



Respuesta agronómica y espectral del chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) por efecto del pretratamiento de semilla con radiación solar UVB y la aplicación de *Bacillus subtilis* en los genotipos INIAP 450 - Andino y F3 (ECU 2658 x ECU 8415) en 3 estados fenológicos del cultivo

Ron Cruz, Joel Amador

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Falconí Saá, César Eduardo Ph.D

17 de agosto de 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“RESPUESTA AGRONÓMICA Y ESPECTRAL DEL CHOCHO (*Lupinus mutabilis Sweet*) POR EFECTO DEL PRETRATAMIENTO DE SEMILLA CON RADIACIÓN SOLAR UVB Y LA APLICACIÓN DE *Bacillus subtilis* EN LOS GENOTIPOS INIAP 450 - ANDINO Y F3 (ECU 2658 X ECU 8415) EN 3 ESTADOS FENOLÓGICOS DEL CULTIVO”** fue realizado por el señor **Ron Cruz Joel Amador** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de similitud de contenidos cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de Agosto de 2022



Escaneo el código QR para
**CESAR EDUARDO
FALCONI SAA**

Ing. Falconí Saá, César Eduardo. PhD.

C. C. 06015564594



Departamento de Ciencias de la Vida y Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, Ron Cruz Joel Amador, con C.C. 1716918725 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“RESPUESTA AGRONÓMICA Y ESPECTRAL DEL CHOCHO (*Lupinus mutabilis sweet*) POR EFECTO DEL PRETRATAMIENTO DE SEMILLA CON RADIACIÓN SOLAR UVB Y LA APLICACIÓN DE *Bacillus subtilis* EN LOS GENOTIPOS INIAP 450 - ANDINO Y F3 (ECU 2658 X 8415) EN 3 ESTADOS FENOLÓGICOS DEL CULTIVO”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de agosto 2022

.....
Ron Cruz, Joel Amador
C.C.: 1716918725



Departamento de Ciencias de la Vida y Agricultura

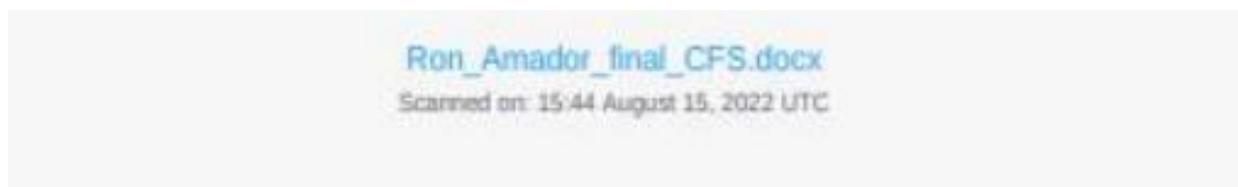
Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo, Ron Cruz Joel Amador, C.C. 1716918725, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"RESPUESTA AGRONÓMICA Y ESPECTRAL DEL CHOCHO (*Lupinus mutabilis sweet*) POR EFECTO DEL PRETRATAMIENTO DE SEMILLA CON RADIACIÓN SOLAR UVB Y LA APLICACIÓN DE *Bacillus subtilis* EN LOS GENOTIPOS INIAP 450 - ANDINO Y F3 (ECU 2658 X 8415) EN 3 ESTADOS FENOLÓGICOS DEL CULTIVO"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de agosto 2022

.....
Ron Cruz, Joel Amador
C.C.: 1716918725

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos

Identical Words	375
Words with Minor Changes	29
Paraphrased Words	229
Credited Words	2811



CESAR EDUARDO
FALCONI SAA

Ing. Falconí Saá, César Eduardo. PhD.

C. C. 06015564594

Dedicatoria

A mi mama Edna Cruz, quien ha sido el pilar fundamental en mi vida y formación académica.

A mi hermano Tomas Freire, quien ha sido mi ejemplo y me ha inculcado valores para mi desarrollo personal.

A mi papa Rodrigo Ron y mi abuelo Amador Cruz, quienes han sido la inspiración y motor en mi diario vivir.

A mi abuelita Olivia Ríos, quien me ha llenado de su confianza y amor durante toda mi vida.

A mis sobrinos María Eduarda y José Tomas, a quienes les debo ser su ejemplo.

A Dios, quien ha encaminado y guiado mi camino en esta hermosa profesión.

Agradecimientos

A Dios, quien ha cumplido los anhelos de mi corazón.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en conjunto con los Docentes de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria – IASA 1, ya que han permitido mi formación y han compartido sus conocimientos.

Al Doctor Cesar Falconi, quien sembró confianza en mi vida, ha sido mentor y un gran amigo.

A mi familia, quienes han sido comprensivos en el desarrollo de mi formación académica.

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Responsabilidad de autoría.....	3
Autorización de publicación.....	4
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras	15
Resumen.....	16
Abstract.....	17
Capítulo I	18
Introducción..	18
Antecedentes	18
Justificación	20
Objetivos	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21

	9
Hipótesis.....	21
Hipótesis nula	21
Hipótesis alterna.....	22
Capítulo II.....	23
Marco Referencial	23
Cultivo de chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)	23
Genotipos.....	23
Iniap - 450 Andino	23
Línea de mejora: cruzamiento F3 (ECU 2658 X ECU 8415).....	23
Etapas fenológicas.....	24
Principales enfermedades	25
Antracnosis (<i>Collectrotrichum acutatum</i>)	25
Síntomas	25
Métodos de Control	26
Radiación solar UVB	26
Control biológico.....	27
Agricultura de precisión (AP)	28
Uso de UAVs	28
Espectro Electromagnético.....	29
Firma Espectral	29

Índices de Vegetación.....	10
Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)	30
Índice de Contenido de Clorofila – ICC.....	30
Capítulo III.....	31
Materiales y métodos.....	31
Ubicación del lugar de investigación	31
Materiales	31
Métodos	32
Implementación de los tratamientos	32
Método físico: Pre tratamiento de semilla con radiación solar.....	32
Método biológico Aplicación de <i>Bacillus subtilis</i>	32
Fase de campo.....	33
Fase analítica	33
Variables agronómicas	33
Variables espectrales.....	33
Posicionamiento de la muestra	34
Plan de vuelo.....	34
Procesamiento de las imágenes	34
Procesamiento de datos.....	34
Diseño Experimental	35

	11
Tipo de diseño.....	35
Factores y tratamientos.....	35
Planificación de muestreo	36
Análisis estadístico:	36
Variables de estudio	37
Variables agronómicas	37
Porcentaje de emergencia	37
Altura de la planta.....	37
Número de nudos por planta	37
Número de brotes por planta.....	37
Número de vainas por planta	37
Número de semillas por vaina	37
Productividad.....	38
Semilla no comercial	38
Índice de Severidad	38
Porcentaje de incidencia	38
Variables Espectrales	39
Índice Normalizado de Vegetación NDVI	39
Índice de Contenido de Clorofila ICC	39
Capítulo IV.....	40

Resultados y discusión	12
Resultados y discusión	40
Variables Agronómicas	40
Porcentaje de Germinación	40
Altura de la planta	40
Numero de nudos por planta.....	41
Numero de brotes por planta	41
Variables Espectrales	43
Índice de Clorofila – ICC.....	43
Índice Normalizado de Vegetación – NDVI	43
Variables Productivas	45
<i>Variables Patológicas</i>	47
Correlación de Variables.....	48
Capítulo V.....	51
Conclusiones y Recomendaciones	51
Conclusiones.....	51
Recomendaciones	53
Bibliografía	54

Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Clasificación del espectro electromagnético.....</i>	29
Tabla 2.	<i>Materiales y equipos utilizados para implementación, manejo agronómico y levantamiento de información.....</i>	32
Tabla 3.	<i>Tratamientos de estudio.</i>	35
Tabla 4.	<i>Croquis del Diseño.....</i>	35
Tabla 5.	<i>Planificación de muestreo según el estado fenológico del cultivo.....</i>	36
Tabla 6.	<i>Media \pm desviación estándar de la altura, número de brotes y número de nudos bajo el efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho.</i>	42
Tabla 7.	<i>Media \pm desviación estándar del índice de clorofila ICC e índice normalizado de vegetación NDVI, bajo el efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho.</i>	44
Tabla 8.	<i>Media \pm desviación estándar del número de vainas por planta, semillas por vaina, porcentaje de semilla no comercial y rendimiento por efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en el cultivo de chocho.</i>	46
Tabla 9.	<i>Media \pm desviación estándar del índice de severidad y porcentaje de incidencia de la antracnosis efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en el cultivo de chocho.....</i>	47

Tabla 10. <i>Correlación de Pearson entre ICC, NDVI, rendimiento, altura, numero de nudos, numero de brotes, numero de vainas por planta, número de semillas por vainas y porcentaje de semilla no comercial.....</i>	49
--	----

Índice de figuras

Figura 1.	<i>Etapas fenológicas del cultivo de chocho</i>	24
Figura 2.	<i>Estufa de solarización para desinfección de semilla con radiación UV-B.</i>	27
Figura 3.	<i>Zona del proyecto y sus alrededores.</i>	31

Resumen

El chocho (*Lupinus mutabilis*) es considerado la proteína reserva del mundo, la cual ha sido cultivada por las diferentes culturas en la zona andina de Bolivia, Perú y Ecuador hace más de 2000 años. Sin embargo, se le acredita a la enfermedad fúngica antracnosis (*Collectrotrichum acutatum*) pérdidas del cultivo hasta del 100%. La agricultura de precisión mediante el uso de aeronaves no tripulada UAVs permite identificar factores que limiten el óptimo desarrollo del cultivo y su cuantificación mediante el uso de índices de vegetación IV.

En la presente investigación se midieron variables agronómicas (altura, número de brotes, número de nudos), variables productivas (número de vainas por planta, número de semillas por vaina, rendimiento y porcentaje de semilla no comercial), y variables patológicas (índice de severidad y porcentaje de incidencia de la antracnosis), además se realizaron análisis espectrales mediante la generación del índice normalizado de vegetación NDVI y el índice de clorofila ICC mediante el uso de UAV y el medidor de clorofila en los estados fenológicos de floración, reproductivo y envainamiento en el cruzamiento F3(ECU-2658 x ECU-8415) y el genotipo I 450 Andino tratados con el método de control físico (pretratamiento con radiación UVB en la cámara de solarización) y control biológico (aplicación de *Bacillus subtilis* cepa CtpxS1-2) como alternativas para el control de la antracnosis (*Collectrotrichum acutatum*).

Se encontraron diferencias significativas entre las variables agronómicas, productivas, patológicas y espectrales en los diferentes estados fenológicos, siendo el método de control biológico el que presentó mejor respuesta para el control de la antracnosis, además de aumentar el crecimiento de las plantas y el rendimiento tanto en el cruzamiento F3 (ECU-2658 x ECU-8415) y en el genotipo I 450 Andino.

Palabras clave: Chocho, Antracnosis, Agricultura de Precisión, Radiación UVB, *Bacillus subtilis*, NDVI, ICC

Abstract

Lupine is considered the reserve protein of the world, and it's been cultivated in different Andean zones of Bolivia, Perú and Ecuador for 2000 years. But these crops are affected by anthracnose (*Collectotrichum acutatum*), it's a fungal disease that causes crop loss up to 100%. The UAV's non-tripulated aircraft are used in precisión farming, allowing the identification of limiting grown factors in the development of crops, also they quantify it by vegetation index IV.

In the present investigation were size agronomic variables (height, number of buds, number of nodes), productive variables (number of sheaths per plant, number of seeds per sheath, performance and no commercial seed percentage) and pathological variables (severity index and incidence of anthracnose percentage).

The data need to generate the normalized difference vegetation (NDVI) and chlorophyll index (ICC) were taken by UAV's spectral análisis and a chlorophyll meter in different phenological steps (flowering, reproductive and sheathing) on F3(ECU-2658 x ECU-8415) and I-450 Andino lupin varieties with the effects of physical (heat and UVB) and biological anthracnose control methods(*B. subtilis* var CtpxS1-2)

There are statistical significative differences in agronomic, productive, pathological and spectral variables in the different phenological steps, showing tha the biological antrachnose control method promote de growing and perfomance over the F3 (ECU-2658 x ECU-8415) and I 450 Andino genotypes.

Keywords: Lupine, Anthracnose, Precision Agriculture, UVB Radiation, *Bacillus subtilis*, NDVI, ICC

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

El altramuz Andino (*Lupinus mutabilis Sweet*), chocho o tarwi es una leguminosa originaria y cultivada en la Zona Andina de América del Sur sobre los 2000 msnm, las semillas son utilizadas para la alimentación humana por su alto valor nutritivo; el grano seco tiene alto contenido proteico (45%), superando el de otras leguminosas de fama mundial como la soya (36%), frejol (25%) y lenteja (18%). Se constituye de aminoácidos esenciales como lisina, cistina y metionina indispensables para el óptimo crecimiento de los tejidos (Basantes, 2015).

La antracnosis *Collectroticum acutatum* es una enfermedad fúngica considerada como la de mayor impacto económico en el cultivo de chocho (Falconí, 2012). La infección primaria se localiza en la semilla contaminada y se caracteriza por ocasionar lesiones necróticas, concéntricas, oscuras y hundidas que toman la apariencia de quemadura en hojas, tallos, flores y frutos.

El método de desinfección tradicional para la antracnosis en la semilla se realiza con vitavax, que recubre de forma superficial y no penetra donde se encuentra alojado el patógeno. El uso inapropiado de fungicidas sintéticos durante el desarrollo del cultivo genera resistencia del patógeno, afecta la salud humana y al medio ambiente, siendo un método ineficiente y costoso para el productor (Andrade, 2017).

En los últimos años se ha promovido la investigación y uso de nuevas tecnologías como la radiación solar y las altas temperaturas para el control eficiente de la antracnosis al reducir la viabilidad de las esporas de la antracnosis (Thomas & Coutts, 2016). Al exponer las semillas de chocho a radiación solar (MJ m^{-2}) durante 45 minutos en la estufa de solarización (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2019); alcanzando la temperatura de $95,3^\circ \text{C}$ y una radiación acumulada de $2,34 \text{ (MJ m}^{-2}\text{)}$, se reduce la

infección de la antracnosis en un 54 % (Loor, 2019). En las provincias de Cotopaxi y Pichincha se redujo la severidad de la antracnosis a 1,6 correspondiente a plantas con lesiones pequeñas ($\geq 5\text{mm}$), respecto a los controles que obtuvieron 6, al tratar las semillas durante 45 minutos en la estufa de solarización (Terán, 2016). Además, aumentan el vigor de la planta, ya que generan mayor actividad enzimática de peroxidasa y proteosoma 20S (Caicedo, 2001).

Las cepas CtpxS1-2 y CtpxS3-5 de *B. subtilis*, tienen la capacidad de actuar como control biológico ya que reducen la infección de la antracnosis *C. acutatum*, por su efecto anti fúngico, que se debe a la producción de lipopeptidos por activación de los genes fengicina E, iturina B y surfactina B (Yáñez - Mendizabal y Falconí, 2020). Las fengicinas interactúan con los componentes lipídicos de la membrana citoplasma fúngica (ergosterol), alterando su estructura y permeabilidad lo que lleva a la inhibición del crecimiento del micelio y la germinación de conidios (Yáñez - Mendizabal, 2012).

Además, *B. subtilis* tiene un efecto favorable en la fisiología y bioquímica de la planta, ya que estimula el crecimiento al aumentar la actividad de clorofila, proteína y enzimas peroxidasa (POD) y catalasa (CAT) (Yáñez & Falconí, 2018).

La Agricultura de Precisión (AP) mediante Vehículos Aéreos No Tripulados UAVs o drones es una tecnología que permite cuantificar y obtener información precisa en el momento oportuno de las variaciones que pueden existir en el entorno, mediante la generación de firmas espectrales, estas varían de acuerdo a la reflexión de una superficie independientemente de su naturaleza (Shea, 1999).

Promueve la sostenibilidad de la producción al optimizar el uso de insumos agrícolas, el recurso suelo y agua al diferenciar la variabilidad del cultivo dentro del aérea productora (Gebbers, 2010). Mediante caracterización espectral se ha comprobado que el Índice Normalizado de Vegetación NDVI, Índice Normalizado de Vegetación Transformado TNDVI y el Índice de Contenido de Clorofila CCI son eficientes para identificar características asociadas a la presencia de *C. acutatum* en el cultivo del chocho (Godoy & Luna, 2019).

Justificación

El chocho es un cultivo de origen Andino adaptado a las condiciones edafoclimáticas del Ecuador; se cultivan 10000 ha siendo 50000 ha las que tienen aptitud productiva; presentan bajos rendimientos, de 220 kg/ha siendo lo ideal 1500 kg/ha, ya que la antracnosis *C. acutatum* es una enfermedad patogénica que se transmite de la semilla a la planta y puede provocar una disminución de productividad de hasta el 100 % (Falconí, 2013).

La intensidad solar acumulada de 2,34 MJ m⁻² en la estufa de solarización reduce el porcentaje de infección de *C. acutatum* (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2019). Las cepas de *Bacillus subtilis* tienen potencial biológico para controlar la antracnosis del lupino, ya que presentan lipopéptidos anti fúngicos: fengycinas, iturinas y surfactinas (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2022). Los dos métodos de control, han tenido un efecto fisiológico-estimulante, ya que ha provocado mejores rendimientos del cultivo, al provocar el número de brotes, número de vainas y calidad de semilla al finalizar el ciclo productivo.

Se caracterizó espectralmente el cultivo de chocho durante el desarrollo fenológico y determinaron que los índices NDVI (Índice Normalizado de Vegetación), TNDVI (Índice Normalizado de Vegetación Transformado) y CCI (Índice de Cubierta Clorofila), permiten evidenciar condiciones de estrés en la vegetación y son eficientes para identificar características fisiológicas asociadas a la desinfección de semilla con radiación solar UV-B (Sinde, 2021).

La principal limitante de la agricultura de precisión AP en el Ecuador se debe a la falta de investigación por lo que es importante la cooperación interinstitucional que fomente la integración de equipos multidisciplinarios para levantar información espectral en función de las necesidades locales (Caicedo, 1998).

Por tanto, la siguiente investigación se centra en la obtención de información de las características agronómicas, patrones espectrales e índices de vegetación en los diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho *L. mutabilis*, con la finalidad de poder diagnosticar e identificar

variaciones en el cultivo y poder implementar la Agricultura de Precisión, de forma que se garantice la sostenibilidad de los pequeños y medianos productores de chocho en la zona Andina del Ecuador.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar el comportamiento agronómico y espectral en diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho *L. mutabilis*. por efecto del pretratamiento de semillas con radiación UVB y aplicación de *B. subtilis*.

Objetivos específicos

- Describir características agronómicas en los diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho *L. mutabilis*, por efecto del pretratamiento de semillas con radiación solar y aplicación de *B. subtilis*.
- Identificar el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) mediante la utilización de UAVs en los diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho *L. mutabilis*.
- Relacionar el Índice Normalizado de Vegetación NDVI con el Índice de Contenido de Clorofila CCI para la obtención de un sistema de diagnóstico de los diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho *L. mutabilis*.

Hipótesis

Hipótesis nula

El pre tratamiento de semillas de chocho *L. mutabilis* con radiación UVB en la estufa de solarización y la aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS1-2 en campo no tienen respuesta en las variables agronómicas e índices de vegetación.

Hipótesis alterna

El pre tratamiento de semillas de chocho *L. mutabilis* con radiación UVB en la estufa de solarización y aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS1-2 en campo tienen respuesta en las variables agronómicas e índices de vegetación.

Capítulo II

Marco Referencial

Cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis*)

El altramuz andino, chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) es una planta leguminosa originaria de la zona andina sudamericana y considera como la perla de las andes. Un cultivo de gran relevancia entre culturas como los Nazca, Incas y Egipcios, siendo de los principales alimentos en su dieta (Jacobsen y Mujica, 2006). En la actualidad es considera la proteína reserva del planeta por su alto contenido proteico (Tapia y Fries, 2007).

Genotipos

Iniap - 450 Andino

La variedad I - 450 Andino, se obtuvo de una población de germoplasma introducida en Perú en 1992. Presenta hábito de crecimiento precoz (6 meses), con buenas características agronómicas y morfológicas. El color de grano es blanco crema, tiene una forma oval aplanada, alcanza un tamaño promedio de 8 mm, el número de vainas por planta es de 8 a 28, granos por vaina de 6 a 8, el rendimiento oscila entre 0.33 a 1.5 t ha⁻¹, tiene una ligera tolerancia a plagas y enfermedades (INIAP, 2009).

Línea de mejora: cruzamiento F3 (ECU 2658 X ECU 8415)

La línea F3 obtenida a partir del cruzamiento ECU 2658 X ECU 8415 presenta las siguientes características agronómicas: altura de 1,40 m, 44 vainas en el eje central, entre 3 y 4 semillas por vaina, rendimiento de 1200 kg/ ha y 46 %de semilla no comercial (Peralta y Caceres, 2008).

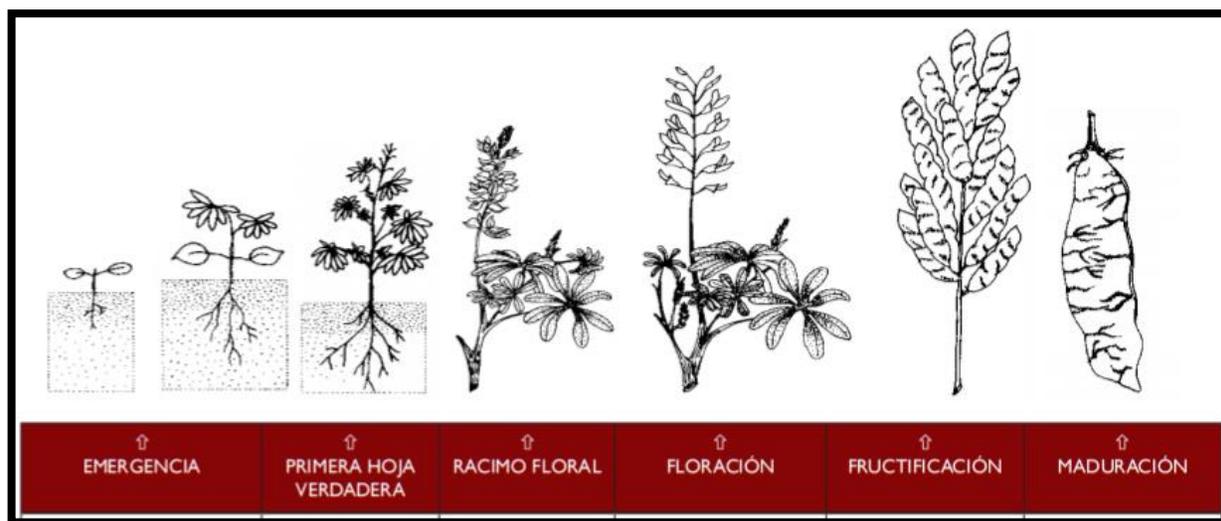
Etapas fenológicas

Los estados o etapas fenológicas son los cambios morfológicos y fisiológicos que tiene un cultivo desde la siembra hasta la producción. Según (Yzarra y López , 2012) en el cultivo de chocho se puede apreciar seis etapas de desarrollo:

1. **Emergencia:** los cotiledones están abiertos y desplegados de forma paralela al suelo.
2. **Primera hoja verdadera:** primera hoja completamente desplegada.
3. **Vegetativo:** surgimiento de flores en el eje principal.
4. **Floración:** flor abierta en el eje principal.
5. **Fructificación:** formación de las primeras vainas.
6. **Maduración:** semillas blancas y alcanzan tamaño final. Las vainas se decoloran y se secan completamente.

Figura 1.

Etapas fenológicas del cultivo de chocho



Nota: (Yzarra y López , 2012)

Principales enfermedades

El cultivo de chocho es susceptible a diferentes enfermedades como: quedamado del tallo (*Ascochyta sp.*), marchitez (*Ascochyta sp.*), roya (*Uromyces lupini*), mancha anular (*Ovularia lupinicola*), pudrición del tallo (*Sclerotinia sclerotiorum*), etc. Sin embargo, la antracnosis (*Collectotrichum acutatum*) es la que se presenta con mayor incidencia y severidad en el cultivo (Caicedo y Peralta, 2000).

Antracnosis (*Collectotrichum acutatum*)

La antracnosis afecta el establecimiento, desarrollo y productividad del cultivo de chocho; el primer punto de transmisión es por las semillas y posteriormente por esporas entre plantas infectadas por acción del viento y el agua. El patógeno se activa en el estado fenológico vegetativo y floración afectando el tallo, hojas, ápice, brotes terminales, vainas y semillas (Falconí, 2012). El mayor riesgo de incidencia de la enfermedad se genera en área de precipitación media – alta y condiciones ambientales húmedas y cálidas (Thomas, 2003).

Síntomas

La antracnosis afecta el estado fenológico de vegetativo, floración y reproductivo en la parte aérea superior de la planta, afectando el tallos, hojas y vainas (Insuasti, 2001). Las hojas presentan corrugamiento y se forman manchas cloróticas de forma irregular con márgenes de color rojizo a marrón en los bordes de los folíolos; el tallo en estados graves de severidad se deprime ya que se forman lesiones necróticas circulares o alargadas que generan quebrazón o ruptura del tallo (Falconí, 2012).

Durante el envainado puede haber plantas muertas, desprendimiento de la flor y pudrición de los frutos, vainas pequeñas o con lesiones, semillas con lesiones y deformaciones, y pueden presentar masas de micelios sobre la superficie de la semilla de color rosado (Falconí, 2013).

Métodos de Control

Los mejores tratamientos son los que se realizan de forma preventiva, con la finalidad de reducir la presencia de patógenos que puedan presentarse y afectar el correcto crecimiento del cultivo y afectar la productividad. Existen diferentes métodos de control: físicos, químicos y biológicos que pueden ser utilizados y aplicados para aumentar la productividad del chocho (Caicedo y Peralta, 2000).

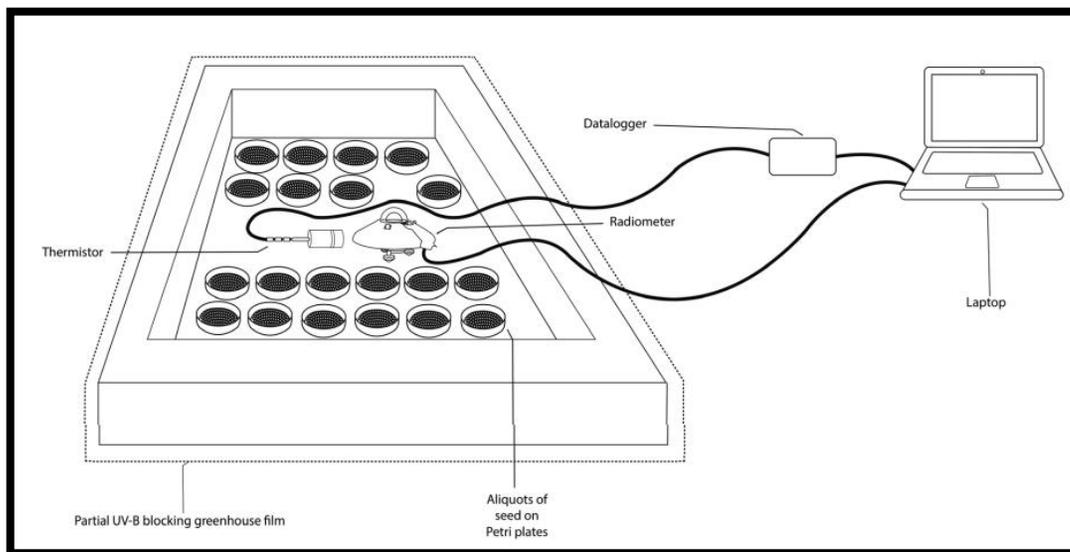
Los tratamientos físicos permiten la desinfección de las semillas mediante el uso de radiación UVB y aumento de la temperatura, generando condiciones letales para el patógeno (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2019). Métodos biológicos como el uso de *B. subtilis* promueven resistencia a enfermedades y crecimiento en el cultivo (Yáñez - Mendizabal y Falconí, 2020).

Radiación solar UVB

La cámara de solarización permite controlar el patógeno alojado en la semilla, a partir del calor generado por la energía solar. Consiste en exponer las semillas a la luz solar en una cámara que alcanza temperaturas entre 40 a 60 °C, ya que refleja, dirige y enfoca la radiación absorbida entre las superficies reflectantes (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2019). Semillas de chocho pre tratadas por 45 o 60 min en la estufa de solarización han reducido la transmisión de antracnosis de semilla a planta hasta un 95 % y ha generado mayor rendimiento en comparación a los métodos tradicionales de desinfección (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2017). Durante el proceso la temperatura de la semilla puede elevarse a niveles letales para otro tipo de organismos (Guerrero, 2017).

Figura 2.

Estufa de solarización para desinfección de semilla con radiación UV-B.



Nota: (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2019).

Control biológico

Los métodos para el control biológico de la antracnosis se basan en la utilización de microorganismos antagonistas para los patógenos. El potencial de control biológico de *Bacillus subtilis* contra las enfermedades de las plantas antes y después de la cosecha ha sido ampliamente estudiado; en la actualidad se están desarrollando formulaciones comerciales que tengan efecto en el control de las enfermedades fúngicas, que promuevan del crecimiento de las plantas y mejore la conservación de los alimentos (Yáñez - Mendizabal , 2012).

B. subtilis, presenta alto efecto lipopéptido antifúngico contra *C. acutatum* por la presencia de fengicinas, que interactúan con los componentes lipídicos de la membrana citoplasmática (ergosterol) del patógeno alterando su estructura y permeabilidad. Además de una respuesta positiva sobre la fisiología y bioquímica del cultivo, al contrastar con el contenido de clorofila, proteínas y actividad enzimática (Falconí y Yáñez - Mendizabal , 2022). Además se ha determinado que, *Bacillus subtilis* cepa CtpxS2-1 genera resistencia sistémica adquirida (SAR) ya que sus extractos lipopéptidos,

específicamente fengicina, tienen una fuerte actividad antifúngica contra *C. acutatum* ya que participan en la inducción de los genes PR-1, PR4, SOD-2, PIN-1 y PIN-3 relacionados con la defensa y el crecimiento del chocho, además aumentan el crecimiento de raíces y brotes en plantas (Yáñez - Mendizabal y Falconí, 2020).

Agricultura de precisión (AP)

La agricultura de precisión es la aplicación de técnicas de teledetección mediante cartografía (GNSS) y sensores remotos para la obtención de firmas espectrales e índices de vegetación, que permiten identificar, analizar y gestionar la variabilidad con el objetivo de optimizar recursos, reducir el impacto ambiental y aumentar la rentabilidad (Gutiérrez, 2004).

Son nuevas tecnologías que permite satisfacer las necesidades alimenticias de la sociedad al incrementar la productividad, ya que permite recopilación de datos diversos y los analiza de manera efectiva en áreas de campo específicas, basadas en la identificación de las posibles causas de variabilidad existente dentro de un mismo predio y cuanto afectan al rendimiento y a la calidad del cultivo. Estas variaciones se presentan por las características edafológicas, condiciones ambientales, especie, manejo de cultivo, etc (Zhang & Wang, 2002).

Uso de UAVs

Los UAVs (Unmanned Aerial Vehicle – Vehículo Aéreo no Tripulado) o conocidos como drones, son equipos automáticos (programados) o que pueden ser manipulados por un control remoto, sobre la ruta de vuelo planificada (Mojica, 2015). Son una herramienta de gran importancia para la agricultura de precisión AP, ya que permiten obtener información en tiempo real de las propiedades del suelo y estado del cultivo, además que permiten integrar cámaras con sensores multispectrales, que proporcionan imágenes con mayor resolución temporal, espacial y espectral (Zhang & Wang, 2002).

Espectro Electromagnético

La teledetección se basa en el estudio de luz, la materia y su interacción, permite identificar la radiación o longitud de onda que se refleja o absorbe (Bonilla, 2019). La longitud de onda (nm) es la magnitud utilizada para clasificar la radiación electromagnética (EMR) (Santos, 2018), y que puede ser registrada por los sensores remotos en las diferentes porciones del espectro electromagnético (Chuvieco, 2008).

La radiación solar se divide en: radiación ultravioleta UV, luz visible y radiación infrarroja RI. (AEMet, 2004). En la Tabla 2. Se presenta el tipo de radiación y su respectiva longitud de onda.

Tabla 1.

Clasificación del espectro electromagnético.

Espectro Electromagnético		
Tipo de radiación	Denominación	Longitud de onda (nm)
Luz ultravioleta	Ultravioleta Extremo UVC	10 - 200
	Ultravioleta Medio UVB	280 - 315
	Ultravioleta Cercano UVA	315 - 400
Luz visible	Azul	425 - 490
	Rojo	490 - 560
	Verde	640 - 740
Luz Infrarroja	Infrarrojo Cercano	700 - 1300
	Infrarrojo Medio	1300 - 8000
	Infrarrojo Lejano	8000 - 14000

Nota: (Basantes, 2010).

Firma Espectral

Consiste en la construcción de patrones a partir de la información registrada por los sensores remotos. La energía incidente (I), puede ser reflejada (R), transmitida (T) y absorbida (A) por el objeto o la planta (Santos, 2018). La luz visible se encarga de activar el proceso fotosintético, oscila en el rango de 400 y 700 nm, es la longitud que más aprovechan las plantas y varían de acuerdo al tipo de clorofilas y pigmentos (Basantes, 2010).

Índices de Vegetación

Son medidas que se obtienen a partir de cálculos de reflectancia de una longitud de onda determinada y que son empleados para la generación de Índices de Vegetación (IV), con lo que se puede estimar y medir el contenido de clorofila y biomasa (Ehsani, 2004) Los índices utilizados con mayor frecuencia para investigaciones agrícolas son: Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), Índice Normalizado de Vegetación Ajustado (TNDVI), Índice de Borde Rojo Simple (SR-RE), Índice de Clorofila (CCI) e Índice de borde rojo de diferencia normalizada (NDRE) (Gutiérrez, 2004).

Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

El índice NDVI puede tomar valores entre -1 y 1 y se calcula a partir de la diferencia entre la absorción máxima en el espectro del rojo (620 a 690 nm) y la reflectancia máxima del NIR (infra rojo cercano (760 a 900 nm) y permite estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación según la intensidad de la radiación (Chuvienco, 2008). Los valores positivos corresponderán a vegetación sana, los negativos a superficies sin vegetación como el agua, nieve o nubes y cuando la vegetación está bajo estrés son valores positivos, pero reducidos (Díaz, 2015).

$$NDVI = \frac{IR\ cercano - Rojo}{IR\ cercano + Rojo}$$

Índice de Contenido de Clorofila – ICC

Los medidores de clorofila utilizan la absorbancia para estimar índices de concentración de clorofila proporcional al contenido de clorofila en el tejido de la hoja. El índice CCI es un buen indicador de la actividad fotosintética por lo que se puede prevenir el estado fenológico, problemas fitosanitarios, nutricionales, hídricos, etc. Se obtiene mediante la primera derivada de la reflectancia de longitudes de onda 720 y 700 nm (Díaz, 2015).

$$CCI = \frac{D720}{D700}$$

Capítulo III

Materiales y métodos

Ubicación del lugar de investigación

La investigación se realizó en las parcelas experimentales del Laboratorio de Fitopatología y Control Biológico de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ubicado en la localidad de San Fernando; Parroquia: Sangolquí, Cantón: Rumiñahui, Provincia: Pichincha.

Figura 3.

Zona del proyecto y sus alrededores.



Nota: (Google Maps, 2022).

Materiales

En la Tabla 2., se indican los materiales y equipos utilizados para el desarrollo de la investigación.

Tabla 2.

Materiales y equipos utilizados para implementación, manejo agronómico y levantamiento de información.

Implementación Ensayo	Manejo Agronómico	Levantamiento de Información
Semillas genotipo I450 Andino.	Sistema de riego	Libro de campo
Semillas cruzamiento F3 (ECU 2658 X ECU 8415)	Azadón	Cinta métrica
Piola	Pala	UAV DJI Mavic PRO
Estacas	Rastrillo	Laptop
Estufa de Solarización	Bomba de fumigación	GPS Trimble R8
	Fertilizantes	Medidor de clorofila Opti-Sciences CCM-200 plus
	Insumos Fitosanitarios	
	Cepa CtpxS1-2	

Métodos

Implementación de los tratamientos

Método físico: Pre tratamiento de semilla con radiación solar

Para la desinfección de las semillas de chocho, se colocó dentro de la estufa solarización, en la cual se expuso durante 45 minutos a los rayos solares. Se controló la temperatura de desinfección (95°C) mediante un termómetro y la radiación acumulada necesaria (2,34 MJ m⁻²) con un piranómetro.

Método biológico Aplicación de *Bacillus subtilis*

La cepa de *B. subtilis* CTPX S1-2, fue proporcionado por el Laboratorio de Control Biológico de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1. Lo cual se inoculó en una concentración de 1×10^8 a 1×10^9 UFC * g⁻¹, durante la fase de floración, reproductivo y envainamiento.

Fase de campo

El terreno utilizado para el ensayo tuvo un área de 187 m², pendiente del 3%, en las que se delimitó 18 parcelas de 10,5 m² en las que se identificaron 30 plantas por tratamiento con una cinta roja en la base del tallo.

Para la preparación del terreno se hizo dos pases de arado y uno de rastra. Los discos de la rastra elaboraron surcos a 0,8 m de ancho en los que se realizó la siembra a 0,35 m entre plantas, 3 semillas por golpe y a una profundidad de 0,2 m. Previamente realizado el pretratamiento de las semillas del genotipo I 450 Andino y cruzamiento F3 con radiación UVB en la estufa de solarización.

Se estableció un plan de riego, fertilización, prácticas culturales y manejo de plagas y enfermedades para el ciclo productivo (7 meses), con la finalidad de evitar factores externos que puedan afectar la interpretación y obtención de la información agronómica y espectral, las cuales se tomaron de acuerdo a la planificación de muestreo según el estado fenológico del cultivo, tabla 5.

Durante el estado fenológico de floración, reproductivo y envainamiento se realizaron aplicaciones de *Bacillus subtilis* cepa CTPXS1-2 al follaje 0,5 g. L-1. A los 190 días comenzó la cosecha en fundas negras previamente identificadas por tratamiento y repetición para la valoración final del rendimiento.

Fase analítica

Variables agronómicas

La cuantificación de las variables agronómicas implica organización y cálculos matemático básicos previos al análisis estadístico.

Variables espectrales

El índice de clorofila ICC se calculó a partir del medidor Opti-Sciences CCM-200 plus, el cual consiste en poner el lente sobre hojas con área foliar superior al diámetro del lente para una correcta

lectura. Respecto a la obtención del índice normalizado de vegetación NDVI, se necesita procesar la información obtenida del UAV. Cabe recalcar que la información espectral se procesó en conjunto con la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente y se siguió el procedimiento que se detalla a continuación.

Posicionamiento de la muestra

Las diez plantas seleccionadas con la cinta roja se georreferencian mediante el método RKT con ayuda del GPS Trimble R8, dando un total de 180 puntos. Con lo que se obtuvo un archivo en formato .xls con la coordenada de cada planta, el número de planta y la repetición.

Plan de vuelo

El vuelo se realizó con el UAV DJI Mavic PRO, donde se montó la cámara multiespectral Survey 3W que cuenta con bandas RGN (Red + Green + NIR), los parámetros a considerar son la altura de vuelo, el traslapo transversal y longitudinal, la velocidad y el área de estudio. En la aplicación de móviles Pix4Dcaptu se colocaron los parámetros de vuelo y se obtuvo un aproximado de 150 imágenes por vuelo, con un GSD de 1cm/píxel.

Procesamiento de las imágenes

Las imágenes multiespectrales fueron procesadas en el software Pix4Dmapper Pro, que permite generar orto mosaicos y MDS a partir de la nube de puntos que se forma con el amarre de las imágenes.

Procesamiento de datos

Las firmas espectrales descargadas en formato sed, del software Windows Mobile se exportaron a formato .xls. En los que consta la longitud de onda y la respectiva reflectancia para una posterior depuración de valores atípicos. La calibración de reflectancia del orto mosaicos se realizó en el software MAPIR Camera Control. Para generar el índice NDVI se utilizó la herramienta Raster Calculator del software QGIS 3.10, según la fórmula pertinente para cada índice de vegetación (Bonilla, 2019).

Diseño Experimental

Tipo de diseño

Para el desarrollo de esta investigación se realizó un diseño bifactorial (3x2), completamente al azar (DCA), con tres repeticiones (R1, R2, R3).

Factores y tratamientos

Los factores de estudio fueron los genotipos de semilla de chocho I – 450 Andino y cruzamiento F3 (ECU 2658 X ECU 8415) y los métodos de control: físico (radiación UV-B), biológico (aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS1-2) y sin método de control (testigo)

Tabla 3.

Tratamientos de estudio.

Tratamiento	Método.	Genotipo/ Cruzamiento
T1	Radiación UV-B	I - 450 Andino
T2	<i>B. subtilis</i>	I - 450 Andino
T3	Testigo	I - 450 Andino
T4	Radiación UV-B	F3 (Ecu 2658 X Ecu 8415)
T5	<i>B. subtilis</i>	F3 (Ecu 2658 X Ecu 8415)
T6	Testigo	F3 (Ecu 2658 X Ecu 8415)

La distribución del experimento se muestra a continuación:

Tabla 4.

Croquis del Diseño

T3.1	T4.3	T6.1
T2.2	T1.2	T5.2
T4.1	T5.1	T3.3
T1.1	T6.3	T2.1
T5.3	T3.2	T2.3
T6.2	T1.3	T4.2

Nota: el croquis consta de 6 tratamientos y 3 repeticiones.

Planificación de muestreo

El muestreo se realizó de acuerdo al estado fenológico del cultivo, se contempló el estado cotiledonar, floración, reproductivo y envainamiento tanto para variables agronómicas y espectrales.

Tabla 5.

Planificación de muestreo según el estado fenológico del cultivo.

Muestreo	Estado fenológico	Días después de la siembra (dds).
1	2	Cotiledonar
3	5	Floración
4	6	Reproductivo
5	7	Envainamiento

Análisis estadístico:

El análisis estadístico de las variables agronómicas y espectrales se realizó bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + M_j + SM_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ij} = Productividad del cultivo de chocho.

μ = media poblacional

G_i = efecto del i-ésimo nivel del genotipo.

M_j = efecto de la j-ésimo nivel de método de control.

SM_{ij} = efecto de la interacción genotipo x método de control

e_{ijk} = error experimental.

Se realizó estadística descriptiva (media y desviación estándar), análisis de varianza (ANAVA), prueba de comparación de medias LSD de Fisher a un nivel de significancia del 5%, y un análisis de correlación de Pearson entre las variables espectrales y agronómicas.

Variables de estudio

Variables agronómicas

Porcentaje de emergencia

Se contabilizó el número plantas germinadas después de 21 días de siembra y se relacionó respecto al número total de semillas sembradas en cada unidad experimental (Falconí, 2012).

Altura de la planta

Se midió la altura con una cinta métrica desde la base del tallo hasta el racimo floral principal.

Número de nudos por planta

Se contabilizó el número de nudos desde la base del tallo hasta el ápice terminal de las 10 plantas seleccionadas en cada unidad experimental.

Número de brotes por planta

Se contabilizó el número de brotes que se generan en cada uno desde la base del tallo hasta el ápice de las 10 plantas seleccionadas en cada unidad experimental.

Número de vainas por planta

Se contabilizó el número total de vainas presentes en el eje central y en ramas laterales para cada una de las unidades experimentales en el estado fenológico de envainamiento (Falconí y Yáñez, 2016).

Número de semillas por vaina

Se trilló las vainas de las plantas marcadas y posteriormente se calcula el promedio de semillas por tratamiento al finalizar el ciclo del cultivo.

Productividad

Se calculó el rendimiento de semilla de cada unidad experimental, se extrapolo y se estimó el rendimiento de cada tratamiento en kilogramos por hectárea.

Semilla no comercial

El porcentaje de semilla no comercial se calculó, dividiendo el peso de las semillas con características indeseables (color marrón, lesiones de insectos o mecánica) respecto al total de semillas y multiplicado por 100.

$$\% \text{semilla no comercial} = \frac{\text{peso de semillas no comercial}}{\text{peso total de semillas}} \times 100$$

Índice de Severidad

Se evaluó 10 plantas seleccionadas de cada unidad experimental, según la escala de severidad de la antracnosis propuesta por (Falconí, 2015).

- 1) Planta sin ninguna lesión.
- 2) Lesiones leves (menos de 5 mm) en el tallo central y hojas.
- 3) Afección apical al tallo central, hojas arrugadas con lesiones moderadas (mayor a 5 mm).
- 4) Lesiones graves en hojas y tallos (10 mm a 30 mm, tejido necrótico y presencia de esporas.
- 5) Quebrazón de tallo y hojas por necrosis de los tejidos acompañado de esporulación.
- 6) Plantas muertas y esporulación de tejido necrótico de color salmón.

Porcentaje de incidencia

El porcentaje de incidencia de la antracnosis se calculó de acuerdo al número de plantas con infección, respecto al número total de plantas en cada unidad experimental.

Variables Espectrales

Índice Normalizado de Vegetación NDVI

Se tomó datos espectrales de todo el ensayo a una altura promedio de 20 m, con el sensor multiespectral (Red Edge Mx) que está incorporado al UAV. La información se procesó, mediante el uso del software ViewSpec - Pro, donde se debe armo una base de datos de acuerdo a los rangos de longitud de onda de los tratamientos y repeticiones para posteriormente generar el índice de vegetación NDVI.

Índice de Contenido de Clorofila ICC

Se seleccionó e identificó una hoja a 60 cm de altura y con área superior al lente del equipo Opti-sciences CCM-200 Plus, de las 10 plantas seleccionadas de cada unidad experimental y se midió el contenido de clorofila de cada foliolo en los 3 estados fenológicos de floración, reproductivo y envainamiento.

Capítulo IV

Resultados y discusión

Variables Agronómicas

Porcentaje de Germinación

No se encontraron diferencias significativas entre los porcentajes de germinación bajo el efecto de los métodos de control físico y biológico sobre el genotipo I450-Andino y cruzamiento F3 (ECU 2658 x ECU 8415) ($F= 0,89$; $p=0,5161$). Según Andrade (2017), quien irradió con 2,225 MJ/ m² en semillas de chocho, no encontró afección en la germinación. Similar conclusión a la obtenida por Falconí y Yáñez – Mendizábal (2019) quienes determinaron que tiempos de exposición de 15, 30, 45, 0 60 min a dosis moderadas de UVB DE 2,83 y 3,75 kl m² controló la presencia de *C. acutatum* en la semilla y no redujo el porcentaje de germinación. Contrario a lo que propone Loor (2019), quien encontró que la exposición de 45 minutos a radiación solar en la estufa de solarización reduce el porcentaje de germinación, puesto que se reduce la humedad de la semilla en un 8 %.

Altura de la planta

Se encontraron diferencias significativas de la altura (cm) en el estado fenológico de floración ($F: 32,27$; $p<0,0001$), envainamiento ($F: 26,02$; $p<0,0001$) y reproductivo ($F: 4,40$; $p<0,0001$) bajo el efecto del genotipo y método de control. Durante la floración el cruzamiento F3 (ECU 2658 x ECU 8415) pre tratado con radiación UVB presentó mayor altura; en estado reproductivo y envainamiento el cruzamiento F3 (ECU 2658 x ECU 8415) con aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS1-2 presentaron mayor altura respecto al resto de tratamientos, (Tabla 6).

Número de nudos por planta

Se encontraron diferencias significativas del número de nudos en el estado fenológico de floración (F: 72,29; $p < 0,0001$), envainamiento (F: 23,02; $p < 0,0001$) y reproductivo (F: 5,30; $p < 0,0001$) bajo el efecto del genotipo y método de control. En la floración el cruzamiento F3 (ECU 2658 x ECU 8415) presentó mayor número de nudos respecto al genotipo I 450 Andino. En estado reproductivo el cruzamiento F3 (ECU 2658 x ECU 8415) pre tratado con radiación UVB presentó mayor número de nudos respecto al resto de tratamientos. En Envainamiento el cruzamiento F3 (ECU 2658 x ECU 8415) pre tratado con radiación UVB y con aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS1-2 presentaron mayor número de nudos respecto al resto de tratamientos, (Tabla 6).

Número de brotes por planta

Se encontraron diferencias significativas del número de brotes en el estado fenológico de floración (F: 72,29; $p < 0,0001$), envainamiento (F: 27,01; $p < 0,0001$) y reproductivo (F: 7,30; $p < 0,0001$) bajo el efecto del genotipo y método de control. El cruzamiento F3 (ECU 2658 x ECU 8415) con aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS2-1 presentó mayor número de brotes en los estados fenológicos de floración, reproductivo y envainamiento, (Tabla 6).

Se ha demostrado que el método de control físico y biológico tiene un efecto fisiológico-estimulante, ya que ha generado mejores rendimientos del cultivo de chocho, al provocar mayor número de brotes, número de vainas y calidad de semilla al finalizar el ciclo productivo (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2019). Las semillas pretratadas con radiación solar promueve el aumento en el vigor de la planta, puesto que induce la capacidad de reconstruir y reformular proteínas debido a la mayor actividad enzimática de peroxidasa y proteosoma 20S (Chávez & Vásquez, 2021).

Tabla 6.

Media \pm desviación estándar de la altura, número de brotes y número de nudos bajo el efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho.

Estado Fenológico	Genotipo	Método Control	N	Altura (cm)		Número Brotes		Número Nudos	
				X \pm DE		X \pm DE		X	
Floración	F3	Testigo	30	102 \pm 13,56	b	6 \pm 0,01	a	9 \pm 0,09	a
	F3	UVB	30	111 \pm 4,7	a	6 \pm 0,01	a	9 \pm 0,09	a
	F3	<i>B. subtilis</i>	30	106 \pm 6,5	b	6 \pm 0,01	a	9 \pm 0,09	a
	I 450	Testigo	30	102 \pm 8,82	b	6 \pm 0,1	b	8 \pm 0,08	b
	I 450	UVB	30	104 \pm 3,42	b	6 \pm 0,01	a	8 \pm 0,07	b
	I 450	<i>B. subtilis</i>	30	106 \pm 6,61	b	6 \pm 0,01	a	8 \pm 0,06	b
Reproductivo	F3	Testigo	30	131 \pm 11,75	c	11 \pm 0,18	e	12 \pm 0,01	b
	F3	UVB	30	137 \pm 6,77	b	12 \pm 0,01	c	13 \pm 0,1	a
	F3	<i>B. subtilis</i>	30	148 \pm 6,76	a	14 \pm 0,02	a	12 \pm 0,02	b
	I 450	Testigo	30	132 \pm 6,69	c	10 \pm 0,19	d	10 \pm 0,01	c
	I 450	UVB	30	131 \pm 7,26	c	12 \pm 0,13	c	10 \pm 0,01	c
	I 450	<i>B. subtilis</i>	30	138 \pm 11	b	13 \pm 0,21	b	11 \pm 0,01	c
Envainamiento	F3	Testigo	30	173 \pm 13,22	d	10 \pm 0,01	c	18 \pm 0,51	b
	F3	UVB	30	191 \pm 3,24	b	12 \pm 0,02	b	21 \pm 0,34	a
	F3	<i>B. subtilis</i>	30	201 \pm 6	a	15 \pm 0,02	a	21 \pm 0,38	a
	I 450	Testigo	30	182 \pm 9,2	c	10 \pm 0,02	c	16 \pm 0,04	c
	I 450	UVB	30	191 \pm 3,42	b	12 \pm 0,02	b	17 \pm 0,03	b
	I 450	<i>B. subtilis</i>	30	190 \pm 6,61	b	15 \pm 1,8	a	18 \pm 2,7	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Además, *B. subtilis* tiene un efecto favorable en la bioquímica de la planta, ya que estimula el crecimiento al aumentar la actividad de clorofila, proteína y enzimas peroxidasa (POD) y catalasa (CAT) (Yáñez - Mendizabal , 2012). Lo que concuerda con Cusin (2021) quien determino que el uso de *B. subtilis* CtpxS2-1 promovió la inducción de brotes en el genotipo I 451 Guaranguito y cruzamiento F3 (ECU2658 X ECU 8415). *B. subtilis* tiene la capacidad para poder excretar diferentes fitohormonas como citoquinas y auxinas que tienen la capacidad de elongación del tallo e inducción al desarrollo de brotes.

Por lo antes mencionado y por el análisis descrito de la tabla 6, tanto el método físico (pretratamiento de la semilla con radiación UVB) y el método biológico (aplicación de *B. subtilis* cepa

CtpxS2-1) inducen a un complejo enzimático - fisiológico que aumentan el número de nudos, número de brotes y por ende un efecto directo en la altura de la planta que promueve un óptimo crecimiento del cultivo de chocho.

Variables Espectrales

Índice de Clorofila – ICC

Se encontraron diferencias significativas del índice de clorofila ICC en estado fenológico de floración (F: 17,59; P: 0,001), envainamiento (F: 17,05; $p < 0,0001$) y reproductivo (F: 5,22; $p < 0,0001$) bajo el efecto del genotipo y método de control. En el estado fenológico de floración el genotipo I 450 Andino y en reproductivo el cruzamiento F3 (ECU2658 X ECU 8415) con la aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS2-1 presento altos contenidos de clorofila respecto al resto de tratamientos. El cruzamiento F3 (ECU2658 X ECU 8415) y el genotipo I 450 Andino con el método de control biológico (*B. subtilis* cepa CtpxS2-1) presento mayor contenido de clorofila en comparación con el método de control físico y el testigo, (Tabla 7).

Índice Normalizado de Vegetación – NDVI

Se encontraron diferencias significativas del índice normalizado de vegetación NDVI en estado fenológico de floración (F: 32,5; P: 0,001), envainamiento (F: 3,02; $p < 0,0001$) y reproductivo (F: 1,40; $p < 0,0001$) bajo el efecto del genotipo y método de control. Durante el estado fenológico de floración y reproductivo el cruzamiento F3 (ECU2658 X ECU 8415), pre tratados con radiación UVB y en los que se aplicó *B. subtilis* cepa CtpxS2-1 presento mayor índice normalizado de vegetación NDVI respecto al genotipo I 450 Andino. Durante el envainamiento el cruzamiento F3 (ECU2658 X ECU 8415) con la aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS2-1 presento un alto NDVI respecto al resto de tratamientos, (Tabla 7).

Tabla 7.

Media \pm desviación estándar del índice de clorofila ICC e índice normalizado de vegetación NDVI, bajo el efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en diferentes estados fenológicos del cultivo de chocho.

Estado Fenológico	Genotipo	Método Control	n	ICC (ug/ml)		NDVI	
				X \pm DE		X \pm DE	
Floración	F3	Testigo	30	35 \pm 1,71	c	0,88 \pm 0,35	b
	F3	UVB	30	39 \pm 1,87	b	0,92 \pm 0,34	a
	F3	<i>B. subtilis</i>	30	38 \pm 1,93	b	0,92 \pm 0,34	a
	I 450	Testigo	30	34 \pm 1,79	c	0,86 \pm 0,33	b
	I 450	UVB	30	37 \pm 1,78	b	0,87 \pm 0,31	b
	I 450	<i>B. subtilis</i>	30	43 \pm 1,6	a	0,88 \pm 0,32	b
Reproductivo	F3	Testigo	30	42 \pm 1,65	c	0,91 \pm 0,31	b
	F3	UVB	30	47 \pm 1,77	b	0,94 \pm 0,32	a
	F3	<i>B. subtilis</i>	30	57 \pm 1,56	a	0,93 \pm 0,31	a
	I 450	Testigo	30	42 \pm 1,69	c	0,88 \pm 0,32	b
	I 450	UVB	30	43 \pm 1,26	c	0,89 \pm 0,31	b
	I 450	<i>B. subtilis</i>	30	48 \pm 1,62	b	0,91 \pm 0,3	b
Envainamiento	F3	Testigo	30	18 \pm 1,92	b	0,89 \pm 0,31	d
	F3	UVB	30	17 \pm 1,79	b	0,95 \pm 0,33	b
	F3	<i>B. subtilis</i>	30	24 \pm 1,26	a	0,97 \pm 0,32	a
	I 450	Testigo	30	15 \pm 1,62	c	0,91 \pm 0,31	c
	I 450	UVB	30	16 \pm 1,19	b	0,93 \pm 0,3	c
	I 450	<i>B. subtilis</i>	30	25 \pm 1,14	a	0,94 \pm 0,29	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La agricultura de precisión AP mediante la utilización de UAVs y sensores multispectrales permite determinar problemas cuando el cultivo sufre algún tipo de estrés (Gutiérrez, 2004). Sinde y Falconí (2021) determinaron índices NDVI Y TNDVI en el cultivo de chocho, lo cuales exhibieron comportamientos similares en las etapas fenológicas del cultivo, siendo el índice más bajo en etapa fenológica cotiledónear, y este aumento conforme el desarrollo de la planta, siendo similar en desarrollo vegetativo, reproducción y envainado. A su vez se ha determinado que la utilización de firmas espectrales permite la generación de índices de vegetación IV diferenciando entre estados fenológicos, ya que Sinde (2022) caracterizo de forma espectral el cultivo de Col (*Brassica oleracea*) y no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, no obstante, el NDVI aumenta conforme el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Sin embargo, en el presente estudio se acredita un mayor índice NDVI e ICC al cruzamiento F3 (ECU-2658 x ECU-8415) y al genotipo I 450 Andino en los que se realizó la aplicación de *Bacillus subtilis* cepa CtpxS 1-2. Sánchez (2017), señala que *B. subtilis* produce lipopéptidos, enzimas líticas y genera la activación de la resistencia sistémica inducida que permite el control de patógenos, por lo cual la productividad y rendimiento del cultivo de chocho no se ve afectado por la antracnosis (*Collectotrichum acutatum*).

Godoy y Luna (2019) y también desde la perspectiva de Simbaña y Tello (2020), se logró determinar que a través de la generación de índices de vegetación IV, que el cruzamiento F3 (ECU-2658 x ECU-8415) presenta mejores características, asociada al crecimiento y resistencia de enfermedades, respecto al genotipo I450 Andino. El índice ICC y NDVI ocupan rangos similares, que varían en función de la etapa fenológica del cultivo, manejo agronómico, manejo fitosanitario y factores externos que puedan afectar el correcto y óptimo crecimiento del cultivo. A su vez se encontró que el índice NDVI aumenta conforme el estado fenológico a diferencia del ICC que disminuye, ya que a mayor edad del cultivo se reduce la actividad fotosintética a nivel foliar, y se puede contrastar en la información obtenida en el estado fenológico de envainamiento. Esta reducción de los índices de vegetación, también se debe, como señala Falconí (2015) que el estado fenológico de floración es susceptible a la presencia de patógenos como la antracnosis, lo que se relaciona con la disminución del contenido de clorofila ya que se generan afecciones a nivel foliar.

Variables Productivas

Se encontraron diferencias significativas del número de vainas por planta (F: 5,22; P: 0,0001), número de semillas por vaina (F: 7,86; P: 0,0001), porcentaje de semilla no comercial (F: 8,40; P: 0,0042) y rendimiento (Kg/ Ha) (F: 43; P: 0,001), bajo el efecto del genotipo y método de control en el cultivo de chocho.

El cruzamiento F3 con aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS2-1 presento mayor número de vainas por planta y número de semillas por vainas respecto al resto de tratamientos aplicados. El genotipo I 450 Andino sin ningún tratamiento presento mayor porcentaje de semilla no comercial y el cruzamiento F3 con aplicado con *B. subtilis* cepa CtpxS2-1 incremento significativamente el rendimiento, (Tabla 8).

Tabla 8.

Media ± desviación estándar del número de vainas por planta, semillas por vaina, porcentaje de semilla no comercial y rendimiento por efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en el cultivo de chocho.

Genotipo	Método Control	N	Numero Vainas / planta	Numero Semillas/ Vaina	% Semilla No Comercial	Rendimiento (Kg)
			X ± DE	X ± DE	X ± DE	X ± DE
F3	Testigo	30	32 ± 0,19 c	4 ± 0,05 d	4 ± 0,04 b	1502 ± 12 c
F3	UVB	30	39 ± 0,31 b	5 ± 0,05 d	3 ± 0,03 c	1716 ± 13,7 b
F3	<i>B. subtilis</i>	30	44 ± 0,36 a	6 ± 0,06 a	2 ± 0,04 d	1887 ± 15,1 a
I 450	Testigo	30	35 ± 0,26 c	5 ± 0,03 c	6 ± 0,05 b	1390 ± 11,1 d
I 450	UVB	30	37 ± 0,30 b	5 ± 0,04 b	4 ± 0,07 b	1521 ± 12,2 c
I 450	<i>B. subtilis</i>	30	42 ± 0,34 a	5 ± 0,05 b	3 ± 0,03 c	1790 ± 13,5 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Según Corrales (2017), *B. subtilis* ha sido estudiado por poseer mecanismos de solubilización de fosfatos y enzimas que forman auxinas, lo que aumenta la cantidad de raíces, la absorción de nutrientes, estimula un mayor número de vainas y por ende su efecto directo en el rendimiento del cultivo. Chávez y Vásquez (2021) en su estudio de aplicación de diferentes dosis de *Bacillus subtilis* en frejol arbustivo, obtuvo mayor rendimiento con 3764 kg/ha respecto al testigo con 2650 kg/ ha. Además, promueve la activación de los genes PR-1.PR4, SOD-2, PIN -1 Y PIN - 3 relacionados con la defensa y crecimiento de raíces y brotes en la planta (Yáñez - Mendizabal y Falconí, 2020).

Variables Patológicas

Se encontraron diferencias significativas del índice de severidad (F: 85,48; P: 0,001) y porcentaje de incidencia (F: 18,13; P: 0,002) de la antracnosis por efecto de la interacción del genotipo y método de control en el cultivo de chocho. Tanto el cruzamiento F3 (ECU-2658 x ECU-8415) y el genotipo I450 Andino sin ningún tratamiento presentaron mayor índice de severidad y porcentaje de incidencia de la antracnosis, en los tratamientos que no se aplicó los métodos de desinfección físico (radiación UVB) y biológico (aplicación de *B. subtilis* cepa CtpS1-2), siendo este último el que presentó mayor capacidad de control, (Tabla 9).

Tabla 9.

Media ± desviación estándar del índice de severidad y porcentaje de incidencia de la antracnosis efecto de la interacción entre el genotipo y el método de control en el cultivo de chocho.

Genotipo	Método Control	n	Índice de Severidad		% Incidencia	
			X ± DE	a	X ± DE	a
F3	Testigo	30	2 ± 0,62	a	63 ± 0,01	a
F3	UVB	30	2 ± 0,52	c	34 ± 0,01	d
F3	<i>B. subtilis</i>	30	1 ± 0,48	d	26 ± 0,01	e
I 450	Testigo	30	2 ± 0,68	a	58 ± 0,01	b
I 450	UVB	30	2 ± 0,6	b	45 ± 0,01	c
I 450	<i>B. subtilis</i>	30	2 ± 0,57	c	38 ± 0,01	d

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Yáñez - Mendizabal y Falconí (2018) al analizar los lipopéptidos producidos por cepas las cepas CtpxS2 -1 y CtpxS3-5, determinaron que las fengicinas, iturinas y surfactinas son los responsables de la actividad antifúngica, inhibiendo completamente el crecimiento de hongos y la esporulación conidial. Además, los resultados del efecto de los tratamientos con *Bacillus subtilis* sobre la clorofila, el contenido de proteínas y la actividad de las enzimas mostraron que las bacterias aplicadas mejora la resistencia y

promueve el crecimiento de tallos, hojas y vainas más saludables (Yáñez & Falconí, 2018). Además, afecta el inicio y el progreso secundario de la enfermedad, ya que activa genes de resistencia en el hospedero, asociado a la reducción de la incidencia y en los procesos del ciclo infeccioso como la germinación de esporas y formación de apresorios.

Tomando en cuenta que el método de control físico mediante radiación solar UVB en la estufa de solarización casera se realiza sobre las semillas antes de la siembra, tiene un considerable efecto en el desarrollo y control de *C. acutatum*, ya que limita un punto crítico e inicial del ciclo reproductivo del patógeno (Yáñez - Mendizabal y Falconí, 2020). Reduciendo hasta un 95 % la transmisión de la antracnosis por semilla (Falconí y Yáñez - Mendizabal, 2019).

Se ha podido evidenciar que los métodos de control físico (radiación UVB) y control biológico (*B. subtilis* cepa CtpxS1-2) sirven para controlar de forma eficiente la antracnosis del chocho. Siendo necesario integrar estas técnicas con la finalidad de prevenir y proteger al cultivo durante el desarrollo fenológico el cual está asociado al ciclo reproductivo de la antracnosis. Siendo indispensable su uso, ya que es una alternativa al uso de fungicidas químicos, los cuales han generado resistencia a las enfermedades en los cultivos y que son perjudiciales en la salud del consumidor.

Correlación de Variables

En el siguiente apartado se encuentran las variables en las que se encontró grado de asociación significativo. Se encontró un grado de asociación positivo entre índice de clorofila ICC y número de vainas por planta ($r^2=0,59$; $p=0,0002$); entre índice normalizado de vegetación y rendimiento ($r^2=0,52$; $p=0,000$); entre rendimiento y número de vainas por planta ($r^2=0,9$; $p=0,0001$); entre número de vainas por planta y número de semillas por vaina ($r^2=0,88$; $p=0,0002$).

Además, se encontró grado de asociación negativo entre índice normalizado de vegetación NDVI y el porcentaje de semilla no comercial ($r^2 = -0,64$; $p = 0,0001$), entre rendimiento y porcentaje de semilla no comercial ($r^2 = -0,93$; $p = 0,0002$), y entre número de vainas por planta y porcentaje de semilla no comercial ($r^2 = -0,73$; $p = 0,0002$).

Tabla 10.

Correlación de Pearson entre ICC, NDVI, rendimiento, altura, número de nudos, número de brotes, número de vainas por planta, número de semillas por vainas y porcentaje de semilla no comercial.

Variables	Variables	n	r ²	p-valor
ICC	NDVI	180	0,28	0,0002
ICC	No. Vainas/planta	180	0,59	<0,0001
NDVI	Altura	180	0,32	<0,0001
NDVI	Rendimiento	180	0,52	<0,0001
NDVI	% Semilla no comercial	180	-0,64	<0,0001
Rendimiento	NO. Semillas/Vaina	180	0,64	<0,0001
Rendimiento	NO. Vainas/Planta	180	0,9	<0,0001
Rendimiento	%Semilla no comercial	180	-0,93	<0,0001
NO. Semillas/Vaina	NO. Vainas/Planta	180	0,88	<0,0001
NO. Vainas/Planta	%Semilla no comercial	180	-0,73	<0,0001

El NDVI puede evaluar el crecimiento de un cultivo a través de la absorción de radiación, uno de los parámetros con lo que se determina la biomasa y se estima el rendimiento (Mojica, 2015). Bonilla (2019) determina que el NDVI se asocia al rendimiento de grano de trigo ($r=0,66$) desde la etapa de espigamiento hasta la senescencia. En el presente análisis se puede observar que el número de vainas por planta y el número de semillas por vaina tienen un efecto directo sobre el rendimiento final del cultivo. Además, se puede estimar el % de semilla no comercial a partir del NDVI, mientras mas alto sea menor porcentaje de semilla no comercial y a su vez, a menor NDVI mayor porcentaje de semilla no comercial.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El pretratamiento de las semillas con radiación UVB en la estufa de solarización y la aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS1-2 durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, son alternativas eficientes para el control de la antracnosis en el cultivo de chocho, además se identificó respuesta asociada a las variables agronómicas, patológicas, productivas y espectrales en los estados fenológicos de floración, reproductivo y envainamiento.
- La aplicación de *B. subtilis* cepa CtpxS1-2 es un método de control biológico para la antracnosis, que adicionalmente presenta efecto fisiológico estimulante sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejorando el rendimiento tanto para el cruzamiento F3 (ECU-2658 x ECU-8415) y genotipo I 450 Andino. El pretratamiento de semillas con radiación UVB en la estufa de solarización bloquea el ciclo reproductivo de la enfermedad en etapas iniciales y reduce hasta un 95 % la presencia de antracnosis.
- Se generó el índice de contenido de clorofila ICC y el índice normalizado de vegetación NDVI en los estados fenológicos de floración, reproductivo y envainamiento. El ICC se puede utilizar para valorar la actividad fotosintética del cultivo y como esta varía de acuerdo al crecimiento de la planta, y el NDVI nos permite diagnosticar e identificar valores atípicos dentro del espectro que se acredita a factores limitantes o externos que puedan afectar la productividad.
- El índice de contenido de clorofila ICC y el índice normalizado de vegetación NDVI presentan una baja correlación, ya que el medidor de clorofila se basa en conceptos de absorbancia y el NDVI de reflectancia. Por tanto, el ICC es específico a la actividad fotosintética que realizan las hojas y el NDVI se estima a partir de toda la biomasa que compone la planta. Por lo cual el ICC se

convierte en parte del NDVI. Sin embargo, existe alta correlación entre las variables agronómicas y los índices de vegetación por lo que puede ser utilizado como diagnóstico del estado sanitario y nutricional del cultivo.

- Por tanto, este tipo de tecnología es necesaria para la generación de índices de vegetación IV para la caracterización de los cultivos de forma espectral en relación a las variables agronómicas en los diferentes estados fenológicos de acuerdo a las características particulares que presenten cada zona productiva; de esta manera poder tomar decisiones en cuanto a qué y cómo manejar de manera eficiente los cultivos con el fin de tener mayores beneficios económicos, medioambientales y sociales para desarrollar una agricultura sostenible y de precisión.

Recomendaciones

- Adicional a la generación de índices de vegetación IV se debe realizar mapas de cultivos (orto mosaicos) para la interpretación grafica en extensiones grandes de producción, tomando en cuenta la zona agroecológica, las características edafoclimáticas, estación del año, estado fenológico del cultivo, contenido de nutrientes y humedad del suelo, y presencia de plagas y enfermedades.
- Existen diferentes índices de vegetación IV que pueden ser utilizados para la caracterización de los cultivos, sin embargo, se recomienda el uso el índice de vegetación ajustado al suelo – SAVI, puesto que es un índice diseñado para reducir el efecto del suelo que tienden afectar el resultado del NDVI en estados fenológicos iniciales de crecimiento.
- Para la determinación de enfermedades se pueden realizar estudios utilizando sensores multiespectrales y térmicos ya que presentan mejor resolución espacial. O a su vez hacer planificaciones de vuelo a menor altura.
- Realizar estudios similares en otras zonas climáticas y en diferentes cultivos con la finalidad de generar un Big Data para la interpretación y diagnostico en tiempo real de los factores limitantes del crecimiento y productividad.
- Desarrollar el Manejo Integral de Plagas y Enfermedades MIPE, tomando en cuenta métodos de controles físicos y biológicos, con la finalidad de prevenir el surgimiento de enfermedades y promover mayor actividad fisiológica en los cultivos.

Bibliografía

- AEMet. (2004). *La radiación solar*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio rural y Marino. , España.
- Andrade, C. (2017). *Parámetros Morfológicos y Actividad Enzimática en PLantas de Chocho (Lupinus mutabilis) provenientes de semillas tratadas con radiación solar*. Sangolquí - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Basantes, E. (2010). *Porducción y fiología de cultivos*. Ecuador : La Union.
- Basantes, E. (2015). *Manejo de Cultivos Andinos del Ecuador*. Sangolquí - Ecuador.: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Bonilla, N. (2019). *índices de reflectancia en la investigación agrícola*. Obtenido de http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/programas/PITTA-Frijol/XV-Encuentro-Nacional/Indices-Reflectancia-en-la-Investigacion-Agricola.pdf
- Caicedo, C. (2001). *El cultivo de chocho Lupinus mutabilis Sweet: Fitonutrición, Enfermedades y Plagas, en el Ecuador*. Estación Experimental Santa Catalina - INIAP, Programa Nacional de Leguminosas, Quito - Ecuador.
- Caicedo & Peralta. (2000). Variedad de chocho para la zona centro/norte de la sierra ecuatoriana. *INIAP*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1484/1/iniapscR2000n14p28.pdf>
- Caicedo, C., Peralta, E., Murillo, Á., Rivera , M., & Pinzón , J. (1998). Plagas y enfermedades. En INIAP, *Guía Bibliográfica del Chocho o Tarhui (Lupinus mutabilis sweet) y otras especies de Lupinus* (págs. 59 - 63). Quito - Ecuador.

- Chávez, M., & Vásquez, J. (2021). Efecto de la aplicación de tres dosis de *Bacillus subtilis* en tres variedades de fréjol arbustivo. *Siembra*, 8(2). Obtenido de <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/2657/3702>
- Chuvieco, E. (2008). *Teledeteccion ambiental, la observacion de la tierra desde el espacio*. Barcelona: Aries Ciencias.
- Corrales, L., Caycedo, L., Gómez, M., Ramos, S., & Rodríguez, J. (2017). *Bacillus spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos*. *NOVA*, 15(27), 45-66. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/1958/2179>
- Cusín, E. (2021). *Respuesta de dos genotipos de chocho (Lupinus mutabilis) a la aplicación de dos alternativas para el control de antracnosis (Colletotrichum acutatum) Calderón, Pichincha*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24878/1/T-IASA%20I-005708.pdf>
- Díaz, J. J. (2015). *Estudios de índices de vegetación a partir de fotografías aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Madrid, España. Obtenido de https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- Ehsani. (2004). Seed location mapping using RTKGPS. *Transcations of the ASAE*, 47 -50.
- Falconí, C. (2012). Anthracnose susceptibility of lupine (*L. mutabilis*) cultivars in the Province of Cotopaxi. *Wageningen University*, 75 - 76. Recuperado el 29 de Enero de 2018
- Falconí, C. (2012). *Lupinus mutabilis in Ecuador with special emphases on anthracnose resistance*. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.

Falconí, C. (2013). Phenotypic, Molecular, and Pathological Characterization of *Colletotrichum acutatum* Associated with Andean Lupine and Tamarillo in the Ecuadorian Andes. *The American Phytopathological Society*, 9.

Falconí, C. (2015). Influence of plant growth stage on resistance to anthracnose in Andean lupin (*Lupinus mutabilis*). *Crop & Pasture Science*, 729-734. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1071/CP14104>

Falconí & Yáñez - Mendizabal . (28 de Agosto de 2017). Obtenido de Efficacy of UV-C radiation to reduce seedborne anthracnose: <file:///C:/Users/Edna%20Cruz/Documents/AMADOR/chocho/Efficacy%20of%20UV-C%20radiation%20to%20reduce%20seedborne%20anthracnose.pdf>

Falconí & Yáñez - Mendizabal . (2022). Available Strategies for the Management of Andean Lupin Anthracnose. *Plants*, 11(5), 22. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/5/654>

Falconí & Yáñez - Mendizabal. (2019). Solar UV-B radiation limits seedborne anthracnose infection and induces physiological and biochemical responses in *Lupinus mutabilis*. *Plant Pathology*, 68, 1635–1644. Obtenido de <file:///C:/Users/1/Downloads/Solar%20UV-B%20radiation%20limits%20seedborne%20anthracnose%20infection%20and%20induces.pdf>

Gebbers. (2010). *Precision agriculture and food security*. Science.

Godoy, L., & Luna, P. (2019). *Análisis y caracterización espectral del chocho (Lupinus mutabilis Sweet) por los efectos de tratamientos de desinfección de semilla*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15850/1/T-ESPE-040770.pdf>

Google Maps. (2022). Obtenido de <https://www.google.com.ec>

- Guerrero. (2017). *La estufa solar: qué es y como funciona*. Obtenido de About Español:
<https://www.about.com/la-estufa-casera-que-es-y-como-funciona347689>
- Gutiérrez. (2004). Índices de reflectancia y rendimiento del frijol con aplicaciones de nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 409-416. Obtenido de
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57311096003.pdf>
- INIAP. (2009). *Catálogo de Variedades Mejoradas de Granos Andinos: chocho, quinua y amaranto para la sierra de Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos (PRONALEG-GA), Quito - Ecuador.
- Insuasti. (2001). *Enfermedades foliares del chocho. El cultivo del chocho*. Bolteín informativo, INIAP, Quito - Ecuador.
- Jacobsen & Mujica. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 458 - 482.
- Loor, M. (2019). *Efecto de la radiación solar vs radiación solar + temperatura (estufa casera), en desinfección de semillas y posterior rendimiento del chocho (Lupinus mutabilis)*. Obtenido de Repositorio de la ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15925/1/T-IASA%20I-005485.pdf>
- Mojica. (2015). Drones y sus sistemas de comunicacion. *Vehiculos aéreos no tripulados*.
- Peralta & Caceres. (2008). Respuesta de seis líneas promisorias y una variedad de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) a la presencia de e inoculación de antracnosis (*Colletotrichum* sp.) en Cotopaxi. *Escuela Politécnica del Ejército*.

- Sánchez, G. (2017). *Construcción y evaluación de la estufa casera para el control de antracnosis (Colletotrichum acutatum) en semillas de chocho (Lupinus mutabilis), provincia Cotopaxi*. Tesis, Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambiental, Latacunga - Ecuador.
- Santos, A. (2018). *Espectro electromagnético y espectro visible*. Quipus.
- Shea. (1999). Managing lupin Anthracnose. " *Journal of the Department of Agriculture*,.
- Simbaña, E., & Tello, J. (2020). *Estimación de biomasa y análisis de la variabilidad espectral*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí.
- Sinde. (2021). Spectral Analysis of the Phenological Stages of Lupinus Mutabilis through Spectroradiometry and Unmanned Aerial Vehicle Imaging with Different Physical Disinfection Pretreatments of Seeds. *Geocarto International*. doi:10.1080/10106049.2021.1960431
- Sinde, I., Góez, J., Tapia, S., Murgueitio, E., Falconi, C., Benítez, F., & Toulkeridis, T. (2022). Determining the Effects of Nanonutrient Application in Cabbage (Brassica oleracea var. capitata L.) Using Spectrometry and Biomass Estimation with UAV. *Agronomy* , 12(81), 19. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy12010081>
- Tapia & Fries. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos*. Lima: FAO y ANPE.
- Terán. (2016). *Pretatamiento de semillas con radiación solar y su efecto en la incidencia de antracnosis (Colletotrichum acutatum) en dos etapas fenológicas de chocho (Lupinus mutabilis)*. Tesis, Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura, Sangolquí - Ecuador.

Thomas. (2003). *Lupin Anthracnose-identification and management*. Government of Western Australia Department of Agriculture.

Thomas, G., & Coutts, B. (17 de noviembre de 2016). *Government of Western Australia*. Obtenido de Department of Primary Industries and Regional Development: https://www.agric.wa.gov.au/lupins/lupin-foliar-diseases-diagnosis-and-management?page=0%2C1#smartpaging_toc_p1_s0_h2

Yáñez - Mendizabal . (2012). *Potencial de la cepa CPA - 8 como agente biocontrol sobre enfermedades*. Obtenido de Universidad de Lleida.: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/80456/Tvrym1de1.pdf>

Yáñez - Mendizabal Falconí. (2020). Bacillus subtilis CtpxS2-1 induces systemic resistance against anthracnose in Andean lupin by lipopeptide production. *Biotechnol Lett*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10529-020-03066-x>

Yáñez, V., & Falconí, C. (2018). Efficacy of Bacillus spp. to biocontrol of anthracnose and enhance plant growth on. *Biological Control*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.04.004>

Yzarra y López . (2012). Fases fenológicas del Tarwi. En *Manual de observaciones fenológicas* (pág. 61). Lima:.

Zhang, N., & Wang, N. (2002). *Precision agriculture worldwide overview*. Computers and electronics in agriculture.

Enlace:

https://drive.google.com/drive/folders/16jSWIb_pYmZ9jogANm1sFnI5WOKgOznT?usp=sharing