de las hectáreas en las que se desarrollan los dos cultivos con los que se trabajó.

- Identificación de la zona: llevada a cabo con la visita a la zona de trabajo.
- Puntos de muestreo: cubierta acorde a las necesidades del investigador.
- Materiales y equipos: como materiales se empleó guantes, lentes, entre otros; como equipos son necesarios bolsas ziploc, GPS, balanza, pala, etc.

Este procedimiento se realizó (de acuerdo al D.S N° 002-2013-MINAN (2013).

## **RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA HUELLA HÍDRICA**

Para esto se empleó el manual elaborado por el equipo de investigación Hoesktra et al., (2011), Manual de Evaluación de la Huella Hídrica – Establecimiento del Estándar Mundial. También se tomó como material de apoyo el manual de la Norma ISO 14046:2014, así como la Norma Nacional que promueve la Medición Voluntaria de la Huella Hídrica R.J.N° 246-2015-ANA.

### **3.3.3. CONSIDERACIONES PARA EL TRABAJO DE CAMPO**

Tal como indica la Guía para el Muestreo de los Suelos (MINAM, 2014), para la caracterización se tuvo en cuenta la profundidad a la que

se tomó la muestra, tipo de textura del suelo, accesibilidad a los puntos de muestreo, volumen necesario, instrumentos y documentación de la toma de muestras como características como el olor, color que deben ser debidamente anotadas en las respectivas fichas facilitadas por el laboratorio con el que se trabajó.

### **3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.4.1. PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS**

Se emplearon programas como Excel y SPSS, programas responsables del procesamiento de datos, para lo que se utilizaron tablas y diagramas que mostraron los datos recolectados por el investigador, los cuales son imprescindibles para la descripción y las conclusiones del proyecto.

#### **3.4.2. PARA EL ANÁLISIS DE DATOS**

Se utilizó la estadística descriptiva e inferencial para el estudio de los datos, además de la comparación de hipótesis.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS

### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 4.1.1. MUESTREO DE SUELOS

**Tabla 4**

*Resultados del muestreo de suelo y del cultivo de habas*

<b>cultivo de Habas Vicia faba L</b>	<b>Ph</b>	<b>T °C</b>	<b>C.E dS/m</b>	<b>H %</b>	<b>M.O %</b>	<b>Benceno µg/Kg</b>	<b>Tolueno µg/Kg</b>	<b>Arsénico mg/L</b>	<b>Cadmio mg/L</b>
M-R1	6.03	19.4	0.408	19.14	80.86	0.001	0.006	0.003	0.001
M-R2	6.03	19.4	0.408	19.14	80.86	0.001	0.006	0.003	0.001
M-R3	6.03	19.4	0.408	19.15	80.85	0.001	0.006	0.003	0.001
<b>Suelo de cultivo de Habas Vicia faba L</b>	<b>Ph</b>	<b>T °C</b>	<b>C.E µs/cm</b>	<b>H %</b>	<b>M.O %</b>	<b>Benceno µg/Kg</b>	<b>Tolueno µg/Kg</b>	<b>Arsénico mg/L</b>	<b>Cadmio mg/L</b>
M-R1	7.61	19.8	265.1	2.48	2.18	0.003	0.014	0.017	0.015
M-R2	7.65	19.8	265.7	2.49	2.18	0.003	0.014	0.017	0.015
M-R3	7.65	19.8	266.3	2.45	2.16	0.002	0.015	0.017	0.015

*Nota:* Resultados obtenidos del laboratorio de química ambiental – Universidad César Vallejo (2025)

Respecto a la tabla 4, se tomó por defecto el valor 0.4% como valor general para el agotamiento inicial de humedad, tanto para el cultivo de habas como para el suelo, esto debido a las características de la temperatura del suelo y del cultivo. También se puede observar que el total de materia orgánica del cultivo de habas es de 80.86% y un 2.18% para el suelo, mostrando que el suelo tiene un porcentaje bajo de nutrientes, evidenciando su desgaste.

**Tabla 5***Resultados del muestreo de suelo y del cultivo de arveja*

<b>cultivo de Arveja Pisum sativum L</b>	<b>Ph</b>	<b>T ° C</b>	<b>C.E dS/m</b>	<b>H %</b>	<b>M.O %</b>	<b>Benceno µg/Kg</b>	<b>Tolueno µg/Kg</b>	<b>Arsenic o mg/L</b>	<b>Cadmi o mg/L</b>
M-R1	7.77	19.8	0.419	17.11	67.08	0.001	0.003	0.005	0.001
M-R2	7.75	19.8	0.415	17.11	67.08	0.001	0.003	0.005	0.001
M-R3	7.75	19.8	0.415	17.12	67.09	0.001	0.003	0.005	0.001
<b>Suelo de cultivo de Arveja Pisum</b>	<b>Ph</b>	<b>T ° C</b>	<b>C.E µs/cm</b>	<b>H %</b>	<b>M.O %</b>	<b>Benceno µg/Kg</b>	<b>Tolueno µg/Kg</b>	<b>Arsenic o mg/L</b>	<b>Cadmi o mg/L</b>
M-R1	7.13	27.6	203.1	5.35	2.14	0.002	0.011	0.024	0.019
M-R2	7.13	27.6	203.5	5.38	2.16	0.002	0.011	0.024	0.019
M-R3	1.14	27.6	203.3	5.36	2.14	0.002	0.011	0.024	0.019

*Nota:* Resultados obtenidos del laboratorio de química ambiental – Universidad César Vallejo (2025)

Respecto a la tabla 5, se tomó por defecto el valor 0.8% como valor general para el agotamiento inicial de humedad, tanto para el cultivo de habas como para el suelo, esto debido a las características de la temperatura del suelo y del cultivo. También se puede observar que el total de materia orgánica del cultivo de habas es de 67.08% y un 2.14% para el suelo, mostrando que el suelo tiene un porcentaje bajo de nutrientes, evidenciando su desgaste.

#### 4.1.2. CÁLCULO DEL REQUERIMIENTO DE AGUA DE LOS CULTIVOS DE HABAS Y ALVERJA

**Figura 7**

*Información climática obtenida de la estación Chaglla utilizando el software CROPWAT en relación al clima*

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m <sup>2</sup> /día	ETo mm/día
Enero	12.7	26.7	64	1.2	5.3	18.3	3.99
Febrero	12.4	26.4	66	1.0	4.6	17.1	3.68
Marzo	12.5	25.6	66	1.0	5.4	17.9	3.68
Abril	12.3	26.4	63	1.0	6.0	17.4	3.57
Mayo	9.8	26.6	64	1.2	6.8	16.9	3.43
Junio	9.0	25.8	56	1.2	7.0	16.2	3.29
Julio	8.4	25.7	56	1.2	7.0	16.7	3.33
Agosto	9.7	26.6	65	1.2	7.1	18.3	3.61
Septiembre	11.1	26.9	59	1.3	6.3	18.7	3.98
Octubre	12.2	27.1	59	1.2	5.8	18.8	4.07
Noviembre	12.9	27.8	58	1.2	6.0	19.2	4.23
Diciembre	13.2	27.2	60	1.2	5.7	18.7	4.13
Promedio	11.3	26.6	61	1.2	6.1	17.8	3.75

Los datos fueron obtenidos de la estación Chaglla para luego ser procesados en el software.

### 4.1.3. REQUERIMIENTO DE AGUA AZUL Y VERDE PARA LOS CULTIVOS

Tabla 6

*Resultados de los requerimientos de agua para el cultivo de arveja*

Mes	Dé c	Etap a	Kc coe f	ETc mm/dí a	ETc mm/de c	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/de c	ET VERD E	ET AZU L
Ago	3	Inic	0,2	0,75	4,5	1,5	3,1	1,5	3
Sep	1	Inic	0,2	0,77	7,7	3,4	4,3	3,4	4,3
Sep	2	Des	0,37	1,46	14,6	4,2	10,4	4,2	10,4
Sep	3	Med	0,95	3,79	37,9	6,1	31,8	6,1	31,8
Oct	1	Med	0,99	4,01	40,1	8,5	31,6	8,5	31,6
Oct	2	Med	0,99	4,04	40,4	10,4	30	10,4	30
Oct	3	Med	0,99	4,09	45	11,4	33,6	11,4	33,6
Nov	1	Med	0,99	4,15	41,5	12,2	29,3	12,2	29,3
Nov	2	Med	0,99	4,2	42	13,2	28,8	13,2	28,8
Nov	3	Med	0,99	4,17	41,7	14,7	27	14,7	27
Dic	1	Med	0,99	4,14	41,4	16,9	24,5	16,9	24,5
Dic	2	Fin	0,99	4,08	40,8	18,7	22,1	18,7	22,1
Dic	3	Fin	0,85	3,46	38	17,7	20,3	17,7	20,3
Ene	1	Fin	0,65	2,64	26,4	15,8	10,6	15,8	10,6
Ene	2	Fin	0,47	1,87	18,7	14,8	3,9	14,8	3,9
Ene	3	Fin	0,36	1,4	2,8	3	2,8	3	-0,2
TOTA L					483,6	172,5	314,2	172,5	311

En cuanto a la tabla 6, para determinar el requerimiento de agua que cada cultivo con el que se ha trabajado necesita, se empleó el software CROPWAT; se tuvo como base los datos climatológicos. Se observa que el total de la evapotranspiración del plantío de arveja (ETc) es 483.6, esto muestra la cantidad de agua que se evapora del suelo y la transpiración del cultivo durante su desarrollo. La precipitación efectiva (Peff) es 172.5, esto muestra la parte de agua de lluvia que usa la planta para desarrollarse.

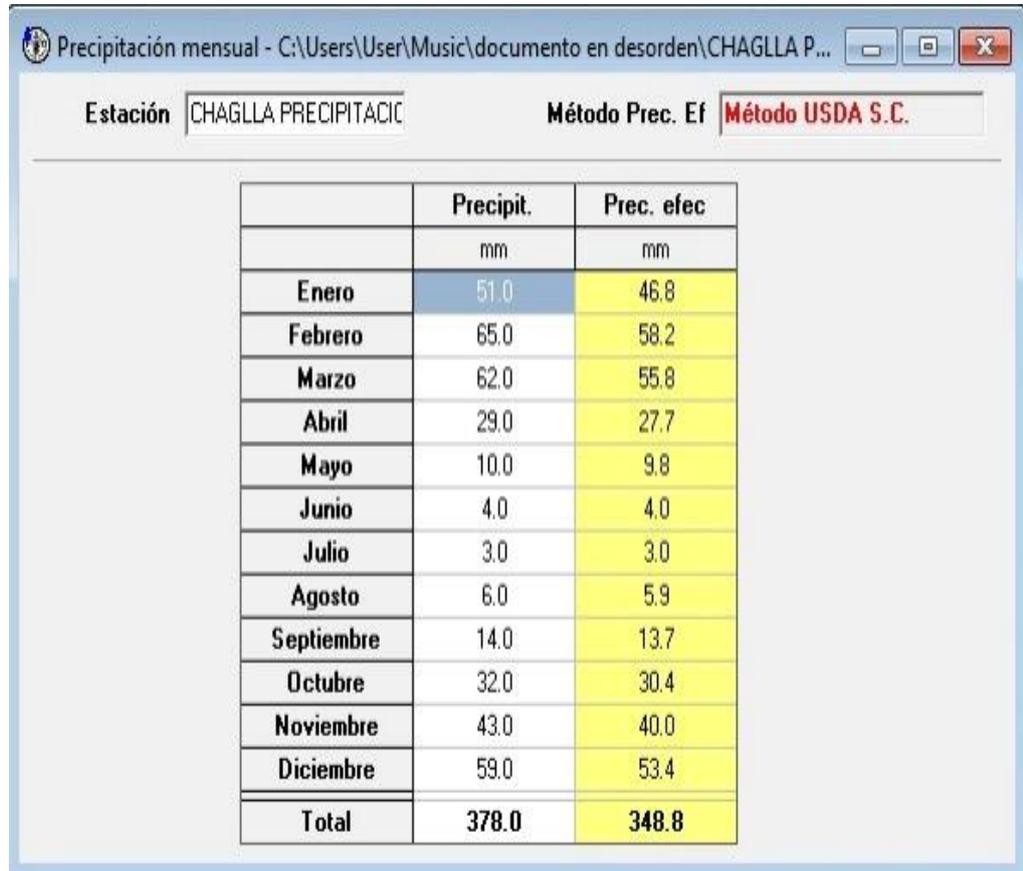
**Tabla 7***Requerimiento de agua para el cultivo de habas*

Mes	Déc	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego	ET	ET
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	VERDE
Jul	3	Inic	0,25	0,86	4,3	0,6	3,7	0,6	3,7
Ago	1	Inic	0,25	0,88	8,8	1,5	7,3	1,5	7,3
Ago	2	Des	0,35	1,28	12,8	1,8	11	1,8	11
Ago	3	Des	0,55	2,05	22,6	2,7	19,9	2,7	19,9
Sep	1	Des	0,75	2,88	28,8	3,4	25,4	3,4	25,4
Sep	2	Des	0,93	3,72	37,2	4,2	33	4,2	33
Sep	3	Med	1,08	4,34	43,4	6,1	37,2	6,1	37,3
Oct	1	Med	1,09	4,41	44,1	8,5	35,7	8,5	35,6
Oct	2	Med	1,09	4,44	44,4	10,4	34	10,4	34
Oct	3	Med	1,09	4,5	49,5	11,4	38,1	11,4	38,1
Nov	1	Med	1,09	4,56	45,6	12,2	33,5	12,2	33,4
Nov	2	Med	1,09	4,62	46,2	13,2	33	13,2	33
Nov	3	Med	1,09	4,59	45,9	14,7	31,2	14,7	31,2
Dic	1	Med	1,09	4,55	45,5	16,9	28,6	16,9	28,6
Dic	2	Fin	1,04	4,29	42,9	18,7	24,2	18,7	24,2
Dic	3	Fin	0,84	3,41	37,5	17,7	19,9	17,7	19,8
Ene	1	Fin	0,63	2,53	25,3	15,8	9,5	15,8	9,5
Ene	2	Fin	0,43	1,71	17,1	14,8	2,3	14,8	2,3
Ene	3	Fin	0,31	1,2	2,4	3	2,4	3	-0,6
TOTAL					604,5	177,6	429,8	177,6	426,7

En cuanto a la tabla 7, para determinar el requerimiento de agua que cada cultivo con el que se ha trabajado necesita, se empleó el software CROPWAT; se tuvo como base los datos climatológicos. Se observa que el total de la evapotranspiración del cultivo de habas (ETc) es 604.5, esto muestra la cantidad de agua que se evapora del suelo y la transpiración del cultivo durante su desarrollo. La precipitación efectiva (Pe<sub>eff</sub>) es 177.6, esto muestra la parte de agua de lluvia que usa la planta para desarrollarse.

**Figura 8**

*Precipitación mensual de la estación Chaglla modelado en el software CROPWAT*



	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	51.0	46.8
<b>Febrero</b>	65.0	58.2
<b>Marzo</b>	62.0	55.8
<b>Abril</b>	29.0	27.7
<b>Mayo</b>	10.0	9.8
<b>Junio</b>	4.0	4.0
<b>Julio</b>	3.0	3.0
<b>Agosto</b>	6.0	5.9
<b>Septiembre</b>	14.0	13.7
<b>Octubre</b>	32.0	30.4
<b>Noviembre</b>	43.0	40.0
<b>Diciembre</b>	59.0	53.4
<b>Total</b>	<b>378.0</b>	<b>348.8</b>

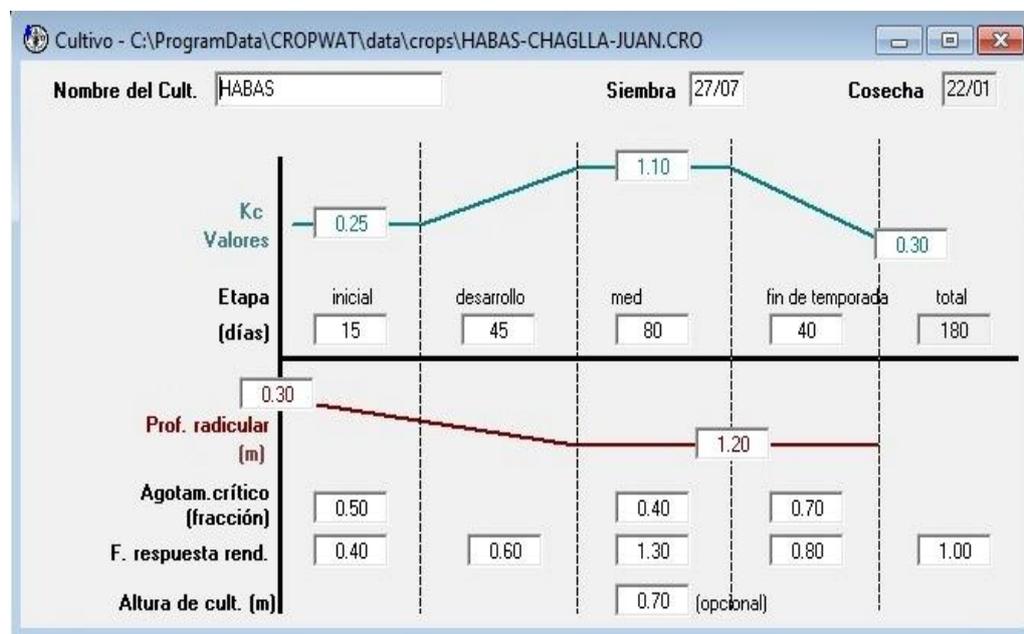
Para la confección de esta tabla fue necesario obtener datos de la precipitación, registrados en (abordados desde) la estación meteorológica de Chaglla.

#### 4.1.3.1. Coeficiente de cultivo para los cultivos de habas y arveja

Para realizar los cálculos respecto a los cultivos se consideraron las fechas de siembra.

**Figura 9**

Información extraída del cultivo de habas para el programa CROPWAT



Fases de crecimiento y coeficiente del cultivo de habas:

Inicial: con una duración aproximada de 15 días y coeficiente de cultivo 0.25.

- Desarrollo de cultivo: con una duración de 45.
- Medios de temporada: duración 80 días y coeficiente 1.10.
- Fase final: 40 días con un coeficiente de 0.30.

**Profundidad radicular:** valor obtenido del trabajo en campo, donde su valor es de 1.20 m.

**Altura de cultivo:** altura aproximada de 0.70 m.

**Tabla 8**

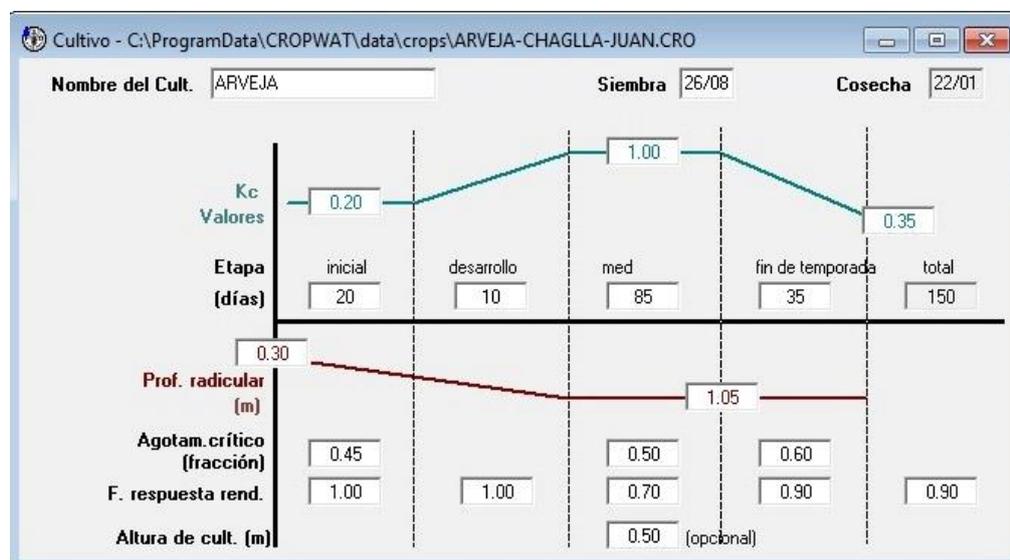
Fracción de agotamiento ( $p$ ) para el cultivo de habas

CULTIVO	E. INICIAL	E. MEDIA	E. FINAL
HABAS	0.50	0.40	0.70

Respecto a la tabla 8, la tabla muestra una fracción del total del agua disponible para el cultivo de habas.

**Figura 10**

*Datos obtenidos de la variable del cultivo de arveja para el software CROPWAT*



Fases de crecimiento y coeficiente del cultivo de habas:

- Inicial: con una duración aproximada de 20 días y coeficiente de cultivo 0.20.
- Desarrollo de cultivo: con una duración de 10.
- Medios de temporada: duración 85 días y coeficiente 1.00.
- Fase final: 35 días con un coeficiente de 0.35.

**Profundidad radicular:** valor obtenido del trabajo en campo, donde su valor es de 1.05 m.

**Altura de cultivo:** altura aproximada de 0.50 m.

**Tabla 9**

*Fracción de agotamiento (p) para el cultivo de arveja*

CULTIVO	E. INICIAL	E. MEDIA	E. FINAL
ARVEJA	0.45	0.50	0.60

Respecto a la tabla 9, la tabla muestra una fracción del total del agua disponible para el cultivo de arveja.

**Figura 11**

*Datos del suelo procesados con el software CROPWAT*

The screenshot shows a window titled 'Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\JUAN-CHAGLLA.SOI'. The 'Nombre del suelo' field contains 'RED LOAMY'. Below this, a section titled 'Datos generales de suelo' contains several input fields with their respective units:

Variable	Valor	Unidad
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	180.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	200	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	180.0	mm/metro

El valor empleado para la determinación de la humedad disponible en el suelo ha sido de 180 mm/m. El software CROPWAT trabaja con un valor de referencia de 30 mm/día.

#### **4.1.4. AGUA VIRTUAL, HUELLA HÍDRICA VERDE Y AZUL**

**Tabla 10**

*Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de las habas*

<b>MESES</b>	<b>ETo (mm/mes)</b>
Agosto	4.3
Setiembre	44.2
Octubre	109.4
Noviembre	137.7
Diciembre	125.9
Enero	44.8

En cuanto a la tabla 10, a través de la simulación se obtiene la correlación entre las variables de estudio (ET verde), donde la precipitación representa el agua que la especie necesita y que puede ser abastecida por el agua verde, el requerimiento de riego es la cantidad de agua que la especie necesita y que debe ser suplida por el riego (ET azul).

**Tabla 11***Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la arveja*

MESES	ETo (mm/mes)
Agosto	4.5
Setiembre	60.2
Octubre	125.5
Noviembre	125.2
Diciembre	120.2
Enero	47.9

Respecto a la tabla 11, mediante el uso de software se recrea la relación efectiva entre las variables. En este caso, la variable precipitación efectiva simboliza el agua necesaria para el cultivo que puede ser suministrada por la precipitación (ET verde), mientras que la variable Requerimiento Actual de Riego representa el agua que necesita ser suministrada mediante el riego (ET azul).

**Figura 12***Requerimiento de agua de cultivo de habas procesado en el software CROPWAT*

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETo	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jul	3	Inic	0.25	0.86	4.3	0.6	3.7
Ago	1	Inic	0.25	0.88	8.8	1.5	7.3
Ago	2	Des	0.35	1.28	12.8	1.8	11.0
Ago	3	Des	0.55	2.05	22.6	2.7	19.9
Sep	1	Des	0.75	2.88	28.8	3.4	25.4
Sep	2	Des	0.93	3.72	37.2	4.2	33.0
Sep	3	Med	1.08	4.34	43.4	6.1	37.2
Oct	1	Med	1.09	4.41	44.1	8.5	35.7
Oct	2	Med	1.09	4.44	44.4	10.4	34.0
Oct	3	Med	1.09	4.50	49.5	11.4	38.1
Nov	1	Med	1.09	4.56	45.6	12.2	33.5
Nov	2	Med	1.09	4.62	46.2	13.2	33.0
Nov	3	Med	1.09	4.59	45.9	14.7	31.2
Dic	1	Med	1.09	4.55	45.5	16.9	28.6
Dic	2	Fin	1.04	4.29	42.9	18.7	24.2
Dic	3	Fin	0.84	3.41	37.5	17.7	19.9
Ene	1	Fin	0.63	2.53	25.3	15.8	9.5
Ene	2	Fin	0.43	1.71	17.1	14.8	2.3
Ene	3	Fin	0.31	1.20	2.4	3.0	2.4
					<b>604.5</b>	<b>177.6</b>	<b>429.8</b>

**Figura 13**

Resultados de los requerimientos de agua para el cultivo de arveja procesado en el software CROPWARE

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo CHAGLLA				Cultivo ARVEJA			
Est. de lluvia CHAGLLA PRECIPITAC				Fecha de siembra 26/08			
Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ago	3	Inic	0.20	0.75	4.5	1.5	3.1
Sep	1	Inic	0.20	0.77	7.7	3.4	4.3
Sep	2	Des	0.37	1.46	14.6	4.2	10.4
Sep	3	Med	0.95	3.79	37.9	6.1	31.8
Oct	1	Med	0.99	4.01	40.1	8.5	31.6
Oct	2	Med	0.99	4.04	40.4	10.4	30.0
Oct	3	Med	0.99	4.09	45.0	11.4	33.6
Nov	1	Med	0.99	4.15	41.5	12.2	29.3
Nov	2	Med	0.99	4.20	42.0	13.2	28.8
Nov	3	Med	0.99	4.17	41.7	14.7	27.0
Dic	1	Med	0.99	4.14	41.4	16.9	24.5
Dic	2	Fin	0.99	4.08	40.8	18.7	22.1
Dic	3	Fin	0.85	3.46	38.0	17.7	20.3
Ene	1	Fin	0.65	2.64	26.4	15.8	10.6
Ene	2	Fin	0.47	1.87	18.7	14.8	3.9
Ene	3	Fin	0.36	1.40	2.8	3.0	2.8
					<b>483.6</b>	<b>172.5</b>	<b>314.2</b>

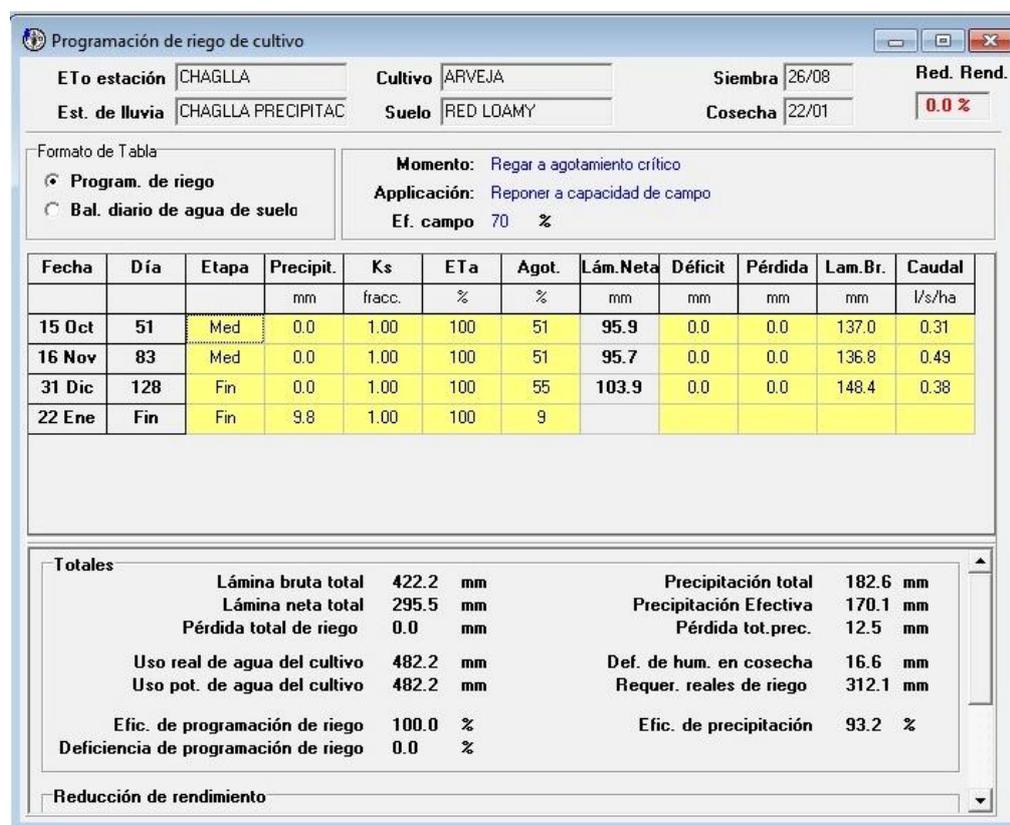
**Figura 14**

Programación de requerimiento de riego para el cultivo de habas

Programación de riego de cultivo											
ETo estación CHAGLLA				Cultivo HABAS		Siembra 27/07		Red. Rend. 0.0 %			
Est. de lluvia CHAGLLA PRECIPITAC				Suelo RED LOAMY		Cosecha 22/01					
Formato de Tabla						Momento: Regar a agotamiento crítico					
<input checked="" type="radio"/> Program. de riego						Aplicación: Reponer a capacidad de campo					
<input type="radio"/> Bal. diario de agua de suelo						Ef. campo 70 %					
Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
14 Sep	50	Des	0.0	1.00	100	43	80.4	0.0	0.0	114.9	0.27
9 Oct	75	Med	0.0	1.00	100	41	88.1	0.0	0.0	125.8	0.58
4 Nov	101	Med	0.0	1.00	100	40	87.1	0.0	0.0	124.4	0.55
1 Dic	128	Med	0.0	1.00	100	40	87.5	0.0	0.0	124.9	0.54
22 Ene	Fin	Fin	0.0	1.00	0	36					
<b>Totales</b>											
Lámina bruta total			490.1	mm	Precipitación total			187.9	mm		
Lámina neta total			343.1	mm	Precipitación Efectiva			182.5	mm		
Pérdida total de riego			0.0	mm	Pérdida tot.prec.			5.4	mm		
Uso real de agua del cultivo			603.3	mm	Def. de hum. en cosecha			77.6	mm		
Uso pot. de agua del cultivo			603.3	mm	Requer. reales de riego			420.7	mm		
Efic. de programación de riego			100.0	%	Efic. de precipitación			97.1	%		
Deficiencia de programación de riego			0.0	%							
Reducción de rendimiento											

**Figura 15**

*Datos de la programación de los requerimientos de de riego para el cultivo de arveja*



**Tabla 12**

*Necesidad de agua de cultivo del componente verde y azul de las habas*

CWU (m³/ha)	
CWU verde	177.6
CWU azul	429.8

Respecto a la tabla 12, el valor que se utilizó para el rendimiento de cultivo de habas es 3.1, este valor se extrajo del MINAGRI.

**Tabla 13**

*Necesidad de agua para el cultivo del componente verde y azul de la arveja*

CWU (m³/ha)	
CWU verde	172.5
CWU azul	314.2

Respecto a la tabla 13, el valor que se utilizó para el rendimiento de cultivo de habas es 2.2, este valor se extrajo del MINAGRI.

### **Huella Hídrica Verde y Azul:**

Para hallar la huella hídrica verde y azul se reemplaza los valores CWU de cada plantío y el rendimiento de cada cultivo, para el cultivo de habas es 3.1 y para la arveja es 2.2; los datos de rendimiento de cultivo se obtuvieron del MINAGRI.

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

$$ET_{\text{azul}} = \min (0, ET_c - P_{\text{eff}}) \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \right]$$

#### **- Huella Hídrica Verde y Azul del Habas:**

$$HH_{\text{verde}} = \frac{177.6 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}{3.1 \frac{\text{ton}}{\text{ha}}} = 57.29 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}}$$

$$HH_{\text{azul}} = \frac{429.8 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}{3.1 \frac{\text{ton}}{\text{ha}}} = 138.65 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}}$$

#### **- Huella Hídrica Verde y Azul de la arveja:**

$$HH_{\text{verde}} = \frac{172.5 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}{2.2 \frac{\text{ton}}{\text{ha}}} = 78.41 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}}$$

$$HH_{\text{azul}} = \frac{314.2 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}{2.2 \frac{\text{ton}}{\text{ha}}} = 142.82 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}}$$

*Nota.* En cuanto a la Huella Hídrica Gris, no se aplicó porque estos cultivos no utilizan químicos; esto de acuerdo al análisis de suelos y a la

referenciado del administrador de las chacras, solo se usa abono de ganado.

**Tabla 14**

*Huella hídrica verde y azul para el cultivo de habas y arveja*

	<b>CWUverde</b>	<b>CWUazul</b>	<b>Y</b>	<b>HHverde</b>	<b>HHazul</b>
	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>Ton/ha</b>	<b>m<sup>3</sup>/ton</b>	<b>m<sup>3</sup>/ton</b>
HABAS	177.6	429.8	3.1	57.29	138.65
ARVEJA	172.5	314.2	2.2	78.41	142.82

Respecto a la tabla 14, contiene los datos obtenidos previamente, que se pueden visualizar en las tablas anteriores. Los datos de esta tabla se trabajan de la siguiente manera:

**Huella Hídrica Total:**

$$HH_{total} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris}$$

- **Huella Hídrica Total del Habas:**

$$HH_{total} = 57.29 \frac{m^3}{ton} + 138.65 \frac{m^3}{ton} = 195.94 \frac{m^3}{ton}$$

- **Huella Hídrica Total de la Arveja:**

$$HH_{total} = 78.41 \frac{m^3}{ton} + 142.82 \frac{m^3}{ton} = 221.23 \frac{m^3}{ton}$$

**Tabla 15**

*Peso porcentual de la Huella Hídrica*

<b>CULTIVO</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>PESO PORCENTUAL %</b>
HABAS	HH Verde	10.3
	HH Azul	119.4
ARVEJA	HH Verde	28.3
	HH Azul	42.0

Respecto a la tabla 15, la tabla contiene la síntesis de los porcentajes de las huellas hídricas verde y azul de los cultivos de arveja y habas.

**Tabla 16**

Valores de Huella Hídrica verde, azul y total de los cultivos de habas y Arveja a nivel nacional

PRODUCTO	HUELLA HIDRICA (L/kg)		
	VERDE	AZUL	TOTAL
HABAS	1308	375	1683
ARVEJA	319	142	461

Respecto a la tabla 16, los valores están basados en los datos del MINAGRI (2008-2012) y SENAMHI.

**Tabla 17**

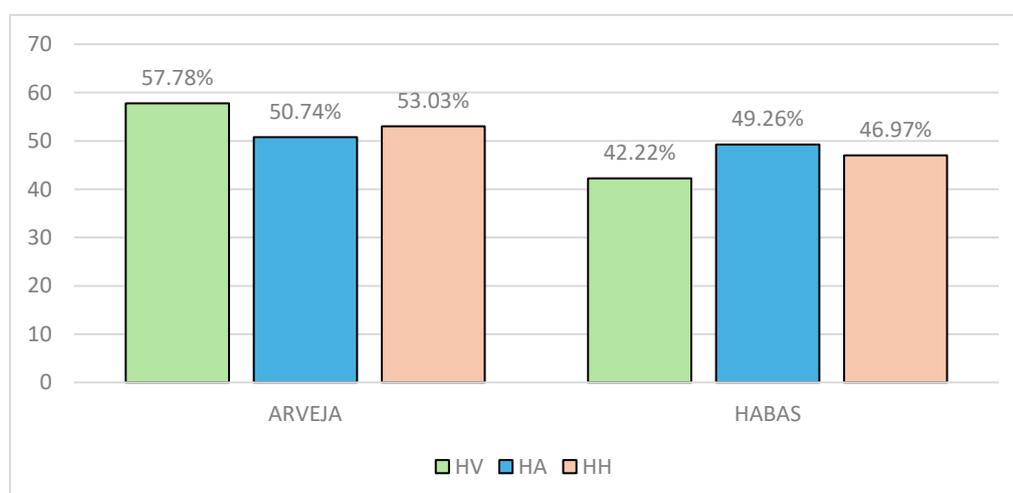
Valores de Huella Hídrica verde, azul y total para los cultivos de habas y arveja en todo el país, calculados con la Huella Hídrica calculada

PRODUCTO	HUELLA HÍDRICA (m3/ton)					
	HUELLA HIDRICA NACIONAL			HUELLA HIDRICA CALCULADA		
	VERDE	AZUL	TOTAL	VERDE	AZUL	TOTAL
HABAS	1308	375	1683	57.29	138.65	195.94
ARVEJA	319	142	461	78.41	142.82	221.23

Respecto a la tabla 17, los valores están basados en los datos de MINAGRI (2008-2012) y SENAMHI.

**Figura 16**

Porcentaje de la huella hídrica verde, azul y total de los cultivos de arveja y habas



Nota: elaboración propia (2025)

El diagrama se ajusta a los datos de la tabla 17, evidenciando que el 57.78% corresponde al valor de la huella hídrica verde (HV) de la arveja, en comparación con el 42.22% correspondiente a la huella hídrica verde de las habas. La huella hídrica azul (HA) de la arveja equivale al 50.74%, en comparación con el 49.26% del valor de las habas. Además, se nota que la huella hidrológica total (HH) de la arveja constituye un 53.03% en comparación con el 46.97% correspondiente al cultivo de habas.

#### 4.1.5. VALIDEZ DE INSTRUMENTOS

**Tabla 18**

*Valoración de instrumentos*

EXPERTOS	N.º DE COLEGIATURA	PROMEDIO DE PORCENTAJE DE VALORACIÓN	VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO
Fuster Castro, Vladimir	2332532	85%	ACEPTABLE
Párraga Rodríguez, Alejandro	50194	85%	ACEPTABLE
Trujillo Reynoso, Diana	333078	85%	ACEPTABLE

La tabla 18 muestra la valoración del instrumento, donde tres ingenieros expertos en el tema realizaron una evaluación, concretando que, con un 85%, que el instrumento es aceptable.

#### 4.1.6. PRUEBA DE CONFIABILIDAD

**Tabla 19**

*Procesamiento de datos para el análisis de confiabilidad del instrumento*

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
,784	,788	2

En relación con la tabla 19, el Alfa de Cronbach se sitúa en 0.784, lo que señala una elevada fiabilidad del instrumento CROPWAT para evaluar la huella hídrica de los cultivos de arveja y habas.

#### 4.1.7. PRUEBA DE NORMALIDAD

**Tabla 20**

*Prueba de normalidad para evaluar los datos recolectados en los cultivos de arveja y habas*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VAR-ARV	,283	2	,000	,803	2	,01
VAR-HAB	,230	2	,009	,856	2	,008

Respecto a la tabla 20, como se trata de una muestra pequeña, se ha empleado el test de Shapiro-Wilk. Se observa que el p-valor de la muestra del cultivo de arveja es 0.001, siendo menor a 0.05; el p-valor de la muestra del cultivo de habas es 0.008, siendo esta menor a 0.05; en ambos casos el nivel de significancia es menor, lo que indica que la muestra no sigue una distribución normal, por lo tanto, se utilizó ensayos estadísticos no paramétricos.

## 4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

### 4.2.1. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

En primer lugar, se evaluó los datos de la huella hídrica (HH) de los cultivos de la arveja y habas mediante el planteamiento de la siguiente hipótesis:

**P<sub>a</sub>:** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT determina la huella hídrica en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>0</sub>:** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT no determina la huella hídrica en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**Nivel de significancia:** 5%

- **P<0.05:** rechazamos la hipótesis nula ( $P_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $P_a$ ).
- **p>0.05:** aceptamos la hipótesis nula ( $P_0$ ) y rechazamos la hipótesis alterna ( $P_a$ ).

**Tabla 21**

*Prueba de hipótesis del objetivo general*

HH-ABA – HH-ARV	
Z	-2,093 <sup>b</sup>
Sig. asin. (bilateral)	,036

En relación con la tabla 21, presenta los datos obtenidos de las muestras de arveja y habas, donde se evaluó la huella hídrica (HH) a través del software CROPWAT. Se evidencia que el nivel de significancia es de 0.036, siendo inferior a 0.05, se logra que  $p<0.05$ , por lo que: descartamos la hipótesis nula ( $P_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $P_a$ ).

Como se mencionó anteriormente, la simulación prospectiva utilizando el programa CROPWAT establece la huella de agua en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla. Afirmación que se sostiene en los resultados obtenidos a través del software.

#### **4.2.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

**Nivel de significancia: 5%**

- **P<0.05:** rechazamos la hipótesis nula ( $P_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $P_1$ ).
- **p>0.05:** aceptamos la hipótesis nula ( $P_0$ ) y rechazamos la hipótesis alterna ( $P_1$ ).

#### **HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1**

**$P_{a1}$ :** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT puede obtener información sobre la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas “*Vicia faba* L” en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>01</sub>:** La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT no puede obtener información sobre la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas “*Vicia faba* L” en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**Tabla 22**

*Prueba estadística del primer objetivo específico*

HHV - HHA	
Z	-3,018 <sup>b</sup>
Sig. asin. (bilateral)	,003

En relación con la tabla 22, presenta la información de las muestras de cultivos de arveja y habas, donde se analizaron la huella hídrica verde y la huella hídrica azul a través del software CROPWAT. Se nota que el nivel de significancia es 0.003, inferior a 0.05, por lo que  $p < 0.05$ . Por ende: descartamos la hipótesis nula ( $P_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $P_{a1}$ ).

Como se ha mencionado anteriormente, la simulación prospectiva a través del software CROPWAT puede proporcionar datos acerca de la huella hídrica de color verde, azul y gris en los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla, afirmación que se sostiene en los resultados obtenidos a través de software.

## HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2

**P<sub>a2</sub>:** Hay diferencias entre la huella hídrica de los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas “*Vicia faba* L” en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>02</sub>:** No hay diferencia entre la huella hídrica de los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas “*Vicia faba* L” en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

- $\mu_{a2} \neq \mu_0$ , Las medias son diferentes, es decir: sí hay diferencia significativa entre la huella hídrica de los cultivos de habas y arveja.

- $u_{a2} = u_0$ , las medias son iguales, es decir: no hay diferencia significativa entre las huellas hídricas de los cultivos de habas y arveja.

**Tabla 23**

*Prueba de medias entre la huella hídrica de los cultivos de arveja y habas*

		HH- ARV	HH- HAB
N	Válido	19	19
	Perdidos	0	0
Media		25,447	31,815
		4	8

Respecto a la tabla 23, donde se observa las medias de los cultivos de arveja y habas, se puede decir que:  $u_{a2} \neq u_0$ , hay diferencia significativa entre la huella hídrica de los cultivos de habas y arveja.

**Tabla 24**

*Prueba de hipótesis del segundo objetivo específico*

HH-ABA – HH-ARV	
Z	-2,093 <sup>b</sup>
Sig. asin. (bilateral)	,036

En relación con la tabla 24, donde se puede apreciar que se alcanza el nivel de significancia (0.036) que es inferior a  $p < 0.05$ , se adopta la hipótesis alterna y se descarta la hipótesis nula. Por ende: Existen variaciones en la huella hídrica de las plantaciones de arveja (*Pisum sativum* L) y las habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla. Afirmación que se sostiene en los resultados obtenidos a través de software.

### HIPÓTESIS ESPECIFICA 3

**P<sub>a3</sub>**: Son sostenibles los cultivos de arveja "*Pisum sativum* L" y habas "*Vicia faba* L" en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**P<sub>03</sub>**: No son sostenibles los cultivos de arveja "*Pisum sativum* L" y habas "*Vicia faba* L" en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.

**Tabla 25**

*Prueba de hipótesis del tercer objetivo específico*

VAR00002 - VAR00001	
Z	-1,892 <sup>b</sup>
Sig. asin. (bilateral)	,039

En relación con la tabla 25, incluye los datos de las muestras de arveja y habas, así como el requisito de agua para ambas. Se nota que el nivel de significancia es de 0.039, inferior a 0.05, se logra que  $p < 0.05$ . Por ende: descartamos la hipótesis nula ( $P_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $P_{a1}$ ).

Por lo expuesto: Son sostenibles los cultivos de arveja (*Pisum sativum* L) y habas (*Vicia faba* L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025. Afirmación que se sostiene en los resultados obtenidos a través de software y la comparación con la huella hídrica nacional de para los cultivos de arveja y habas.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Respecto al objetivo general: mediante la simulación prospectiva se pudo procesar datos propios de los cultivos, como evapotranspiración, requerimiento de agua, entre otros; todos estos datos fueron procesados mediante el software CROPWAT, con el que se obtuvo que la huella hídrica verde del cultivo de arveja 78.29 m<sup>3</sup>/ton y la huella hídrica azul 142.82 m<sup>3</sup>/ton, siendo la huella hídrica total (HH) 221.23 m<sup>3</sup>/ton; la huella hídrica verde del cultivo de habas es 57.29 m<sup>3</sup>/ton y la huella hídrica azul es 138.65 m<sup>3</sup>/ton, siendo la huella hídrica total (HH) 195.94 m<sup>3</sup>/ton; la sumatoria de las huellas hídricas totales es de 417.17 m<sup>3</sup>/ton. El valor de la huella hídrica gris vendría a ser 0, debido a que no ha sido evaluada porque los cultivos no emplean productos químicos, de acuerdo al análisis de suelos y a la propia referencia del administrador de las chacras.

- En relación a esto, Quispe (2021), cuyo estudio se enfocó en descubrir la huella hídrica y la ecoeficiencia en el sector agrícola (15 cultivos) de la provincia de Chupaca. Es notable el valor alcanzado de la huella hídrica total (HH) de la arveja y el haba, que fue de 86895.94 m<sup>3</sup>/ton y 130851.14 m<sup>3</sup>/ton respectivamente. Este proyecto también utilizó el software CROPWAT para el estudio de la huella hídrica.
- Teniendo en cuanto a Nieto (2021), que evaluó indicadores agronómicos de leguminosas y estimó que la huella hídrica en específico del cultivo de garbanzo oscila entre 400mm y 600mm, destacando que el 50% es agua azul, 35% agua verde y 15% de agua gris. Nieto ha obtenido la mayoría de sus datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, así como la Agencia Estatal de Meteorológico de España, que si tiene registros completos de las características y necesidades de los cultivos que producen; sus datos fueron procesados con los softwares CLIMWAT y CROPWAT.

- Citando a Ortiz & Villaverde (2023), cuya tesis se basó en calcular la huella hídrica total (HH) y el rendimiento de cultivos en el distrito de Chupaca donde evaluó 5 cultivos: cebolla, maíz, papa piquiña, papa chacu y zanahoria; la huella hídrica total de los 5 cultivos es 54186.51 m<sup>3</sup>/ton. Para el procesamiento de datos empleó el software CROPWAT e infostat. El software es capaz de determinar la huella hídrica de diversos cultivos.
- Con base en Muller (2022), cuya tesis comprende la estimación de la huella hídrica generada por la municipalidad de Pachitea, donde el valor obtenido es 37.049 m<sup>3</sup>/mes; en este caso, para el procesamiento de datos no se empleó el Software CROPWAT, debido a que este software solo se puede emplear para la determinación de la huella hídrica, evapotranspiración y esquemas de riego; para determinar la huella hídrica de este caso ha sido necesario el empleo de diversas fórmulas realizadas de manera manual y empleando Excel para conseguir analizar el valor de las variables y así estimar la huella hídrica.

Respecto al primer objetivo específico: el procesamiento de datos con el software CROPWAT permitió analizar la huella hídrica verde y azul de las muestras de cultivo con los que se realizó el proyecto, siendo el valor de estos 78.41 m<sup>3</sup>/ton y 142.82 m<sup>3</sup>/ton para el cultivo de arveja, 57.29 m<sup>3</sup>/ton y 138.65 m<sup>3</sup>/ton para el cultivo de habas; la huella hídrica nacional verde y azul para el cultivo de arveja es 319 m<sup>3</sup>/ton y 142 m<sup>3</sup>/ton respectivamente, para el cultivo de habas es 1308 m<sup>3</sup>/ton y 375 m<sup>3</sup>/ton respectivamente, siendo mayor a lo obtenido en Chaglla. La huella hídrica gris no ha sido analizada debido a que estos cultivos no usan químicos, solo emplean abono de ganado; esto de acuerdo al análisis de suelos y a la referencia del administrador de las chacras; en todo caso, el valor de la huella hídrica gris vendría a ser 0.

- Citando a Quispe (2021), en cuyo trabajo se evaluó la huella hídrica de 15 cultivos, entre estos arveja y habas, donde, mediante la simulación con el software CROPWAT procesó los datos de los cultivos obteniendo la huella hídrica verde, azul y gris de la arveja, siendo el valor de estos 33160.01 m<sup>3</sup>/ton, 53678.21 m<sup>3</sup>/ton y 57.71 m<sup>3</sup>/ton respectivamente; así mismo, analizó la huella hídrica verde, azul y gris del cultivo de habas, siendo el

valor de estas 59390.86 m<sup>3</sup>/ton, 71368.59 m<sup>3</sup>/ton y 91.69 m<sup>3</sup>/ton respectivamente.

- Citando los resultados de Huanca (2021), donde evaluó la huella hídrica del cultivo de kañiwa, cultivo que se da en los andes del Perú, mediante la simulación prospectiva con el software CROPWAT analizó la huella hídrica verde y azul del cultivo mencionado, obteniendo 22939.52 m<sup>3</sup>/ton y 31200.57 m<sup>3</sup>/ton respectivamente. Mostrando la versatilidad del software para el análisis de la huella hídrica de diversos cultivos. En este caso tampoco se evaluó la huella hídrica gris.
- Con base en Muller (2022), donde el proyecto consiste en la determinación de la huella hídrica de la municipalidad de Pachitea, el valor de la huella hídrica azul es 1.387 m<sup>3</sup>/trabajador y el valor de la huella hídrica gris es 2.299 m<sup>3</sup>/mes; en este caso no se emplea huella hídrica verde para hallar la estimación total de la huella hídrica, pero si se necesita la huella hídrica gris; el procesamiento de datos no se llevó a cabo a través del software CROPWAT, se empleó diversas fórmulas que deben realizarse de manera manual empelando Excel para hallar las diversas variables que son necesarias para la determinación de la huella hídrica.

Respecto al segundo objetivo específico: la huella hídrica total para el cultivo de arveja es 221.23 m<sup>3</sup>/ton, donde la huella hídrica verde y azul son 142.82 m<sup>3</sup>/ton y 78.41 m<sup>3</sup>/ton respectivamente; la huella hídrica total del cultivo de habas es 195.94 m<sup>3</sup>/ton, donde la huella hídrica verde y azul son 57.29 m<sup>3</sup>/ton y 138.65 m<sup>3</sup>/ton. Si bien las variables que se requieren del cultivo para el procesamiento de datos con el software CROPWAT son el mismo para ambos cultivos y para todos los cultivos de forma general, las huellas hídricas varían. Se puede observar que el valor de la huella hídrica total, verde y azul del cultivo de habas son menores al cultivo de arveja, lo que indica que el cultivo de habas requiere menos agua para su producción en el distrito de Chaglla.

- Tomando los datos obtenidos por Quispe (2021), después de haber evaluado la huella hídrica de 15 cultivos, donde dos de ellas son la arveja y habas, obteniendo los siguientes valores: 86895.94 m<sup>3</sup>/ton para el cultivo de arveja y 130851.14 m<sup>3</sup>/ton para el cultivo de habas; se puede

observar que la huella hídrica de ambos cultivos son diferentes, mostrando que la huella hídrica del cultivo de habas es superior al cultivo de arveja, lo que indica que en la provincia de Chupaca producir habas requiere de mayor cantidad de agua que producir arveja.

- Teniendo en cuenta a Ortiz & Villaverde (2023), donde evalúa la huella hídrica de 5 cultivos, se pudo observar que el cultivo de maíz es el que presenta la huella hídrica total más alta, siendo 21899.31 m<sup>3</sup>/ton y el cultivo con la huella hídrica total más baja es una de las 3 variedades de papa, siendo la variedad conocida como piquiña con un valor de huella hídrica total de 1820.50 m<sup>3</sup>/ton; se observa que producir maíz requiere el empleo de mayor cantidad de agua que producir papa piquiña.

Respecto al tercer objetivo específico: teniendo en cuenta que la huella hídrica total de los cultivos de arveja y habas son 221.23 m<sup>3</sup>/ton y 195.94 m<sup>3</sup>/ton respectivamente, se puede observar que la demanda de agua es baja para ambos cultivos. Esto se contrasta con los datos de Fuster (2018), quien evaluó la huella hídrica de los cultivos de papa y maíz en el distrito de Chaglla, obteniendo una huella hídrica total de 566 m<sup>3</sup>/ton y 1088 m<sup>3</sup>/ton respectivamente. Entonces, se observa que los cultivos de arveja y habas tienen menos demanda de agua a comparación de otros cultivos del distrito. También se puede acotar que estos cultivos no usan químicos, ya que el valor de la huella hídrica gris vendría a ser 0.

- Citando los datos de Quispe (2021), donde evalúa la huella hídrica de 15 cultivos, entre ellos arveja y habas, donde sus huellas hídricas totales son 86895.94 m<sup>3</sup>/ton y 130851.14 m<sup>3</sup>/ton, no son de los cultivos con menos demanda de agua para su producción. La papa nativa y la papa color son los cultivos con menor demanda de agua, la huella hídrica respectiva es 3961.40 m<sup>3</sup>/ton y 7199.09 m<sup>3</sup>/ton, es mucho menor a comparación de los cultivos de arveja y habas. Sin embargo, las leguminosas están entre los cultivos sostenibles y con menos huella hídrica.
- Teniendo en cuenta a Ferreras et al., (2024), donde analizó la huella hídrica gris de la viticultura local en Mendoza, Argentina y su impacto en los recursos hídricos; el investigador tuvo en cuenta que la industria usa 7 tipos de herbicidas, 7 tipos de insecticidas y 24 fungicidas en sus

cultivos. Determinó que la huella hídrica gris es  $1.10 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  a  $1.87 \times 10^8 \text{ m}^3$  al año, algo de  $1.10 \text{ m}^3$  de agua por kg de uva, alrededor de 187 millones de  $\text{m}^3$  de agua por año para tratar los contaminantes. No hace falta saber la huella hídrica verde ni azul para saber que la huella hídrica total es alta; claramente esta forma de producir no es sostenible e impacta negativamente en los recursos hídricos.

El estudio demuestra que el software CROPWAT es un mecanismo positivo no solo para la determinación de la huella hídrica como tal, también proporciona información importante sobre aspectos como el requerimiento de agua de cada cultivo; por ejemplo, para este estudio el software determinó que el requerimiento de agua verde para los cultivos de arveja y habas es  $177.6 \text{ m}^3/\text{ton}$  y  $172.5 \text{ m}^3/\text{ton}$ , pero al analizar la huella hídrica verde observamos que el valor es  $78.41 \text{ m}^3/\text{ton}$  para la arveja y  $57.29 \text{ m}^3/\text{ton}$  para el habas; así como, el requerimiento de agua azul para los cultivos de arveja y habas son  $314.2 \text{ m}^3/\text{ton}$  y  $429.8 \text{ m}^3/\text{ton}$ , los valores de huella hídrica azul para los cultivos de arveja y habas son  $142.82 \text{ m}^3/\text{ton}$  y  $138.65 \text{ m}^3/\text{ton}$  respectivamente. Se observa que la huella hídrica verde y azul son menores al requerimiento de agua de cada cultivo, lo que demuestra que los suelos de Chaglla tienen humedad alta, por ende, tienen alta capacidad de almacenar agua en humedad, propiciando que se necesite menos agua para producir el cultivo. La huella hídrica verde nacional para el cultivo de arveja y habas es  $319 \text{ m}^3/\text{ton}$  y  $1308 \text{ m}^3/\text{ton}$ , la huella hídrica azul nacional para ambos cultivos es  $142 \text{ m}^3/\text{ton}$  y  $375 \text{ m}^3/\text{ton}$ , siendo la huella hídrica total nacional para cada cultivo igual a  $461 \text{ m}^3/\text{ton}$  para la arveja y  $1683 \text{ m}^3/\text{ton}$  para el habas; aquí podemos observar que la huella hídrica total de la arveja y el habas son menores a la huella hídrica nacional, siendo estos sus valores: para la arveja  $221.23 \text{ m}^3/\text{ton}$  y  $195.94 \text{ m}^3/\text{ton}$  para el habas, donde podemos decir que en el distrito de Chaglla se requiere menos agua para producir estos cultivos. También se tienen en cuenta un factor importante, los agricultores de este distrito no usan agua potable, solo emplean agua azul y verde; el distrito de Chaglla posee cuerpos de agua y es un lugar en el que las precipitaciones son constantes. El software CROPWAT es de gran ayuda en el sector agrario, pero solo se puede emplear en este sector.

## CONCLUSIONES

Según los estudios efectuados, se deduce que la simulación prospectiva a través del software CROPWAT tiene la capacidad de calcular eficientemente la huella hídrica de los cultivos de arveja y habas en el distrito de Chaglla, con valores de 221.3 m<sup>3</sup>/ton y 195.94 m<sup>3</sup>/ton respectivamente.

Para el primer objetivo específico, Se deduce que, la simulación prospectiva a través del software CROPWAT establece de manera eficiente la huella hídrica verde de los cultivos de arveja y habas, con valores de 78.41 m<sup>3</sup>/ton y 57.29 m<sup>3</sup>/ton; la simulación prospectiva a través del software CROPWAT establece de manera eficiente la huella hídrica azul de los cultivos de arveja y habas, con valores de 142.82 m<sup>3</sup>/ton y 138.65 m<sup>3</sup>/ton; la huella hídrica gris no ha sido analizada para este caso.

Para el segundo objetivo específico, se concluye que la huella hídrica del cultivo de habas es menor a la huella hídrica del cultivo de arveja, ya que la huella hídrica de la arveja representa el 53.03% frente al 46.97% de lo que representa la huella hídrica de las habas; el cultivo de habas requiere menos agua que el cultivo de arveja para su producción en el distrito de Chaglla.

Para el tercer objetivo específico, de acuerdo con los resultados obtenidos, donde se evidencia que la huella hídrica de los cultivos de arveja y habas son menores a la huella hídrica nacional para estos dos cultivos, se concluye que la producción de arveja y habas son sostenibles en el distrito de Chaglla.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar siempre análisis previos del suelo, así como tener información sobre los recursos hídricos que la zona posee; tener claro las características del cultivo con el que se va a trabajar, es decir, el cultivo deber ser analizado en un laboratorio.
- El requerimiento de agua de un cultivo no solo depende del cultivo, también depende del tipo de suelo, del clima y de la disposición propia de agua que tiene la zona, son puntos a tener en cuenta al momento de analizar la huella hídrica.
- A la municipalidad del distrito de Chaglla, se le recomienda tener data, sobre todo actualizada, de los cuerpos de agua del distrito, así como el potencial de sus tierras respecto a qué cultivos son óptimos producir sin representar una carga hídrica negativa. Esto para tener algo concreto con que comparar los estudios que se realizan.
- A la Universidad de Huánuco, se recomienda impartir la enseñanza del software CROPWAT a los alumnos de la escuela de Ingeniería Ambiental, ya que representa algo positivo para el futuro profesional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AgroPerú. (30 de Junio de 2024). *AGROPERÚ*. Obtenido de <https://www.agroperu.pe/exportacion-de-arveja-peruana-registro-un-incremento-en-mayo-de-2024>
- Amigo, J. (27 de Noviembre de 2018). *Mundo Huerto*. Obtenido de <https://www.mundohuerto.com/cultivos/guisante-arveja/origen>
- Arosi, D. (2020). *Rendimiento en grano seco de líneas promisorias en arveja (Pisum sativum L.) en El Valle del Mantaro*. Universidad Agraria La Molina, Perú. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/>
- Arteaga, R., Angeles, V., & Vazquez, M. (Abril de 2011). Programa CROPWAT para planeación y manejo del curso hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(2). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-)
- BBVA. (19 de Octubre de 2023). Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-y-como-se-mide-la-huella-hidrica-el-agua-que-comemos/>
- Cárdenas, L. (2023). *“Eficacia de la implementación del programa consumo sostenible en la huella hídrica de los pobladores de Yarumayo, Huánuco, 2022*. Universidad de Huánuco, Huánuco, Huánuco, Perú. Obtenido de <file:///C:/Users/diana/Downloads/C%C3%A1rdenas%20Abal,%20Lilian%20Adela>
- Castro, C., & Barrera, N. (2014). *Evaluación de la huella hídrica en la producción de rosas y habas en tres hestareas del Municipio de Sesquile*. Universidad De La Salle, Bobotá, Colombia. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1315&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1315&context=ing_ambiental_sanitaria)
- CEPROBOL. (2004). Sistema de información y asesoramiento en Comercialización para productos agrícolas CEPROBOL - IICD. *Centro*

de *Promoción Bolivia*. Obtenido de  
<https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/25697>

Chiner, E. (2011). Materiales docentes de la asignatura Métodos, Diseños y Técnicas de Investigación. *RUA*. Obtenido de  
<http://hdl.handle.net/10045/19380>

COSUDE. (2012). Conozca más sobre la Huella Hídrica. *Programa Global Andino*, 5. Obtenido de [https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2012/03/9\\_huella\\_hidrica\\_conozca\\_mas](https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2012/03/9_huella_hidrica_conozca_mas)

De Bernardi, L. (2017). Perfil de las arvejas (*Pisum sativum*). *Mercados Agropecuarios*, 13. Obtenido de  
[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_mercados\\_agropecuarios/areas/regionales/\\_archivos](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/regionales/_archivos)

Díaz, L. (2011). *La observación* (1 ed.). (E. Gómez, Ed.) México D.F., México. Obtenido de  
[https://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/La\\_observacion\\_Lidia\\_Diaz\\_Sanjuan\\_Texto\\_Apoyo\\_Didactico\\_Metodo\\_Clinico\\_3\\_Sem](https://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/La_observacion_Lidia_Diaz_Sanjuan_Texto_Apoyo_Didactico_Metodo_Clinico_3_Sem)

Distrito.pe. (s.f). Obtenido de <https://www.districto.pe/districto-chaglla.html>

Ferreras, V., Lana, B., & Astorga, O. (Febrero de 2024). “¿Cuánto impacta la viticultura sobre la calidad de los recursos hídricos? Un análisis de la Huella Hídrica Gris asociada al uso de pesticidas en una microrregión vitivinícola de Mendoza, Argentina. *Red Nacional de Investigación de Economía*(306), 27. Obtenido de  
<https://rednie.eco.unc.edu.ar/files/DT/306>

Fuster, V. (2018). *La simulación prospectiva mediante el software Cropwat para la determinación de la Huella Hídrica influye en los cultivos de la papa amarilla “Solanum Phureja” y el maíz choclo “Zea Mays” del distrito de Chaglla, departamento de Huánuco, 2018*. Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/21820>

- Generalitat Valenciana. (2023). *Cuaderno de Comercio y Sostenibilidad - Huella Hídrica*. Valencia, España: Cámara Valencia. Obtenido de <https://www.camaravalencia.com/wp-content/uploads/2023/01/huella-hidrica>
- GORECHO. (2008). *Plan Estratégico Regional Agrario*. Obtenido de [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/transparencia/planes\\_estrategicos\\_regionales/huanuco](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/transparencia/planes_estrategicos_regionales/huanuco)
- Herrera, M. (2021). *EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE LA PAPA (Solanum)*. Universidad Privada San Carlos, Puno, Puno, Perú. Obtenido de [http://34.127.45.135/bitstream/handle/UPSC%20S.A.C./242/Miriam\\_Gianella\\_HERRERA\\_LOZANO](http://34.127.45.135/bitstream/handle/UPSC%20S.A.C./242/Miriam_Gianella_HERRERA_LOZANO)
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *Manual de Evaluación de la Huella Hídrica - Establecimiento del Estándar Mundial*. (S. A. AENOR internacional, Ed.) Madrid: AENOR Internacional, S. A. U. Obtenido de [https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_Spanish](https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish)
- Huanca, E., Apaza, S., & Flores, E. (2021). Huella hídrica del cultivo de Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en las cuencas Coate e Illpa, Puno. *Revista de Investigaciones*, 10(2), 54 - 71. doi:<https://doi.org/10.26788/riepg.v10i2.2672>
- Hughes, G. (Dirección). (2023). *Por qué una arveja sin sabor a arveja se plantea como la nueva revolución en comida sostenible* [Película].
- INIA. (2004). *Cultivo del Haba* (1ra ed.). (C. C. Publicaciones, Ed.) Lima, Perú. Obtenido de [https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/274/1/Cultivo\\_del\\_Haba.pdf](https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/274/1/Cultivo_del_Haba.pdf)
- INIA. (Junio de 2004). Haba INIA 401 - CUSCO. *Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria*, 2. Obtenido de <https://www.inia.gob.pe/wp->

content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/haba/  
INIA\_401

ISO 14046. (2014). *Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina. Análisi y recomendaciones para una coherencia regional*. Suiza: Centro de Análisis de Vida y Diseño Sustentable CADIS. Obtenido de [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/archivos/paginas/huella\\_de\\_agua\\_en\\_america\\_latina](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/archivos/paginas/huella_de_agua_en_america_latina)

Mallma, T., & Mejía, J. (2015). Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la sierra central y comercializados en Lima. *Revista Apuntes de Ciencias & Sociedad*, 5(1). Obtenido de <https://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/308>

Marcos, I. (Dirección). (2022). *¿Por qué las habas son la nueva soja del siglo XXI?* [Película].

MARM. (2011). *Huella Hídrica de España*. (M. d. Marino, Ed.) España: RALI, S. A. Obtenido de <https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PH-C-2015-2021/ReferenciasBibliograficas/UsosdelAgua/MARM,2011c.Huella>

Mendoza, Á., & Moreira, A. (2023). *Evaluación de la influencia de los cultivos agrícolas sobre el consumo de agua en la microcuenca del río Caña*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Feliz Lopez, Manabí, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2029>

Meneses, B., & Sesma, B. (2013). Simulación Prospectiva. *Simulación Prospectiva*. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

MIDAGRI. (8 de Diciembre de 2021). *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/568349-midagri-liberan-potencial-variedad-de-haba-para-mejorar-rentabilidad-de-pequenos-productores>

- MINAGRI. (2016). *Leguminosas de grano "semillas nutritivas para un futuro sostenible"*. (H. P. Pardo, Ed.) Lima: GALU GRAF S.A.C. Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/legumbres/catalogo-leguminosas>
- MINAGRI; ANA; COSUDE; WWF. (2015). *Huella hídrica del Perú. Sector agripecuario*. (P. León, & C. Toranzo, Edits.) Lima, Perú. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/huella-hidrica-2015-ana-peru](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/huella-hidrica-2015-ana-peru)
- MINAM. (2014). *Guía para el Muestreo de Suelos*. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final>
- Montoriol, J. (1 de Abril de 2022). *CaixaBank*. Obtenido de <https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/agroalimentario/uso-del-agua-agricultura-avanzando-modernizacion-del-regadio-y>
- Muller, G. (2022). *Estimación de la huella hídrica, carbono y gestión de los residuos de la municipalidad provincial de Pachitea – Huánuco 2021*. Universidad de Huánuco, Huánuco, Huánuco, Perú. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3382>
- Nieto, I. (2021). *Evaluación de indicadores agronómicos del cultivo de leguminosas y estimación de la huella hídrica del cultivo de garbanzo en España*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. doi:69075
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Vollagómez, A. (2018). *Metodología de la Investigación* (4ta ed.). Ediciones de la U. Obtenido de <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0028>
- OPP. (2017). *Introducción a la Prospectiva Síntesis Metodológica*. (G. Goyeneche, & T. Parodi, Edits.) Montevideo, Uruguay.
- Ortiz, A., & Villaverde, M. (2023). *Huella hídrica y rendimiento de cultivos agrícolas en el distrito de Chupaca*. Universidad Nacional del Centro

del Perú, Huancayo. Obtenido de  
[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9515/T010\\_70234688\\_T.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9515/T010_70234688_T.pdf?sequence=8&isAllowed=y)

Ortiz, A., & Villaverde, N. (2023). *Huella Hídrica y rendimiento de cultivos agrícolas en el distrito de Chupaca*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Chupaca, Perú. Obtenido de  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle>

Quispe, U. (2021). *Ecoeficiencia del sector agrícola y huella hídrica para la sustentabilidad económica, provincia de Chupaca - 2020*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Obtenido de  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/6941>

RAE. (2014). *Real Academia Española*.

RAE. (2023). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/huella>

Saavedra, G. (2022). Arveja Verde *Pisum sativum* L. (G. Saavedra, & E. Kehr, Edits.) *Instituto de investigaciones agropecuarias*(472), 315. Obtenido de  
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/ce9665c6-c4a5-406c-a819-cb4eac975d29/content>

Saavedra, G. (2022). Haba. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 20. Obtenido de  
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/22e101ef-356b-4233-b323-95bc05c96bf5/content>

Supo, J., & Zacarías, H. (2020). *Metodología de la Investigación Científica: Para Las Ciencias de la Salud y Las Ciencias Sociales*. Lima, Perú: Amazon Digital Services LLC . Obtenido de  
[https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=NmdRCgsAAAAJ&citation\\_for\\_view=NmdRCgsAAAAJ:9yKSN-GCB0IC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=NmdRCgsAAAAJ&citation_for_view=NmdRCgsAAAAJ:9yKSN-GCB0IC)

UNESCO. (21 de Marzo de 2023). *UNESCO*. Obtenido de  
<https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>

- WWF. (2013). *Estado del arte de la medición de la huella hídrica a nivel nacional e internacional*. Obtenido de [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/rd\\_007-2015-ana-dcprh\\_reportes\\_1\\_2\\_3.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/rd_007-2015-ana-dcprh_reportes_1_2_3.pdf)
- WWF. (2015). *Huella hídrica del Perú. Sector Agropecuario*. (J. Leon, & C. Toranzo, Edits.) Biblioteca Nacional del Perú. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/huella-hidrica-2015-ana-peru](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/huella-hidrica-2015-ana-peru)
- Zarza, L. (s.f.). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua-virtual>
- Zuñiga, A. (2021). *Monitoreo de los efectos de las plagas en cultivo asociado de haba (*Vicia faba* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en la provincia de Acobamba*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. Obtenido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7f1b950b-ff9e-4ca5-8180-29db87e0b80b/content>

## **CÓMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACION**

Hidalgo Castro, J. (2025). Determinación de la Huella Hídrica en los cultivos de arveja "*Pisum sativum* L" y habas "*Vicia faba* L" mediante la simulación prospectiva utilizando el Software Cropwat Chaglla – 2025. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.<http://...>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Matriz de consistencia

“Simulación Prospectiva Mediante el Software CROPWAT para la Determinación de la Huella Hídrica en los cultivos de Arveja  
“*Pisum sativum* L” y habas “*Vicia faba* L” en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODO
<p>¿Puede la simulación prospectiva mediante el software CROPWAT determinar la huella hídrica en los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cómo la simulación prospectiva mediante el software CROPWAT ayuda a obtener información sobre la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?</p> <p>¿Qué diferencias hay entre la huella hídrica de los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y</p>	<p>Determinar la Huella Hídrica en los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L) mediante la simulación prospectiva utilizando el software CROPWAT en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.</p> <p><b>OBJETIVOS GENERALES</b></p> <p>Analizar la simulación prospectiva mediante el software CROPWAT para determinar la huella hídrica verde, azul y gris en los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.</p> <p>Comparar la huella hídrica entre los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas</p>	<p><b>Ha:</b> La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT determina la huella hídrica en los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.</p> <p><b>H0:</b> La simulación prospectiva mediante el software CROPWAT no determina la huella hídrica en los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i>) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L).</p> <p>Inundación Precipitación</p> <p>Volumen Humedad del suelo Agua del cultivo.</p> <p>Químicos Biológicos</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Huella hídrica total</p> <p>Humedad relativa Tiempo</p>	<p>Se contempla como población de estudio a los cultivos de Arveja y Haba, ubicados en el distrito de Chaglla, provincia de Pachitea, Departamento de Huánuco.</p> <p>Para la muestra se realizará la caracterización de la tierra obtenida de la hectárea donde se desarrollan los cultivos, que será enviada a un laboratorio para su análisis.</p> <p>Para la simulación prospectiva mediante el software CROPWAT de la Huella Hídrica se empleará los datos obtenidos de los cultivos de arveja y haba.</p>

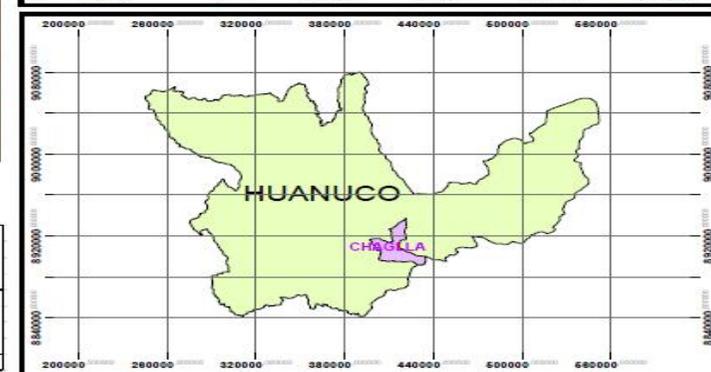
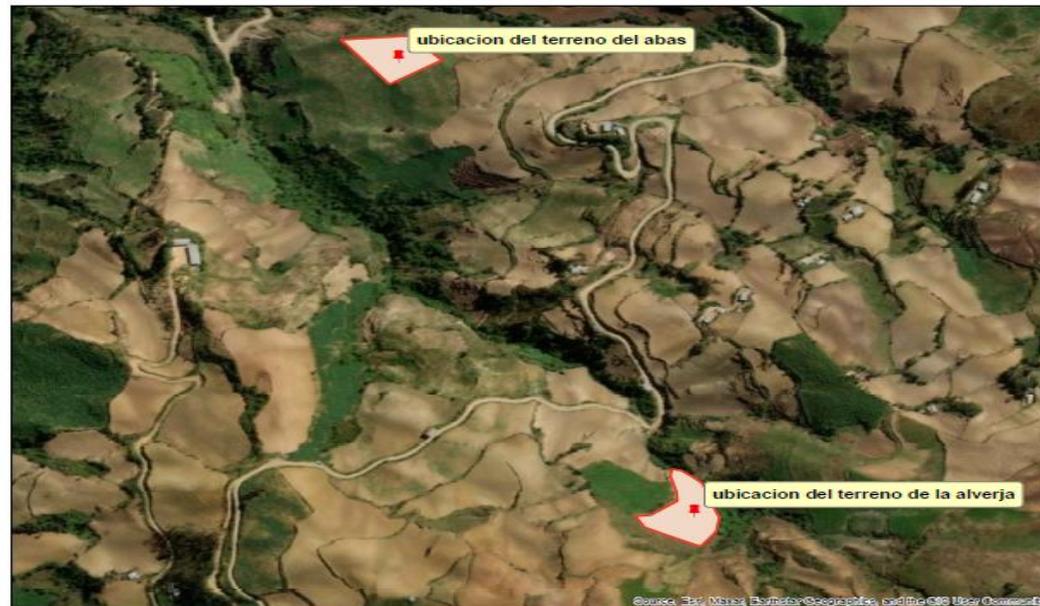
---

<p>habas (<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?</p> <p>¿Son sostenibles los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025?</p>	<p>(<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.</p> <p>Evaluar la sostenibilidad de los cultivos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L) y habas (<i>Vicia faba</i> L) en el distrito de Chaglla – Huánuco 2025.</p>	<p>Huella hídrica verde</p> <p>Huella Hídrica azul</p> <p>Huella hídrica gris</p>
--	--	---

---

## ANEXO 2

### Mapa de ubicación del lugar de estudio



LEYENDA	
	HABAS Y ALVERJA
	CHAGLLA
	HUANUCO

UDH		Proyecto Simulación prospectiva mediante el Software CROPWAT para la determinación de la Huella Hídrica en los cultivos de arveja "Pisum Sativum L." y habas "Vicia Faba L." en el distrito de Chaglla - Huanuco 2024"		INGENIERIA AMBIENTAL	
MAPA DE UBICACION					
TEJISTA:	ESCALA:	DEPARTAMENTO:	DISTRITO:	LAMINA	
HIDALGO CASTRO JUAN DANIEL	1/100 000	HUANUCO	CHAGLLA	1	
CULTIVO DE ARVEJA:	COORDENADAS:	399706.61 m E	8909307.93 m S	DATUM: WGS84	
HABAS:	COORDENADAS:	399439.96 m E	8909902.15 m S	PROYECCION: UTM Zona 18s	

## ANEXO 3

### Validación de instrumento



#### VALIDACION DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: *Parraga Rodríguez Alejandro*
- 1.2. Cargo e institución donde labora: *Geogismap Proyectos SAC.*
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evolución: *SOFTWARE CROWAT – HUELLA HIDRICA*
- 1.4. Autor (A) de Instrumento: *Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura*

**II. ASPECTOS DE VALIDACION**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulación con lenguaje comprensible											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X	
4. ORGANIZACION	Existe una organización lógica											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los impactos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y dispositivo aplicado para lograr aprobar las hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y una adecuación al método científico												X	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- > El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- > El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

**SI**

**IV. PROMEDIO DE VALORACION**

**85%**

Huánuco, octubre 16 del 2024

  
 Vladimír Marlon Fuster Castro  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 CIP. 233278

  
**VLADIMIR MARLON FUSTER CASTRO**  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP N° 233253

  
 FIRMANTE EXPERTO INFORMANTE  
 DNI: N° 08500626  
 ING. ALEJANDRO E. PARRAGA RODRIGUEZ  
 ESPECIALISTA EN AFECTACIONES FREDALES  
 CIP. 50194

## ANEXO 4

### Informes de los resultados de laboratorio

#### Informe 1

#### Informe de resultados de muestreo de suelos

LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL UCV - LIMA NORTE									
INFORME DE RESULTADOS - MUESTREO DE SUELOS									

Tipo de ensayo:	Analisis fisicoquimico
Tipo de muestra:	Suelo Habas (Vicia Faba L)
Ubicación del muestreo:	Caserío de Ila Tingo - Distrito de Chaglla
Muestra tomado por:	Juan Daniel Hidalgo Castro
Fecha de muestreo:	22/01/2025
Numero de muestra:	1

cultivo de Habas Vicia faba L	Ph	T °C	C.E dS/m	H %	M.O %	Benceno µg/Kg	Tolueno µg/Kg	Arsenico mg/L	Cadmio mg/L
M-R1	6.03	19.4	0.408	19.14	80.86	0.001	0.006	0.003	0.001
M-R2	6.03	19.4	0.408	19.14	80.86	0.001	0.006	0.003	0.001
M-R3	6.03	19.4	0.408	19.15	80.85	0.001	0.006	0.003	0.001

Suelo de cultivo de Habas Vicia faba L	Ph	T °C	C.E µs/cm	H %	M.O %	Benceno µg/Kg	Tolueno µg/Kg	Arsenico mg/L	Cadmio mg/L
M-R1	7.61	19.8	265.1	2.48	2.18	0.003	0.014	0.017	0.015
M-R2	7.65	19.8	265.7	2.49	2.18	0.003	0.014	0.017	0.015
M-R3	7.65	19.8	266.3	2.45	2.16	0.002	0.015	0.017	0.015

Tipo de ensayo:	Analisis fisicoquimico
Tipo de muestra:	Suelo Arveja (Pisum sativum L)
Ubicación del muestreo:	Caserío de Ila Tingo - Distrito de Chaglla
Muestra tomado por:	Juan Daniel Hidalgo Castro
Fecha de muestreo:	22/01/2025
Numero de muestra:	1

cultivo de Arveja Pisum sativum L	Ph	T °C	C.E dS/m	H %	M.O %	Benceno µg/Kg	Tolueno µg/Kg	Arsenico mg/L	Cadmio mg/L
M-R1	7.77	19.8	0.419	17.11	67.08	0.001	0.003	0.005	0.001
M-R2	7.75	19.8	0.415	17.11	67.08	0.001	0.003	0.005	0.001
M-R3	7.75	19.8	0.415	17.12	67.09	0.001	0.003	0.005	0.001

Suelo de cultivo de Arveja Pisum	Ph	T °C	C.E µs/cm	H %	M.O %	Benceno µg/Kg	Tolueno µg/Kg	Arsenico mg/L	Cadmio mg/L
M-R1	7.13	27.6	203.1	5.35	2.14	0.002	0.011	0.024	0.019
M-R2	7.13	27.6	203.5	5.38	2.16	0.002	0.011	0.024	0.019
M-R3	1.14	27.6	203.3	5.36	2.14	0.002	0.011	0.024	0.019

**Metodología de analisis:**

Determinacion de humedad: metodo gravimétrico, se utilizó una estufa marca DAHIAN SCIEN modelo OVEN, rango temperatura 0 - 200 °C  
 Determinacion de materia orgánica: metodo gravimétrico, se utilizó una mufia marca NABERTH rangode de temperatura de 30 - 3000°C  
 Medoto de Kjeldahl  
 medoto del Olsen, extraccion con NaHCO3=05M, p H 8.5  
 Extraccion con acetato de amonio (CH3-COONH4)N, p H 7.0  
 Saturacion con acetato de amonio (CH3-COONH4)N, p H 7.0  
 APHA-AWWA-WEF (2012) 5210 B  
 APHA-AWWA-WEF (2012) 5220 B  
 Metodo de espectofotometria  
**Equipo Utilizado:** Multiparametro Hanna edge  
**Código interno:** 6053633  
 Espectofotómetro UV  
 6007328  
 Equipo de filtración con bomba de vacío  
 653626  
 Equipo Kjeldahl  
 600956  
 Equipo de destilación de gases  
 6009523  
 Mufia marca NABERTHERM  
 6009521  
 Horno de secado DAHIAN SCIENTIFIC  
 D06-006556  
 Desecador con solica gel marca NORMAX certificado con iso 13130  
 D06-007317

  
 HITLER  
 ROMAN PEREZ  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP N° 344579

## Informe 2

### Informe de resultados de las propiedades físicas del suelo – práctica N° 3

#### II. COMPETENCIAS

- Determinar la densidad real por el método del picnómetro.
- Determinar la densidad aparente por el método de la parafina.
- Hallar el porcentaje de la humedad en muestras de suelo (método gravimétrico).
- Cálculos de la Porosidad, y Espacio Aéreo, en base a la densidad real y densidad aparente.

#### III. PRINCIPIOS TEÓRICOS

##### DENSIDAD REAL O DENSIDAD DE PARTÍCULA

Se le denomina también densidad de partículas o densidad de los sólidos. Es una relación de la masa de suelo seco a la estufa (105°) por la unidad de volumen de los sólidos del suelo.

$$dr = Ms / Vs \quad (\text{gr/cm}^3)$$

Donde:

dr: densidad real

Ms: masa de sólidos o masa de suelo seco a estufa (105 °C)

Vs: Volumen de sólidos

El valor promedio de la densidad de partícula depende de la cantidad de de cada componente en el suelo.

##### MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL

a. **Método del picnómetro:** mediante este método la determinación de la densidad real se halla midiendo el volumen del fluido desplazado por una masa conocida de suelo en un frasco volumétrico o picnómetro (fiola).

Los valores típicos varían de 2.5 a 2.8 g/cm<sup>3</sup>, siendo 2.65 g/cm<sup>3</sup> el valor representativo de muchos suelos y el valor de densidad de partícula para el cuarzo. La densidad de las partículas no proporciona información acerca de los procesos físicos del suelo. Sin embargo, es un valor muy útil y participa en el cálculo de propiedades del suelo como la porosidad y la distribución del tamaño de las partículas. La mayoría de los métodos estándares señalan la remoción de la materia orgánica, de tal manera que, la densidad de las partículas refleje solamente la fase mineral. Éste es el mejor valor para utilizarse en el análisis del tamaño de las partículas, pero quizás no sea el mejor valor para el cálculo de la porosidad. El incluir la fracción orgánica en esta determinación significa que los valores obtenidos pueden cambiar con las prácticas de manejo del suelo

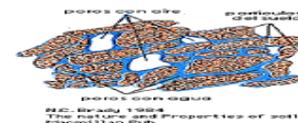
La porosidad (P) está muy relacionada con los valores de la densidad real y aparente; la densidad real se define como la relación entre el peso seco del suelo y el volumen correspondiente a las partículas sólidas excluyendo en este último caso, el volumen correspondiente al suelo incluyendo en él, su porosidad.

$$\% P = ((dr - da) / dr) * 100$$

$$\% P = (1 - (da / dr)) * 100$$

$$\% P = \left( \frac{V_{\text{poros}}}{V_t} \right) \times 100$$

La densidad aparente de un suelo varía entre 1 y 2 y la densidad real varía bastante, considerándose, para los suelos agrícolas un valor medio de 2.65.



##### ESPACIO AÉREO

Es el espacio de los poros en el suelo, que no está ocupado por el agua.

$$\% E = \left( 1 - \frac{da}{dr} - \frac{\text{Humedad} \times da}{100dw} \right) \times 100$$

da = densidad aparente

dr = densidad real

dw = densidad del agua

El espacio aéreo influye en la difusividad del aire en el suelo y consecuentemente en la aireación de las raíces.

#### IV. MATERIALES

1. Muestras de diferentes suelos (tierra)
2. Mortero
3. espátula
4. Vaso de precipitado 200 mL
5. crisoles de porcelana
6. 1 Probeta 100 mL
7. Papel filtro
8. Embudo
9. Balanza electrónica de precisión aprox. 0.1 gr
10. Agua destilada
11. Estufa a temperatura de 110°
12. Mechero bunsen
13. Soporte Universal, fosforo
14. Agitador o piceta vidrio
15. 01 fiola de 200 mL

16. Luna de reloj
17. Parafina (vela)
18. Hilo

#### V. DETALLES EXPERIMENTALES

##### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO

1. Identifique el picnómetro (fiola) para el tipo de suelo
2. Pesar las fiolas (secas) (Pp)
3. Llenar el picnómetros con agua destilada, hasta la marca (marca de 200 mL) y pesar (el exterior debe estar completamente seco) (Ppw)
4. Llenar  $\frac{1}{4}$  del volumen de la fiola con agua destilada y depositar 20 g de suelo, previamente pesado. Con la bagueta agitar suavemente para expulsar completamente el aire que se encuentra atrapado en el suelo y pesar (Pps)
5. Luego llenar el picnómetro (fiola) con agua destilada hasta la marca señalada y pesar (Ppws)
6. Determinar la densidad real

$$d_r = \frac{d_w (P_{ps} - P_p)}{(P_{pw} + P_{ps} - P_{pws}) - P_p}$$

Donde:

$d_w$ : densidad del agua ( $1 \text{ g/cm}^3$ )

$P_p$ : peso del picnómetro (g)

$P_{pw}$ : peso del picnómetro con agua

$P_{ps}$ : peso del picnómetro con suelo

$P_{pws}$ : peso del picnómetro con mezcla de suelo y agua

N°	Detalle	Simbología	Ejemplo	Resultado
1.	Identifique el picnómetro (fiola) para el tipo de suelo			
2.	Pesar las fiolas (secas)	Pp	78.8 gr	
3.	Llenar los picnómetros con agua destilada, hasta la marca y pesar (el exterior debe estar completamente seco)	Ppw	281.0 gr	
4.	En la fiola depositar 20 g. de suelo, previamente pesado. Con la bagueta agitar suavemente para expulsar completamente el aire que se encuentra atrapado en el suelo y pesar	Pps	96.8 gr	

5.	Luego llenar el picnómetro (fiola) y la muestra de suelo con agua destilada hasta la marca señalada y pesar	Ppws	292.0 gr	
6.	Determinar la densidad real $d_r = \frac{d_w (P_{ps} - P_p)}{(P_{pw} + P_{ps} - P_{pws}) - P_p}$	$d_r$		

##### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE POR EL MÉTODO DE LA PARAFINA

1. En un vaso de precipitado de 250 mL se colocó 2 velas.
2. Se puso a calentar en la parrilla eléctrica hasta derretirla por completo.
3. Se seleccionaron 2 terrones.
4. Se pesó cada terrón en la balanza, (peso del terrón inicial)
5. Se introdujo los 2 terrones para su secado a una temperatura de  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  por 15 minutos
6. Se retiraron las muestras y posteriormente se amarraron con un hilo
7. Se pesó cada terrón con el hilo. (Terrón sin humedad)
8. Se introdujo cada muestra en el vaso de precipitado con la cera derretida. Seguidamente se parafina el terrón procurando que quede completamente impermeabilizado para evitar que penetre agua a la muestra
9. se pesó nuevamente las muestras con la parafina. (Terrón con parafina)
10. Se colocó 40 ml en una probeta de 100 mL.
11. Se introdujeron las muestras en la probeta.
12. Se anotó el volumen desalojado.
13. Aplicación de la fórmula para determinar la densidad.

##### CÁLCULOS:

$D_{ap} = \frac{\text{Peso de suelo seco (en gramos)}}{\text{Volumen total (cm}^3\text{) o (ml.)}}$

Densidad de la Parafina =  $0.9 \text{ gr/cm}^3$

Volumen de Agua desplazada = .....  $\text{cm}^3$

Peso del terrón sin parafina = ..... gr.

Peso del terrón cubierto con la parafina = ..... gr.

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Masa del Terrón}}{\text{V. desplazado} - \text{V. Parafina}}$$

$$\text{Volumen de la parafina} = \frac{\text{Peso de la Parafina}}{\text{Densidad de la Parafina}}$$

$$\text{Volumen de la Parafina} = \frac{\text{Peso del terrón cubierto con la parafina} - \text{Peso del terrón sin parafina}}{\text{Densidad de la Parafina}}$$

$$\text{Volumen de la Parafina} = \text{..... cm}^3$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso del terrón sin parafina (g)}}{\text{..... cm}^3}$$

**CALCULAR EL % ESPACIO AÉREO POR FORMULA DE LA MUESTRA**

**VI. REPORTE DE RESULTADOS**

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DE LA MUESTRA SUELO g/ml	
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL (g/ml)	
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DE LA MUESTRA SUELO g/ml	
CALCULO DE LA DENSIDAD APARENTE (g/ml)	

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA MUESTRA SUELO %	
MASA SUELO INICIAL(g)	
MASA SUELO FINAL (g)	
MASA DE AGUA (MASA SUELO INICIAL- MASA SUELO FINAL) (g)	
PORCENTAJE DE LA HUMEDAD (%)	

DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD DE LA MUESTRA SUELO %	
DENSIDAD REAL	
DENSIDAD APARENTE	
PORCENTAJE DE LA POROSIDAD (%)	

DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD DE LA MUESTRA SUELO %	
Densidad aparente $d_a$	
Densidad relativa $d_r$	
Humedad $H$	
Densidad del agua $d_w$	
% Espacio Aéreo :	$\%E = \left( 1 - \frac{d_a}{d_r} - \frac{Humedad \times d_a}{100d_w} \right) \times 100$

**VII BIBLIOGRAFÍA:**

1. Garzón G. 8va. Edición. Fundamentos de Química General. México. 2007.
2. MOTTA, B. et al. 1990. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. 5ª. Ed. IGAC. Bogotá. 502 p.
3. Ocampo G. 7ma. Edición. Química Experimental. México. 2005

**REDACCIÓN DEL INFORME DE LABORATORIO**

Culminada La Práctica de Laboratorio, el alumno debe realizar un informe de la experiencia realizada según la Guía utilizada, dicho informe debe tener el siguiente contenido;

**CARATULA;** El informe debe indicar en la caratula los siguientes datos:

- Nombre de la Universidad, escuela académica profesional.
- Nombre del Laboratorio del curso.
- Nro. y título de PRACTICA REALIZADA,
- Integrantes DEL GRUPO O NOMBRE individual.
- Ciclo de estudios- TURNO -AULA.
- Nombre del profesor que dirige la práctica
- Ciudad y fecha.

**1. OBJETIVOS**

Indicar los objetivos logrados al realizar las experiencias en el laboratorio, en función a lo señalado en la guía

**2. MARCO TEÓRICO O PRINCIPIOS TEÓRICOS**

Se realizará un resumen de las teorías, métodos o fundamentos que se ilustran o aplican en la experiencia respectiva, investigue y fundamente, a través de otras fuentes.

**3. DETALLES EXPERIMENTALES ( es la parte más importante del informe)**

**3.1. Materiales y reactivos:** Colocar solo los usados en laboratorio

**3.2. Procedimiento Experimental:**

Describir **CON SUS PROPIAS PALABRAS** las experiencias realizadas detalladamente así como las observaciones, cantidades usadas, los datos, los reactivos químicos (elementos y/o compuestos), y los valores numéricos con sus respectivas unidades de medida, usar gráficos, dibujos, fotografías, **CÁLCULOS REALIZADOS**, % error, etc.

**4. TABLA DE REPORTE DE RESULTADOS FINALES.**

Cuadro Final RESUMEN de los materiales y datos utilizados y producto obtenidos.

**CONCLUSIONES**

Señalar las conclusiones Finales respecto a cada una de las experiencias realizadas. De los resultados obtenidos en la experiencia Práctica, comparándolos con sus principios Teóricos al respecto, si existiera errores, analizarlo e indicar el porqué del resultado, Indicando las causas de las diferencias y el posible origen de los errores si va hacer útil la maqueta elaborada.

**5. RECOMENDACIONES**

Que recomiendan para obtener los resultados esperados en la Práctica.

**6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Las referencias se deben colocar según el estilo APA deben ordenarse alfabéticamente, sangría en la segunda línea para diferenciar del dato principal; Apellido y Nombre del autor, edición, año, título, editorial, País, etc., Electrónica (digital); Dirección del enlace completa.

**7. INDICACIONES FINALES:**

- Nota de prácticas: Cada trabajo o práctica que se le asigne al alumno tiene nota, siendo la nota final de práctica de laboratorio el promedio aritmético de esas notas.
- La Nota final de práctica de laboratorio: se promedia con la nota de Practica Calificada (PC) de teoría.

  
NITEL  
ROMAN PEREZ  
Ingeniero Ambiental  
CIP N° 344579

## Informe 3

### Informe de determinación de pH en los suelos – práctica N<sup>a</sup> 5

#### I. COMPETENCIAS

- Determinar el valor de pH de diferentes muestras de suelo.
- Relacionar el concepto de pH y su influencia en suelos.

#### II. PRINCIPIOS TEÓRICOS

##### pH DEL SUELO

El pH del suelo es uno de los parámetros más importantes en el informe de análisis de suelo. El nivel de pH del suelo le puede decir mucho acerca de la disponibilidad potencial de nutrientes para las plantas y sobre los posibles efectos tóxicos de otros elementos (como el aluminio).

Los suelos con un pH mayor que 7 se consideran suelos alcalinos. Las deficiencias de micronutrientes, tales como la deficiencia de hierro, son comunes en estos suelos.

Los cultivos que crecen en suelos con pH inferior a 5.5 pueden mostrar síntomas de toxicidad de metales (por ejemplo, hierro, manganeso) y las deficiencias de otros nutrientes, como el magnesio.

El rango de pH del suelo ideal para la mayoría de los cultivos es de entre 5.8 y 6.5, un intervalo en el que la mayoría de los nutrientes están disponibles para que los cultivos puedan aceptarlos.

##### Importancia del pH

El pH influye en las propiedades físicas químicas del suelo.

Propiedades Físicas: Si el pH es muy ácido ocurre una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable.

Si el pH es alcalino la arcilla se dispersa, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico.

Propiedades químicas y fertilidad: La asimilación de nutrientes del suelo están influenciadas por el pH, ya que determinados nutrientes se pueden bloquear en determinadas condiciones de pH y no son asimilables para las plantas.

El pH controla muchas de las actividades químicas y biológicas que ocurren en el suelo y tiene una influencia indirecta en el desarrollo de las plantas. Según el pH del suelo la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos puede favorecerse, así por ejemplo, en los suelos de pH ácido se tratará de subir el pH por la adición de cal u otra sustancia básica para mejorar disponibilidad de los elementos nutritivos que se fijan a un pH ácido como ocurre por ejemplo con el fósforo.

El pH del suelo representa aspectos del clima, vegetación e hidrología del lugar donde el suelo se ha formado. El pH de un horizonte del suelo es afectado por el material parental, la naturaleza química de la lluvia, las prácticas de manejo del suelo y las actividades de los organismos (plantas, animales y microorganismos) que habitan en el suelo.

La determinación del pH del suelo es una de las pruebas más importantes que pueden hacerse para diagnosticar problemas del crecimiento de las plantas. Algunas plantas enfermas tienen un color verde claro que puede ser ocasionado por diversos factores.

#### III. DETALLES EXPERIMENTALES

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none"><li>• Muestra-relaciones de suelo: solución de 1:1, 1:2,5 y 1:10</li><li>• Bagueta.</li><li>• Espátula.</li><li>• Malla o cernidor.</li><li>• Mortero y pilón</li><li>• Piceta con agua destilada.</li><li>• 1 pipeta</li><li>• 1 propipeta</li><li>• Probeta de 100 mL</li><li>• 3 vasos de 250 mL</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza analítica</li><li>• Medidor de pH Potenciómetro digital</li><li>• Termómetro.</li><li>• Estufa</li></ul>
	Reactivos
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Soluciones buffer pH: 4,7,10</li><li>• Agua destilada.</li></ul>

#### DETERMINACIÓN DE pH

- Preparar una muestra de suelo en agua con una relación 1:1. Pesar 80 g de suelo secado al aire en un recipiente y agregar 80 mL de agua.
- Similarmente preparar la relación 1:2,5. Pesar 30 g de suelo y agregar 75 mL de solución.
- Similarmente preparar la relación 1:10. Pesar 10 g de suelo y agregar 100 mL de agua.
- Agitar o mezclar vigorosamente la suspensión durante 10 min y filtrar. Usando un medidor de pH, (Potenciómetro). En el sobrenadante se determina el valor del pH.

• Para la lectura introducir los electrodos del potenciómetro, esperar aproximadamente un minuto para estabilizar el valor. Leer pH una vez estabilizado el valor.

Condición	pH
Fuertemente ácido	Menor de 5
Moderadamente ácido	5,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 - 8,5
Fuertemente alcalino (suelos sódicos)	Mayor de 8,5

#### IV. REGISTRO DE DATOS

Con los resultados obtenidos complete la siguiente tabla



DETERMINACIÓN DE pH EN SUELOS		
Relación de suelos: agua	Medida de pH	observaciones

#### V. CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la importancia de saber el pH de los suelos? ¿Cuál es el rango de pH favorable para suelos?
2. ¿Qué cambios naturales pueden alterar el pH de un suelo?
3. ¿Qué agentes contaminantes pueden alterar el pH de un suelo?
4. Averigua cómo se puede realizar la corrección del pH en suelos muy ácidos y suelos muy alcalinos.

#### VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Carreira, D. 2005. Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. Pp. 91-102. En: L Marbán y S Ratto (eds.). Tecnologías en análisis de suelos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
2. Jordán López Antonio Manual de Edafología, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla, España 2005-2006.
3. Ocampo G. 7ma. Edición. Química Experimental. México. 2005

#### REDACCIÓN DEL INFORME DE LABORATORIO

Culminada La Práctica de Laboratorio, el alumno debe realizar un informe de la experiencia realizada según la Guía utilizada, dicho informe debe tener el siguiente contenido;

**CARATULA;** El informe debe indicar en la caratula los siguientes datos:

- Nombre de la Universidad, escuela académica profesional.
- Nombre del Laboratorio del curso.
- Nro. y título de PRACTICA REALIZADA,
- Integrantes DEL GRUPO O NOMBRE individual.
- Ciclo de estudios- TURNO -AULA.
- Nombre del profesor que dirige la práctica.
- Ciudad y fecha.

#### 1. OBJETIVOS

Indicar los objetivos logrados al realizar las experiencias en el laboratorio, en función a lo señalado en la guía

#### 2. MARCO TEÓRICO O PRINCIPIOS TEÓRICOS

Se realizará un resumen de teorías, métodos o fundamentos que se ilustran o aplican en la experiencia respectiva, investigue y fundamente, a través de otras fuentes.

#### 3. DETALLES EXPERIMENTALES ( es la parte más importante del informe)

3.1. **Materiales y reactivos:** Colocar solo los usados en laboratorio

3.2. **Procedimiento Experimental:**



Describir **CON SUS PROPIAS PALABRAS** las experiencias realizadas detalladamente así como las observaciones, cantidades usadas, los datos, los reactivos químicos (elementos y/o compuestos), y los valores numéricos con sus respectivas unidades de medida, usar gráficos, dibujos, fotografías, **CÁLCULOS REALIZADOS**, % error, etc.

#### 4. TABLA DE REPORTE DE RESULTADOS FINALES.

Cuadro Final RESUMEN de los materiales y datos utilizados y producto obtenidos.

#### CONCLUSIONES

Señalar las conclusiones Finales respecto a cada una de las experiencias realizadas.

De los resultados obtenidos en la experiencia Práctica, comparándolos con sus principios Teóricos al respecto, si existiera errores, analizarlo e indicar el porqué del resultado, indicando las causas de las diferencias y el posible origen de los errores si va hacer útil la maqueta elaborada.

#### 5. RECOMENDACIONES

Que recomiendan para obtener los resultados esperados en la Práctica.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las referencias se deben colocar según el estilo APA deben ordenarse alfabéticamente, sangría en la segunda línea para diferenciar del dato principal; Apellido y Nombre del autor, edición, año, título, editorial, País, etc.,

Electrónica (digital); Dirección del enlace completa.

  
 NITLER  
 ROMERO PEREZ  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP N° 344579

## Informe 4

### Informe de análisis de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo – práctica N<sup>a</sup> 6

#### ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO

##### I. COMPETENCIAS

- Analizar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo
- Evaluar la densidad aparente, densidad relativa, porosidad, la presencia de material orgánico, presencia de carbonato cálcico, y humedad.

##### II. PRINCIPIOS TEÓRICOS

El suelo es una capa de la corteza terrestre, formada por elementos de origen mineral y orgánico. Esto se debe a la alteración (o meteorización) de las rocas de la litosfera (denominada roca madre) y al aporte de los restos de materia orgánica de las plantas y de los animales (que nacen, viven y mueren sobre él).

##### PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

- COLOR
- TEXTURA
- ESTRUCTURA
- POROSIDAD
- PERMEABILIDAD
- PROFUNDIDAD EFECTIVA
- DRENAJE

##### 1. COLOR

Los suelos en general tienen color oscuro.

El color se aclara a medida que se profundiza.

Los suelos de color más oscuro, generalmente son más ricos en materia orgánica.

Los colores pardos, rojizos y amarillentos, indican que los suelos son bien aireados y no se encharcan.

Los colores grises y manchados de verde azulado, indican que los suelos permanecen mucho tiempo encharcados.

En las regiones húmedas, cuando los suelos son muy claros indican baja productividad y las plantas se desarrollan mal.

##### 2. TEXTURA

La roca que forma el suelo se descompone y desmorona en partículas.

Estas partículas son de diferente tamaño.

Las más pequeñas se llaman ARCILLAS, las intermedias LIMOS y las más grandes se llaman ARENAS.

Todos los suelos tienen ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS.

La mezcla de las ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS se llama TEXTURA.

Si los suelos tienen muchas ARENAS, se dice que son ARENOSOS.

Estos suelos son granulados y ásperos, no se encharcan, son fáciles de cultivar, pero son muy pobres en alimentos para las plantas.

Cuando están secos, al cogerlos con la mano se desbaratan.

Los suelos que tienen muchas partículas de ARCILLA, se llaman suelos ARCILLOSOS.

También se conocen como tierra gredosa o suelos pesados.

Se encharcan fácilmente y son ricos en alimentos para las plantas.

#### IV. EXPLICACIÓN DE LOS PROCESOS DE ESTA PRÁCTICA

##### Propiedades físicas

Análisis de la densidad aparente, densidad real y porosidad  
Método de la probeta

##### Densidad Aparente:

- Pesar no más de 40 gr. de suelo seco.
- Colocarlos en una probeta de 100 ml. limpia y seca.
- Golpea suavemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano para dar compactación a la muestra.
- Determinar el volumen total de la muestra.
- Calcular la densidad aparente del suelo.

##### Densidad Real o de las Partículas y Porosidad:

- Sacar la muestra de la probeta de la experiencia anterior en papel limpio.
- En la probeta ya vacía, agregar 60 ml. De agua destilada.
- Agregar la muestra dejada en el papel, a la probeta, (agitar de vez en cuando para facilitar la salida del aire de la muestra).
- Determinar el volumen de las partículas de la muestra.
- Calcular la densidad real o de las partículas del suelo y su porosidad.

##### Densidad aparente:

Peso suelo seco (Pss)

$$Da = \frac{\text{Peso suelo seco (Pss)}}{\text{Volumen total (Vt)}}$$

##### Densidad real:

Peso suelo seco (Pss)

$$Dr = \frac{\text{Peso suelo seco (Pss)}}{\text{Volumen sólidos (Vs)}}$$

##### Porosidad:

$\frac{Dr - Da}{Dr}$

$$P = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100$$

##### Evaluación de Humedad:

##### Método gravimétrico

1. Coloca en la balanza una pequeña porción de suelo aproximadamente 40 g y anotar su masa.
2. Posteriormente colocarlas cada una de ellas en los crisoles de porcelana. Recuerda medir previamente la masa de la cápsula o crisol, para restarle posteriormente su valor. (Masa inicial)
3. Meter las muestras de suelo en la estufa a temperatura de 110°. Como se requiere conocer la cantidad de agua que contiene el suelo, necesitamos eliminar ésta de la muestra, por ello, debemos calentar hasta lograrlo, para tener un calentamiento homogéneo utilizamos una estufa o mufia, el tiempo necesario dependiendo del tamaño de muestra.
4. Esperar 1/2 hora mientras se realiza el proceso de evaporación.
5. Una vez ya evaporado y eliminada el agua de la mezcla, dejar pasar unos minutos pesar nuevamente cada una de las muestras y anotar la diferencia obtenida entre el peso que tuvimos al principio y el peso final (después del proceso de evaporación restarle el peso del



crisol). Realizar una regla de 3 para obtener la humedad del suelo en porcentaje. la cantidad de agua que existe en el suelo (tipo de tierra) expresada en porcentaje.

Entonces:

$$\text{Masa de agua} = \text{masa inicial} - \text{masa final}$$

$$\% \text{ Humedad será:}$$

$$\text{Masa inicial} - 100\%$$

$$\text{Masa agua} - X\%$$

$$X\% = \% \text{ Humedad}$$

#### Propiedad química

##### Presencia de carbonatos

Verter HCl sobre el suelo depositado en un crisol. Pasamos a evaluar:

- Si efervesce fuerte tiene un porcentaje elevado de carbonatos.
- Si efervesce débil el porcentaje bajo.
- Si no efervesce no tiene carbonatos.

#### Propiedad Biológica

##### Presencia de material orgánico

Ponemos muestras del suelo en un vaso de precipitados y le añadimos agua oxigenada, si salen burbujas, esto nos indica la presencia de materia orgánica. La reacción es típica de la enzima catalasa presente en todos los tejidos animales y vegetales. Anteriormente al ensayo, habremos observado y anotado la presencia de pequeñas raíces. En los suelos muy orgánicos es necesario tener especial cuidado en añadir poco a poco el agua oxigenada, ya que la reacción es bastante violenta una vez iniciada y se forma abundante espuma, que produce rebosamiento del vaso, inutilizando el análisis. Posteriormente anotaremos:

- Ninguna: si no hay efervescencia (no contiene materia orgánica)
- Ligera: si observamos una leve efervescencia (hay presencia pero en pequeñas cantidades).
- Fuerte: si se observa una efervescencia fuerte (contiene gran cantidad de materia orgánica)

#### REDACCIÓN DEL INFORME DE LABORATORIO

Culminada La Práctica de Laboratorio, el alumno debe realizar un informe de la experiencia realizada según la Guía utilizada, dicho informe debe tener el siguiente contenido:

**CARATULA;** El informe debe indicar en la caratula los siguientes datos:

- Nombre de la Universidad, escuela académica profesional.
- Nombre del Laboratorio del curso.
- Nro. y título de PRACTICA REALIZADA,
- Integrantes DEL GRUPO O NOMBRE individual.
- Ciclo de estudios- TURNO -AULA.
- Nombre del profesor que dirige la práctica.
- Ciudad y fecha.

#### 1. OBJETIVOS

Indicar los objetivos logrados al realizar las experiencias en el laboratorio, en función a lo señalado en la guía

#### 2. MARCO TEÓRICO O PRINCIPIOS TEÓRICOS



Se realizará un resumen de la Geomorfología aplicada a la Ingeniería Ambiental, teorías, métodos o fundamentos que se ilustran o aplican en la experiencia respectiva, investigue y fundamente, a través de otras fuentes.

#### 3. DETALLES EXPERIMENTALES (es la parte más importante del informe)

3.1. **Materiales y reactivos:** Colocar solo los usados en laboratorio

3.2. **Procedimiento Experimental:**

Describir **CON SUS PROPIAS PALABRAS** las experiencias realizadas detalladamente así como las observaciones, cantidades usadas, los datos, los reactivos químicos (elementos y/o compuestos), y los valores numéricos con sus respectivas unidades de medida, usar gráficos, dibujos, fotografías, CÁLCULOS REALIZADOS, % error, etc.

#### 4. TABLA DE REPORTE DE RESULTADOS FINALES.

Cuadro Final RESUMEN de los materiales y datos utilizados y producto obtenidos.

#### CONCLUSIONES

Señalar las conclusiones Finales respecto a cada una de las experiencias realizadas.

De los resultados obtenidos en la experiencia Práctica, comparándolos con sus principios Teóricos al respecto, si existiera errores, analizarlo e indicar el porqué del resultado, Indicando las causas de las diferencias y el posible origen de los errores si va hacer útil la maqueta elaborada.

#### 5. RECOMENDACIONES

Que recomiendan para obtener los resultados esperados en la Práctica.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las referencias se deben colocar según el estilo APA deben ordenarse alfabéticamente, sangría en la segunda línea para diferenciar del dato principal; Apellido y Nombre del autor, edición, año, título, editorial, País, etc., Electrónica (digital); Dirección del enlace completa.

Observación: presentar informe la siguiente clase.

#### V. ANEXO

Ing. Laureano Valentin, Gaudencio

  
 HITLER  
 ROMAN PEREZ  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP N° 344579

## Informe 5

### Informe de determinación de materia orgánica – práctica N° 8

#### DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

##### I. COMPETENCIAS:

- Determinar el porcentaje de materia orgánica, que se encuentra presente en la muestra de suelo, por la vía seca. (Método de pérdida por Ignición).
- Determinar cualitativamente la materia orgánica presente en suelos.

##### II. PRINCIPIOS TEÓRICOS

###### MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo, en pequeña porción, formada por los restos vegetales y animales que por la acción de la microbiota del suelo son convertidos en una materia rica en reservas de nutrientes para las plantas, asegurando la disponibilidad de macro y micronutrientes.

Cuando son agregados restos orgánicos de origen vegetal o animal, los microorganismos del suelo transforman los compuestos complejos de origen orgánico en nutrientes en forma mineral que son solubles para las plantas; pero este proceso es lento, por lo tanto la materia orgánica no representa una fuente inmediata de nutrientes para las plantas, sino más bien una reserva de estos nutrientes para su liberación lenta en el suelo.

La materia orgánica del suelo es fundamental para mantener la estructura del suelo, retener el agua necesaria y actuar como reserva nutritiva. Ciertos usos del suelo pueden disminuir de forma drástica el contenido de materia orgánica del suelo. Las causas principales que desencadenan este proceso son: la agricultura intensiva y la quema de los residuos de las cosechas in situ.

Siempre que se habla de fertilidad de un suelo se toma en cuenta principalmente la cantidad de macro y micronutrientes que el suelo puede proveer a las plantas, dejando en segundo plano un aspecto muy importante acerca de la fertilidad del suelo: la cantidad de materia orgánica (MO).

La materia orgánica representa, aproximadamente, el 5% en el volumen de un suelo ideal. A pesar de ser un porcentaje relativamente pequeño, su presencia es altamente importante en el crecimiento de las plantas. La adición de residuos orgánicos al suelo,

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
provenientes de plantas y animales y su posterior descomposición por los microorganismos, establecen dos procesos que determinan el nivel al cual se acumula materia orgánica en los suelos.

Las plantas son la principal fuente de materia orgánica, ya que parte de sus hojas, tallos, flores, frutos y generalmente todo el sistema radical, se quedan en el suelo cuando el cultivo es cosechado. Estos residuos generalmente son frescos, es decir, poseen aproximadamente entre 60 a 90% de humedad, lo cual depende del tipo de residuo orgánico. Esto significa que entre el 40 a 10% de materia seca podría incorporarse al suelo y su composición es muy variada: carbohidratos, grasas, aceites, lignina y proteínas, son los principales constituyentes y ellos son fuentes de carbono, hidrógeno y oxígeno, así como también, en el caso de las proteínas, de nitrógeno, azufre, hierro, fósforo, los cuales pudieran ser aprovechables por las plantas una vez que los microorganismos descomponen estos compuestos.

###### EXPRESIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

La cantidad de materia orgánica en los suelos generalmente se expresa como porcentaje en base al peso del suelo. En la práctica, es difícil en el laboratorio separar el material orgánico e inorgánico de un suelo, por lo que una estimación del contenido de materia orgánica se obtiene indirectamente a través del análisis de un elemento que es constituyente de todas las sustancias orgánicas en el suelo: el carbono (C).

Es decir, conociendo la cantidad de carbono orgánico (C) presente en una muestra de suelo, indirectamente se puede estimar cuál es su porcentaje de materia orgánica (determinación vía Húmeda).

El método de pérdida por ignición se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a una temperatura de 430 °C en horno-mufla durante 24 h (Davies, 1974). Con temperaturas de 430 °C se lograría una completa oxidación de la MO. Así este método permite la determinación de la MO total del suelo, incluyendo las formas condensadas, humus, humatos y residuos orgánicos poco alterados (Davies, 1974). Otros estudios han determinado que aún a 600 °C parte de las sustancias húmicas permanecen resistentes a la oxidación.

Sin embargo, temperaturas mayores a 500 °C pueden implicar importantes errores en la determinación por pérdidas de dióxido de carbono de los carbonatos, agua estructural de los minerales de arcilla, oxidación del ión ferroso, descomposición de sales

hidratadas y óxidos (Rosell et al., 2001). El método de pérdida por ignición resulta un método económico dado que no se utilizan reactivos químicos y requiere pocas horas hombre para su realización. Este método resulta razonablemente preciso en la estimación de MO del suelo si se consideran precauciones para evitar errores por higroscopicidad y contenido de sales (Rosell et al., 2001).

III. DETALLES EXPERIMENTALES

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra-relaciones de suelo: solución de 1:1, 1:2,5 y 1:10</li> <li>• Capsula de porcelana o crisol.</li> <li>• Bagueta.</li> <li>• Espátula.</li> <li>• Malla o cernidor.</li> <li>• Mortero y pilón</li> <li>• Soporte universal</li> <li>• Aro o soporte para embudo.</li> <li>• Rejilla.</li> <li>• Pinzas para crisol</li> <li>• Embudo y papel de filtro.</li> <li>• Probeta de 100 mL.</li> <li>• Termómetro.</li> <li>• 3 vasos de 250 mL.</li> <li>• Piceta con agua destilada.</li> <li>• 1 pipeta</li> <li>• 1 propipeta</li> <li>• 1 fiola 100 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechero de bunsen</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Termómetro.</li> <li>• Estufa</li> </ul>
	Reactivos
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido clorhídrico al 10%</li> <li>• Agua destilada.</li> <li>• H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%</li> </ul>

PROCEDIMIENTO

A. DETERMINACIÓN CUALITATIVA DE MATERIA ORGÁNICA

- Determinación cualitativa de materia orgánica.- Se realiza añadiendo gotas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% a una porción pequeña de suelo seco, la presencia de elevada efervescencia (burbujeo) indica que si hay materia orgánica.

B. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR CALCIFICACIÓN

1. Colocar aproximadamente 100 gramos de suelo tamizado en la estufa a 120 °C por 20 minutos.
2. Pesar un crisol limpio y seco (W). En dicho crisol pesar aproximadamente 20 g de suelo seco tamizado.

W1 = peso muestra seca + peso del crisol

3. Colocar la cápsula de porcelana en la mufla y someter a una temperatura de 500 °C por 2 horas, se debe alcanzar la calcinación. Si la muestra de suelo posee un alto contenido de hojarasca, el tiempo se prolongará lo suficiente hasta su total calcinación.
4. Dejar enfriar la muestra y posteriormente pesar nuevamente. Anotar la variación de la masa.

W2 = peso muestra incinerada + peso del crisol

5. Calcular el porcentaje de materia orgánica.
6. Repetir con los otros suelos.

CÁLCULOS

El contenido orgánico debe expresarse como un porcentaje del peso del suelo secado en el horno y se calcula así:

$$\% \text{ de Materia Orgánica} = \frac{W1 - W2}{W1 - W} \times 100 \% = \% \text{M.O.}$$

Donde:

W1 = Peso del suelo seco y del crisol

W2 = Peso del suelo seco después de la ignición y del crisol

W = Peso del crisol solo inicial

Tabla 1. Factor de conversión de la materia orgánica

TIPO DE SUELO	FACTOR DUCHAUFOUR F <sub>D</sub>
De cultivo	1,724
De pradera y bosques	2,00

Por lo tanto %M.O<sub>Suelos</sub> = %Carbono orgánico\*F<sub>D</sub>

Luego % Carbono orgánico = % M.O/ 1,724

**Cuadro 1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Análisis Cualitativo	Observaciones importantes
Determinación cualitativa de materia orgánica	Añadir gotas de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 30%, elevada efervescencia (burbujeo).
Alto contenido materia orgánica	Muestra presenta efecto de suspensión
Los suelos calcáreos	Es difícil alcanzar un pH de equilibrio.
Suelos bajos contenidos sales	Es difícil alcanzar un pH de equilibrio.
Suelos alto contenidos arcilla	El suelo no sedimenta después de mezclarlo, ni forma sobrenadante.

**IV. REGISTRO DE DATOS O TABLA DE RESULTADOS :**

1. Determinación Cualitativa	soluciones	observaciones
Materia Orgánica ( MO)	Adición H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 30%	

2. DETERMINACIÓN MATERIA ORGÁNICA % M.O.	
Peso muestra seca final +crisol = W1 (sin humedad)	
Peso del suelo seco después de la ignición +crisol = W2	
Peso del crisol solo inicial = W	
$\% \text{ Materia Orgánica} = \frac{W1 - W2}{W1 - W} \times 100 \% = \% \text{M.O.}$	
$\% \text{ Materia Orgánica} = \% \text{ M.O.} = \dots\dots\dots$	
$\% \text{ Carbono orgánico} = \% \text{ M.O.} / 1,724^*$	
$\% \text{ Carbono orgánico} = \% \text{ C} = \dots\dots\dots$	

**V. CUESTIONARIO**

- ¿Cómo influye la Materia Orgánica en las características químicas del suelo?
- Explique; ¿Por qué la materia orgánica protege al suelo de la contaminación?
- ¿El suelo puede degradarse por exceso y pérdida de materia orgánica, explique?

- ¿Cómo influye la materia orgánica en la textura, densidad, porosidad, humedad, color en un suelo fértil?

**VI. BIBLIOGRAFÍA**

- Carreira, D. 2005. Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. Pp. 91-102. En: L. Marbán y S. Ratto (eds.). Tecnologías en análisis de suelos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo.
- Jordán López Antonio Manual de Edafología, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla, España 2005-2006.
- Ocampo G. 7ma. Edición. Química Experimental. México. 2005

  
 HITLER  
 ROMAN PEREZ  
 Ingeniero Ambiental  
 CIP N° 344579

## ANEXO 5

### Panel fotográfico

#### Fotografía 1

Muestra de arveja "Pisum Sativum L" para laboratorio



#### Fotografía 2

Muestra de habas (Vicia faba L) para laboratorio



### Fotografía 3

Toma de muestras de suelos y cultivos



### Fotografía 4

Visita técnica del jurado ingeniero Yasser Vásquez Baca



**Fotografía 5**

*Secado de las muestras (plantas) de arveja y habas en el horno*



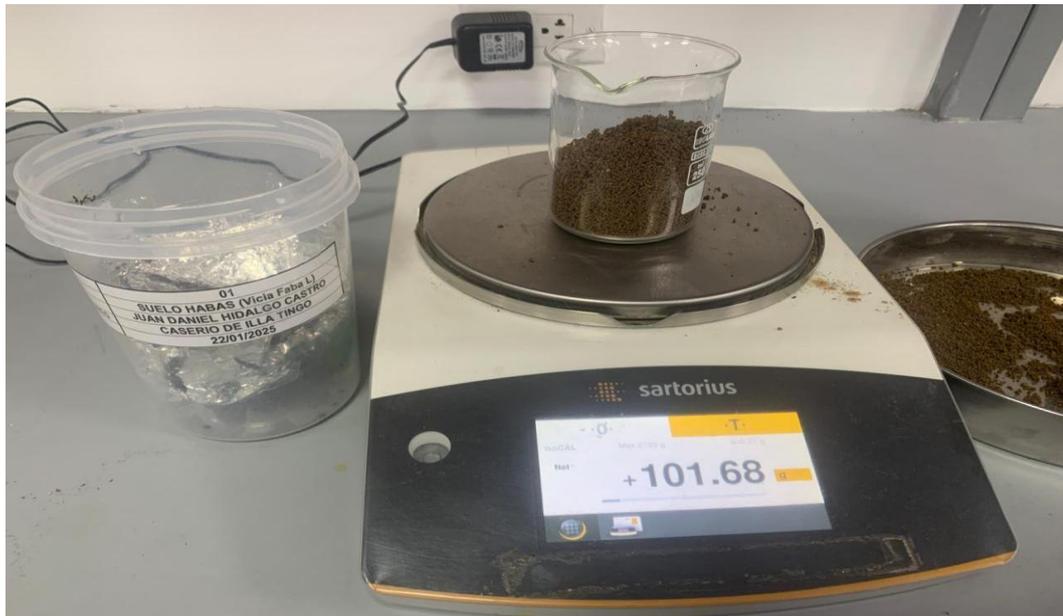
**Fotografía 6**

*Muestra de suelo de la hectárea de habas*



**Fotografía 7**

*Pesaje de muestras de suelo*



**Fotografía 8**

*Triturado de las muestras (plantas) de las especies en estudio con el mortero*



**Fotografía 9**

*Pesaje de las muestras (plantas) de las especies después de ser triturado*



**Fotografía 10**

*Proceso de decantación de muestras de suelo y cultivos*



**Fotografía 11**

*Muestra de suelo siendo analizada*



**Fotografía 12**

*Muestra de cultivos siendo analizada*

